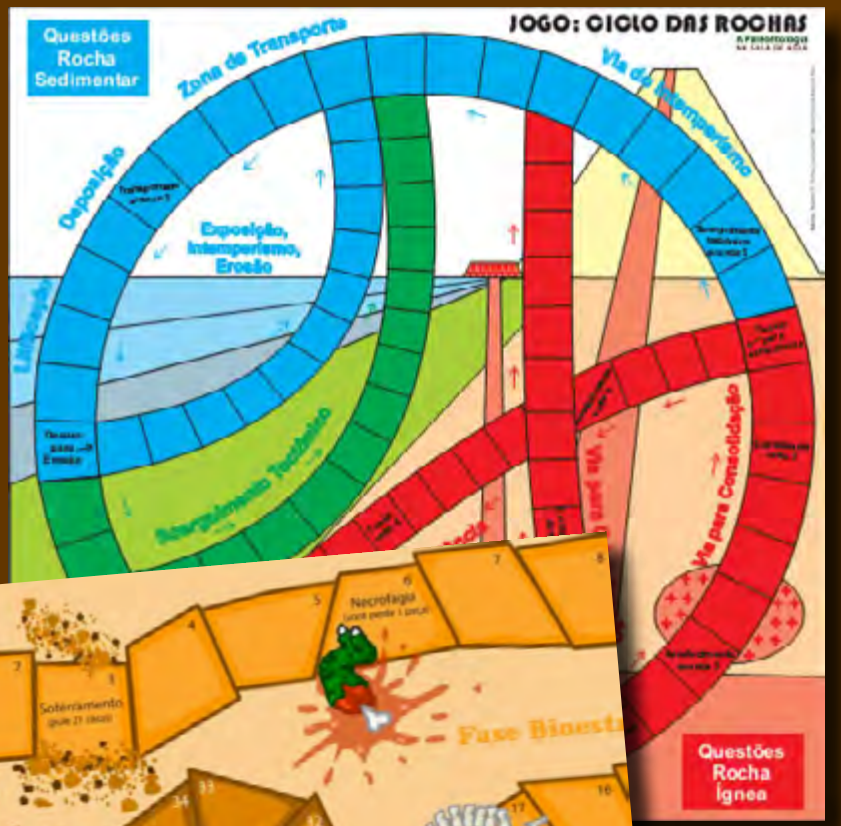
A Paleontologia
NA SALA DE AULA

Marina Bento Soares
Organizadora



ISBN 978-85-7697-316-4

1ª edição – 2015.

Organizadora
Marina Bento Soares

Conselho Editorial
Ana Maria Ribeiro
João Carlos Coimbra
Marina Bento Soares
Russel Teresinha Dutra da Rosa

Sociedade Brasileira de Palentologia
www.sbpbrasil.org

Referência sugerida
SOARES, M.B.(Org.). A paleontologia na sala de aula.
Ribeirão Preto:Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2015, 714p.

Karla Viviane
Editora-chefe

Editora Imprensa Livre
(51) 3249-7146
Rua Comandaí, 801
Cristal – Porto Alegre/RS
www.imprensalivre.net
imprensalivre@imprensalivre.net
facebook.com/imprensalivre.editora
twitter.com/editoraimprensa

Este livro foi produzido com recursos financeiros do CNPq, edital MCT/CNPq nº 32/2010 - Fortalecimento da Paleontologia Nacional, processo nº 401835/2010-3.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) o fomento recebido através do Edital 032/2010 – Fortalecimento da Paleontologia Nacional e à Drª. Ana Maria Ribeiro pela coordenação do projeto que viabilizou a produção do livro.

Agradecemos o apoio recebido das diretorias da SBP (2009-2015), representadas pelos Doutores João Carlos Coimbra, Roberto Iannuzzi e Max Cardoso Langer.

Além de um agradecimento adicional à Drª. Ana Maria Ribeiro e ao Dr. João Carlos Coimbra, por terem, também, atuado na Comissão Editorial do livro, estendemos este agradecimento à Drª. Russel Teresinha Dutra da Rosa, componente da Comissão Editorial.

Somos muito gratos a todos os autores que acreditaram e se envolveram no projeto, contribuindo com entusiasmo e criatividade na produção desta obra que acredita que a Educação é a base da sociedade.

Cabe salientar ainda que quase todas as atividades propostas no livro foram aplicadas e testadas junto a estudantes de educação básica, pós-graduação e, também, professores. Muitas delas foram melhoradas e enriquecidas a partir das sugestões recebidas nesta etapa. Assim, um agradecimento especial aos nossos "colaboradores anônimos" que tiveram papel fundamental no processo de construção do livro.

APRESENTAÇÃO

Todo ser humano tem uma curiosidade natural sobre sua origem e sobre a história da Terra ao longo do tempo geológico. A Paleontologia - ciência de caráter interdisciplinar, situada na interface entre as Ciências Biológicas e as Geociências - inspira inúmeras questões dessa natureza, fornecendo subsídios para envolvimento científico, através da integração de diversos campos do conhecimento. De fato, os midiáticos dinossauros, bem como fósseis em geral, funcionam como "portas de entrada" para muitas crianças e, mesmo, adultos, aproximarem-se da ciência. Nesse sentido, a Paleontologia, se bem explorada pedagogicamente, reveste-se de grande potencial para se constituir em um instrumento facilitador do processo de investigação científica e de transformação de uma visão fragmentada para uma visão integrada da Ciência.

Apesar de todo esse potencial pedagógico, sabemos que no nosso país o ensino da paleontologia é subexplorado nos currículos do Ensino Fundamental e Médio, apesar de seus conteúdos integrarem os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Isso decorre de uma série de fatores que, provavelmente, têm início na formação paleontológica, em geral, pouco aprofundada dos professores de Ciências, Biologia e Geografia. Mesmo aqueles professores que buscam instrumentalização e atualização se deparam com escasso material sobre o assunto, visto que os livros didáticos de educação básica destinam pouco espaço para questões de cunho paleontológico. Por outro lado, livros direcionados ao Ensino Superior graduação, poucos ainda publicados em português, carregam uma linguagem mais técnica, de difícil adequação à sala de aula da Educação Básica. Além disso, em termos de informação digital, a maior barreira é o idioma, já que os principais sítios na internet sobre recursos educacionais em Paleontologia, a maioria dos quais vinculados a museus e universidades, são apresentados em inglês. Perante tais dificuldades, a Paleontologia acaba se configurando como um tema com pouca expressão no universo escolar.

Com base nestas e em outras constatações, e com o intuito de contribuir na valorização da Paleontologia no espaço escolar,

apresentamos este Livro Digital de Paleontologia **A Paleontologia na Sala de Aula**, que conta com o apoio da Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP), e que foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A ideia da elaboração do livro nasceu em 2009, durante a segunda gestão do Dr. João Carlos Coimbra à frente da presidência da SBP. Naquela época, pensávamos em um formato diferente do que o aqui apresentado – um sítio na internet que reunisse textos e atividades didáticas em português, com o intuito de promover a divulgação da paleontologia entre os professores de Ensino Fundamental e Médio. Iniciamos os contatos com alguns autores em potencial (colegas professores/pesquisadores), os quais, em geral, se mostraram bastante interessados no projeto. Isso foi um incentivo para levar a ideia a cabo.

O projeto-piloto (ainda parcial) foi apresentado no XXI Congresso Brasileiro de Paleontologia, realizado em 2009, em Belém do Pará. Com a positiva receptividade demonstrada pela comunidade paleontológica, e contando com o apoio da diretoria da SBP eleita no mesmo ano, tendo o Dr. Roberto Iannuzzi como presidente, tivemos a adesão de novos autores. Por meio de financiamento concedido pelo CNPq através do Edital 032/2010 – Fortalecimento da Paleontologia Nacional, com projeto coordenado pela Drª. Ana Maria Ribeiro, obtivemos o fomento necessário para a finalização do projeto. Naquele momento, o formato do produto foi repensado e optamos, então, pela modalidade livro digital, o qual pode ser acessado online no sítio da SBP (inclusive por tablets e smartphones) e que também permite a impressão em papel de seus conteúdos em formato PDF.

O livro tem como objetivo geral possibilitar um enriquecimento às disciplinas que tradicionalmente abordam temas relacionados à Paleontologia na Educação Básica, através do acesso facilitado a materiais instrucionais, compostos de textos e atividades didáticas sobre os mais variados temas dentro da paleontologia.

Participaram da elaboração do livro, paleontólogos (professores/pesquisadores) vinculados a instituições de ensino e pesquisa do Brasil, além de estudantes de graduação e pós-graduação, todos eles ativamento envolvidos com atividades de ensino e extensão em Paleontologia.

Como material de apoio complementar, os professores contam com um endereço eletrônico de acesso restrito onde são disponibilizadas resoluções das atividades propostas e leituras adicionais.

Cabe acrescentar que, como o meio digital é extremamente dinâmico, estaremos sistematicamente abertos ao recebimento de novas propostas que poderão ser incluídas nas próximas edições.

Marina Bento Soares
Organizadora

VOLTE AO SUMÁRIO

PREFÁCIO

A Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP) tem o prazer de apresentar, junto com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a presente obra digital **A Paleontologia na sala de aula**. Concebida em gestões anteriores, esta edição do livro contou com um acabamento editorial primoroso que se estendeu da editoração eletrônica da obra à ampliação substancial dos conteúdos, especialmente em relação às atividades didáticas propostas para os alunos e professores. Como bem enfatizado pela Organizadora, Profª. Drª. Marina Bento Soares, esta contribuição vem preencher uma imensa e histórica lacuna no ensino da Paleontologia no país, extensível aos demais países de língua portuguesa, pois a facilidade de acesso e disponibilidade via internet levará, sem dúvida nenhuma, esta obra para leitores em terras no ultramar. Esta relevante obra deve se tornar, com passar do tempo, ferramenta imprescindível no apoio ao desenvolvimento da Paleontologia em níveis do Ensino Fundamental e Médio, auxiliando na divulgação e introdução dos princípios desta área do conhecimento nas escolas e instituições de ensino.

A Paleontologia é uma das ciências que mais cresce em nosso país e há vários motivos para isso, entre os quais se destacam: (i) o aumento do interesse na preservação de nosso patrimônio natural (onde se inclui o paleontológico); (ii) o incremento nos estudos que versam sobre o passado da Terra e, em especial desta porção do planeta chamada Brasil; (iii) o crescimento da consciência ambiental, que se reflete no nosso anseio por alternativas sustentáveis para o desenvolvimento das sociedades humanas; e (iv), o aumento nos investimentos em Educação e Ciência e Tecnologia. Porém, para que tudo isso possa se desenvolver é necessário um maior conhecimento, sobretudo do meio que nos cerca. Como ciência integrativa e interdisciplinar que é, a Paleontologia cumpre bem a função de estimular o raciocínio associativo e a curiosidade científica, ampliando a visão de mundo das pessoas e convidando-as a questionarem o papel do homem na Terra e sua relação com o meio ambiente.

Através do interesse pelos seres extintos e seus fósseis, a Paleontologia propicia aos mais jovens sua entrada no mundo científico. Num país emergente como o Brasil, onde o desafio para o século XXI resume-se em uma educação melhor para todos, vinculada a um maior desenvolvimento da Ciência e Tecnologia, iniciativas como esta são muito bem-vindas! Deste modo, desejamos a todos que tenham uma excelente experiência didática ao desfrutarem das diferentes contribuições apresentadas a seguir.

Roberto Iannuzzi
Sociedade Brasileira de Paleontologia
(representando as Gestões 2009 a 2015).

Instruções de uso e acesso aos conteúdos

O livro **A Paleontologia na Sala de Aula** é apresentado no formato digital, o qual possibilita acesso on-line a links externos da internet e acesso off-line a conteúdos para download. O livro pode ser acessado através de PCs, tablets e smartphones.

Para acessar os **capítulos (Parte I – Referencial Teórico)** e as **atividades (Parte II – Práticas em sala de aula)**, o leitor deve clicar no item desejado no **Sumário**. Os **links** são aqueles que estão grifados em **cor laranja** ao longo dos capítulos integrantes e atividades. Ao clicar em cima da palavra, o leitor é remetido a uma página da internet, a qual se configura como um conteúdo complementar ao apresentado no capítulo.

Na **Parte II – Práticas em sala de aula**, se encontram os materiais para download. Cada atividade pode conter um ou mais materiais, como tabuleiros de jogos, cartas coloridas etc., formatados em para impressão. Em todas as atividades propostas são apresentados inicialmente os objetivos, a qual público-alvo a atividade está direcionada, o seu tempo de execução, a modalidade de trabalho em sala de aula, e os materiais requeridos. Com essas informações o professor pode fazer uma seleção prévia das atividades de interesse para cada faixa etária. No item chamado **material** de cada atividade h links com os conteúdos relacionados para download. Estes aparecem em cor **laranja.**

O professor poderá contar com conteúdos privativos, intitulados **Orientações para o Professor**, nos quais são apresentados comentários e sugestões de como trabalhar as atividades em sala de aula, bem como as resoluções das questões propostas.

Para ter acesso a estes conteúdos, o professor deverá enviar um e-mail para **paleontologianasaladeaula@gmail.com**, apresentando comprovante de vínculo institucional (escola, universidade, museu etc.).

SUMÁRIO

PARTE I - REFERENCIAL TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA *Marcello Guimarães Simões, Sabrina Coelho Rodrigues & Marina Bento Soares, 17*

2. O CICLO DAS ROCHAS *Marcello Guimarães Simões, Jacqueline Peixoto Neves & Suzana Aparecida Matos, 32*

3. TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES *Marcello Guimarães Simões, Suzana Aparecida Matos & Jacqueline Peixoto Neves, 46*

4. FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO *Cristina Silveira Vega, Eliseu Vieira Dias & Sabrina Coelho Rodrigues, 90*

5. OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO *Marina Bento Soares, 103*

6. EVOLUÇÃO SOB A PERSPECTIVA DO REGISTRO FÓSSIL *Tiago Raugust, 129*

7. EXTINÇÃO: A OUTRA FACE DA EVOLUÇÃO *Cesar Leandro Schultz, 165*

8. TAXONOMIA E SISTEMÁTICA: COMO CLASSIFICAR OS ORGANISMOS *Cristina Silveira Vega & Eliseu Vieira Dias, 192*

9. O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS *Gerson Fauth e Simone Baecker Fauth, 197*

10. SIM, NÓS TEMOS DINOSSAUROS ... E MUITOS! *Alexander W. A. Kellner, 230*

11. TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI? *Cristina Bertoni Machado, 262*

12. TAFONOMIA DE INVERTEBRADOS: O ENIGMA DAS CONCHAS *Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano, 273*

13. TAFONOMIA DE VERTEBRADOS: O ENIGMA DOS OSSOS *Cristina Bertoni-Machado, 295*

14. TAFONOMIA EM PALEOBOTÂNICA: O ENIGMA DAS PLANTAS *Guilherme Arsego Roesler & Roberto Iannuzzi, 309*

15. A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS *Geise de Santana dos Anjos Zerfass, 317*

16. PALEOBIOGEOGRAFIA: A DINÂMICA DA TERRA E DA VIDA *José Ricardo Inacio Ribeiro & Ana Luiza Ramos Ilha, 335*

17. PALEOPATOLOGIA: INVESTIGANDO AS DOENÇAS NOS FÓSSEIS E NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO *Jorge Ferigolo & Patrícia Rodrigues Braunn, 356*

18. DO CAMPO AO LABORATÓRIO: A VIAGEM DE UM FÓSSIL *Alexander W. A. Kellner, 398*

19. VERTEBRADOS FÓSSEIS: DO LABORATÓRIO PARA A PESQUISA E EXPOSIÇÃO *Helder de Paula Silva, Jéssica Pontes Silva & Alexander W. A. Kellner, 419*

20. TÉCNICAS PARA CONFECÇÃO DE RÉPLICAS DE FÓSSEIS *Téo Veiga de Oliveira, Flávio Augusto Pretto & Voltaire Dutra Paes Neto, 438*

21. ATIVIDADES LÚDICAS (JOGOS) COMO FERRAMENTAS NO ENSINO DE PALEONTOLOGIA *Jacqueline Peixoto Neves, Luciana Maria Lunardi Campos & Marcello Guimarães Simões, 455*

22. PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO *Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano, Deusana Maria da Costa Machado & Aline Rocha de Souza Ferreira de Castro, 460*

PARTE II – PRÁTICAS EM SALA DE AULA

1. O TANQUE DE FOSSILIZAÇÃO *Marcello Guimarães Simões & Sabrina Coelho Rodrigues, 474*

2. A HISTÓRIA DE UM FÓSSIL *Cristina Bertoni-Machado, 477*

3. DIFERENÇAS ENTRE UM FÓSSIL E UM ORGANISMO ATUAL *Cristina Silveira Vega & Eliseu Vieira Dias, 478*

4. JOGO CICLO DAS ROCHAS *Marcello Guimarães Simões, Jacqueline Peixoto Neves & Suzana Aparecida Matos, 480*

5. A TECTÔNICA DE PLACAS COMO BASE PARA A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO GEOCIENTÌFICO E O ENTENDIMENTO DA TERRA ENQUANTO UM PLANETA DINÂMICO *Marcello Guimarães Simões, Suzana Aparecida Matos & Jacqueline Peixoto Neves, 484*

5.1. DESCOBRINDO OS LIMITES DE PLACAS *Marcello Guimarães Simões, Suzana Aparecida Matos & Jacqueline Peixoto Neves, 486*

5.2. PLACAS LITOSFÉRICAS: RECONHECENDO FEIÇÕES E PROCESSOS *Marcello Guimarães Simões, Suzana Aparecida Matos & Jacqueline Peixoto Neves, 491*

6. VIAJANTE TECTÔNICO: TECTÔNICA GLOBAL VIA GOOGLE EARTH *Marcello Guimarães Simões, Jacqueline Peixoto Neves & Suzana Aparecida Matos, 493*

7. SIMULANDO O PROCESSO DE FOSSILIZAÇÃO *Victor Eduardo Pauliv & Fernando A. Sedor, 520*

8. SIMULANDO O PROCESSO DE FORMAÇÃO DE IMPRESSÕES FOLIARES *Veridiana Ribeiro, Esther Pinheiro & Isabela Degani Schmidt, 525*

9. RECONHECENDO ICNOFÓSSEIS DE DINOSSAUROS *Heitor Francischini & Paula C. Dentzien-Dias, 531*

10. INTERPRETANDO ICNOFÓSSEIS: PEGADAS E IMPRESSÕES *Veridiana Ribeiro & Gabrielli Gadens Marcon, 534*

11. APLICANDO OS PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTRATIGRAFIA *Marina Bento Soares, 538*

12. PRINCÍPIOS DA ESTRATIGRAFIA EM BLOCODIAGRAMAS *Bruno L. Dihl Horn, 540*

13. DATAÇÃO ABSOLUTA DE ROCHAS *Marina Bento Soares, 543*

14. OS FÓSSEIS E A DATAÇÃO RELATIVA *Marina Bento Soares, 546*

15. INTEGRANDO MÉTODOS DE DATAÇÃO *Marina Bento Soares, 549*

16. TABELA DO TEMPO GEOLÓGICO EM ESCALA *Marina Bento Soares, 552*

17. CALENDÁRIO DO TEMPO GEOLÓGICO *Marina Bento Soares, 554*

18. A IDADE DA TERRA *Fábio Alves Rodrigues, Demétrio Dias Nicolaidis & Russel Teresinha Dutra da Rosa, 556*

19. JOGO VIDA EM CAMADAS *Adriana de Souza Trajano & Juliane Marques-de-Souza, 560*

20. JOGO NAVEGATOR 100 *Mariana Rost Meireles, 565*

21. JOGO A VIAGEM DO BEAGLE *Marc Emerim, Fábio Alves Rodrigues, Fabiano de Souza Gomes, Marise Basso Amaral & Russel Teresinha Dutra da Rosa, 568*

22. SELEÇÃO NATURAL COM BISCOITOS *Carlos Eduardo Lucas Vieira, 572*

23. EQUILÍBRIO PONTUADO EM AÇÃO *Marina Bento Soares & Tiago Raugust, 575*

24. DESVENDANDO AS EXTINÇÕES PLEISTOCÊNICAS *Richard A. Fariña & Marina Bento Soares, 579*

25. EXTINCTA: O JOGO DAS EXTINÇÕES *Ana Emilia Q. de Figueiredo, Karine Lohnmann de Azevedo & Adriana Strapasson de Souza, 583*

26. JOGO CORRIDA PALEONTOLÓGICA *José Eduardo Teixeira Falcon, Michelle Noronha da Matta Baptista, Nathalia Chicon Elert, Paula Vieira Borlini, Suelen Ferreira da Conceição, Tuane da Silva Cabral, Wellington de Oliveira Silva & Taissa Rodrigues, 588*

27. OBSERVANDO E AGRUPANDO ORGANISMOS *Cristina Silveira Vega & Eliseu Vieira Dias, 592*

28. CONSTRUINDO CLADOGRAMAS *Cristina Silveira Vega & Eliseu Vieira Dias, 594*

29. CONSTRUÇÃO DE CLADOGRAMA COM BRAQUIÓPODES *Marina Bento Soares & Cristina Silveira Vega, 596*

30. QUEM COME QUEM E QUANDO? CADEIA ALIMENTAR E EXTINÇÕES *Simone Baecker Fauth & Gerson Fauth, 599*

31. ROCHAS SEDIMENTARES REVELANDO MICROFÓSSEIS *Simone Baecker Fauth & Gerson Fauth, 602*

32. QUE SEGREDOS A AREIA DA PRAIA PODE REVELAR? *Simone Baecker Fauth & Gerson Fauth, 606*

33. O QUE OS MICROFÓSSEIS PODEM REVELAR? *Simone Baecker Fauth e Gerson Fauth, 610*

34. GRÃOS DE PÓLEN: COMO RECONSTRUIR PAISAGENS PASSADAS *Soraia Girardi Bauermann & Andréia Cardoso Pacheco Evaldt, 612*

35. MATERIAL PALINOLÓGICO: INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL *Marcelo Guglielmi Leite, 617*

36. CRUZADINOS BRASILEIROS *Felipe Lima Pinheiro, 623*

37. DINOSSAUROS EM ARAME: DA ANATOMIA À BIOMECÂANICA *Tito Aureliano, 625*

38. DINOSSAURO RECICLÁVEL *Veridiana Ribeiro & Gabrielli Gadens Marcon, 637*

39. JOGO PALEOCOMBATE *Adriana Strapasson de Souza, Karine Lohnmann de Azevedo & Ana Emilia Q. de Figueiredo, 643*

40. AMBIENTES DE FOSSILIZAÇÃO *Cristina Bertoni-Machado, 647*

41. IDENTIFICANDO ASSINATURAS TAFONÔMICAS *Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano & Marina Bento Soares, 649*

42. DECIFRANDO AS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS *Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano, 651*

43. A SEQUÊNCIA DE DESARTICULAÇÃO DE UM VERTEBRADO *Cristina Bertoni-Machado, 653*

44. INTEMPERISMO EM OSSOS *Cristina Bertoni-Machado, 655*

45. TAFONOMIA EXPERIMENTAL: TRANSPORTE *Cristina Bertoni- Machado, 657*

46. TAFONOGAME: O JOGO DA FOSSILIZAÇÃO *Flávio Augusto Pretto, Voltaire Dutra Paes Neto, Andressa Paim & Cristina Bertoni-Machado, 659*

47. ASSINATURAS TAFONÔMICAS EM VEGETAIS *Guilherme Arsego Roesler & Roberto Iannuzzi, 663*

48. MICROFÓSSEIS E SEUS PALEOAMBIENTES *Geise de Santana dos Anjos Zerfass, 666*

49. MICROFÓSSEIS REVELANDO PALEOAMBIENTES *Geise de Santana dos Anjos Zerfass, 671*

50. JOGO PALEONTOLOGICA *Gabriel Oliveira Rocha, Filipe de Castro Seixas, Adriano Oliveira Fahel, Diego Sales Argollo & Simone Souza de Moraes, 673*

51. PALEOBIOGEOGRAFIA E ESPECIAÇÃO *Marina Bento Soares, 679*

52. CONSTRUINDO CLADOGRAMAS DE ÁREA *Marina Bento Soares & Voltaire Dutra Paes Neto, 683*

53. OS DINOSSAUROS E A PANBIOGEOGRAFIA *Sérgio Dias da Silva, 687*

54. DOENÇAS NOS FÓSSEIS E NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO *Jorge Ferigolo & Patrícia Rodrigues Braunn, 690*

54.1. BINGO PALEOPATOLÓGICO *Jorge Ferigolo & Patrícia Rodrigues Braunn, 691*

54.2. JOGO DE MEMÓRIA PALEOPATOLÓGICO *Jorge Ferigolo & Patrícia Rodrigues Braunn, 693*

54.3. CRUZADINHA PALEOPATOLÓGICA *Jorge Ferigolo & Patrícia Rodrigues Braunn, 695*

54.4. CAÇA-PALAVRAS PALEOPATOLÓGICO *Jorge Ferigolo & Patrícia Rodrigues Braunn, 697*

55. JOGO PALEODETETIVE *Jacqueline Peixoto Neves, Luciana Maria Lunardi Campos & Marcello Guimarães Simões, 699*

56. DESCOBRINDO O PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO *Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano, Deusana Maria da Costa Machado & Aline Rocha de Souza Ferreira de Castro, 703*

57. DEBATE SOBRE O PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO DA BACIA DO ARARIPE *Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano, Deusana Maria da Costa Machado & Aline Rocha de Souza Ferreira de Castro, 705*

58. PESQUISA SOBRE O PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO *Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano, Deusana Maria da Costa Machado & Aline Rocha de Souza Ferreira de Castro, 707*

AUTORES, 709

PARTE I
REFERENCIAL TEÓRICO

VOLTE AO SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA

Marcello Guimarães Simões
Sabrina Coelho Rodrigues
Marina Bento Soares

A Paleontologia é a ciência que estuda os fósseis, ou seja, o vasto documentário de vida pré-histórica. Paleontologia quer dizer "o estudo da vida antiga, do grego *Palaios* = antigo; *ontos* = ser; *logos* = estudo", mas essa é uma definição muito vaga. A Paleontologia ocupa-se da descrição e da classificação dos fósseis, da evolução e da interação dos seres pré-históricos com seus antigos ambientes, da distribuição e da datação das rochas portadoras de fósseis, etc.

QUEM ESTUDA OS FÓSSEIS?

A Paleontologia Moderna é uma ciência dinâmica, com relações com outras áreas do conhecimento, estando preocupada em entender como a evolução física da Terra, em termos das mudanças na sua geografia (paleogeografia), no clima (paleoclima) e nos ecossistemas (paleoecologia), influenciou a evolução das formas de vida pré-históricas. Portanto, a Paleontologia é uma ciência interdisciplinar, relacionada à Geologia, à Biologia (principalmente Zoologia e Botânica), à Ecologia e à Oceanografia, dentre outros campos do conhecimento preocupados em estudar as interações

VOLTE AO SUMÁRIO

entre os organismos e o meio ambiente. Atualmente, a Paleontologia preocupa-se também com a conservação do patrimônio fossilífero (ver capítulo PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO).

As grandes subdivisões da Paleontologia são a **Paleozoologia** (estudo dos animais fósseis), a **Paleobotânica** (estudo das plantas fósseis) e a **Micropaleontologia** (estudo dos microfósseis).

O Paleontólogo é o cientista que estuda a vida pré-histórica, a partir das evidências fornecidas pelos fósseis e pelas rochas.

Figura 1. Fósseis de braquiópodes (grupo de invertebrados marinhos) preservados nas rochas da Formação Ponta Grossa, Devoniano, Bacia do Paraná. Exemplo de objeto de estudo da Paleozoologia. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Os Paleozoólogos são os paleontólogos especializados em Paleontologia de Invertebrados, ramo da Paleozoologia que estuda os animais sem coluna vertebral, ou em Paleontologia de Vertebrados **(Figuras 1 e 2)**, incluindo o estudo do homem fóssil (Paleoantropologia). Os Paleobotânicos estudam as plantas fósseis **(Figura 3)**. Já os Micropaleontólogos estudam fósseis microscópicos, ou seja, microrganismos fósseis de parede orgânica (ex: pólens) ou mineralizada (ex: foraminíferos) **(Figura 4)**.

Figura 2. Peixe fóssil, um vertebrado encontrado nas rochas do Grupo Santana, Cretáceo, Bacia do Araripe. Exemplo de objeto de estudo da Paleozoologia. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 3. Impressão de folha de *Cordaites* sp., encontrada nas rochas da Formação Rio Bonito, Permiano da Bacia do Paraná. Exemplo de objeto de estudo da Paleobotânica. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 4. Foraminífero ornamentado, com carapaça mineralizada. Exemplo de objeto de estudo da Micropaleontologia. Foto: Sabrina Coelho Rodrigues.

O QUE É FÓSSIL?

Acima, alguns exemplos de fósseis foram apresentados. No presente capítulo o leitor terá a oportunidade ser apresentado aos conhecimentos sobre os fósseis e o processo de fossilização. Maiores detalhes serão encontrados no capítulo **FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO**.

O evento de fossilização é um fenômeno natural que envolve diversos processos biológicos, físicos e químicos. Trata-se de um evento espetacular que, literalmente, envolve a passagem dos restos orgânicos da Biosfera para a Litosfera. Existe até uma ciência à parte da Paleontologia para estudá-lo, chamada de Tafonomia (termo grego que significa "leis do sepultamento"). A Tafonomia **(ver capítulo TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?)** se encarrega de estudar o processo de fossilização dos invertebrados, vertebrados ou plantas, considerando os processos atuantes nas diversas fases ou etapas da fossilização, desde a morte dos seres vivos e sua decomposição, até o momento do encontro do fóssil pelo paleontólogo.

Se você, leitor, chegou até aqui, então está pronto para iniciar a empolgante viagem ao mundo do processo de fossilização. Sugerimos começar verificando o **conceito de Fóssil.**

Fósseis (termo latino que significa "ser desenterrado" ou "extraído da Terra") são restos ou vestígios (traços) de animais, vegetais e de outros microorganismos (algas, fungos e bactérias) que viveram em tempos pré-históricos e estão naturalmente preservados nas **rochas sedimentares** **(ver capítulo O CICLO DAS ROCHAS)**. Embora exista uma tendência para considerarmos fósseis apenas os esqueletos de dinossauros e de outros grandes vertebrados pré-históricos **extintos** **(ver capítulo EXTINÇÃO: A OUTRA FACE DA EVOLUÇÃO)**, na realidade, o **registro fóssil** contém representantes da maioria dos grupos biológicos, incluindo desde o Homem fóssil até aqueles grupos representados por formas de vida microscópica, que só podem ser vistos através do auxílio de instrumentos ópticos. Os fósseis podem ser classificados como **Fósseis Corpóreos** e **Fósseis Traço (ou vestígios)**, dentre outras definições.

Fóssil Corpóreo

Os fósseis são considerados como **fósseis corpóreos** ou **restos (Figuras 5 a 7)** quando são representados por restos orgânicos, especialmente suas partes duras, tais como as conchas, os ossos, os dentes e as partes vegetais (troncos, folhas etc.), além das **impressões, moldes e contramoldes** **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**.

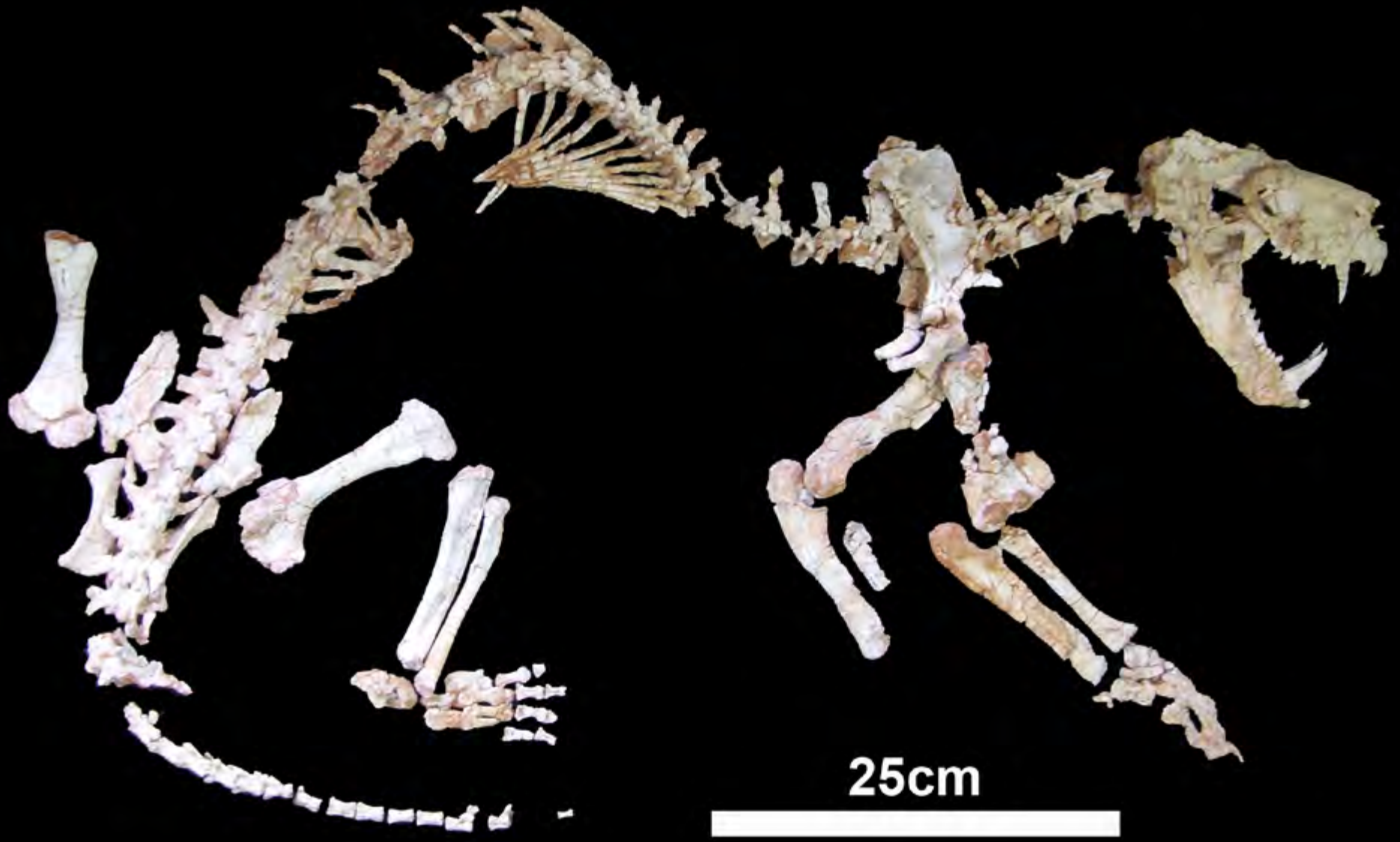


Figura 5. Fóssil do cinodonte *Trucidocynodon riograndensis,* encontrado nas rochas da Formação Santa Maria, Triássico da Bacia do Paraná. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 6. Fóssil de molusco cefalópode, *Ceratites* sp., do Triássico da Alemanha. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 7. Tronco fossilizado de gimnosperma encontrado nas rochas da Formação Santa Maria, Triássico, Bacia do Paraná. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Fóssil traço

Fósseis traço, também conhecidos como **vestígios**, compreendem o registro da atividade de um organismo sobre um substrato, tais como as pegadas, as pistas (sequência de pegadas), as perfurações, as escavações **(Figuras 8 e 9)**. Nessa categoria, além disso, estão incluídos também os coprólitos (fezes fossilizadas), os ovos e os ninhos fósseis **(Figuras 10 a 12)**. Cabe lembrar, entretanto, que alguns autores preferem tratar ovos fossilizados como fósseis corpóreos, já que, muitas vezes, estes incluem restos de embriões no seu interior.

Figura 8. Pistas de dinossauros, encontradas nas rochas da Bacia do Rio do Peixe, Cretáceo. Foto: Leonardi & Carvalho. Retirado de Schobbenhaus, *et al.* (2000).

Figura 9. Rastros deixados por artrópodes, preservados nas rochas do Grupo Itararé, Permiano Inferior, Bacia do Paraná. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 10. Fezes fossilizadas de tubarão, também conhecidas como coprólitos, encontradas nas rochas da Formação Rio do Rasto, Permiano, Bacia do Paraná. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Ana Emília Quezado de Figueiredo.

Figura 11. Fezes fossilizadas de tetrápode, também conhecidas como coprólitos, encontradas nas rochas da Formação Santa Maria, Triássico, Bacia do Paraná. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 12. Ovo de dinossauro fossilizado, encontrado nas rochas do Grupo Bauru, Cretáceo, Bacia do Paraná. Foto: Beck, S.F. (retirado de LIMA, 1986).

Outras definições de fóssil

Além dos fósseis corpóreos e traço, existem também os chamados **fósseis químicos**, representados pela preservação de biomoléculas, tais como, as proteínas, os aminoácidos, os lipídeos e os ácidos nucléicos (RNA, DNA). Aplica-se o termo **fóssil-vivo** aos organismos do registro fóssil que apresentam grande distribuição ao longo do tempo pré-histórico, com representantes viventes ainda nos dias atuais **(Figura 13)**. Por fim, tem-se o termo **pseudofóssil**, para marcas, impressões e objetos inorgânicos que se assemelham aos fósseis verdadeiros **(Figura 14)**.

Figura 13. Exemplo de "fóssil-vivo": *Lingula*, um braquiópode inarticulado, encontrado nas rochas da Formação Ponta Grossa, Bacia do Paraná. Esse invertebrado marinho do Paleozoico possui representantes viventes nos mares atuais, os quais são morfologicamente muito semelhantes às formas atuais. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

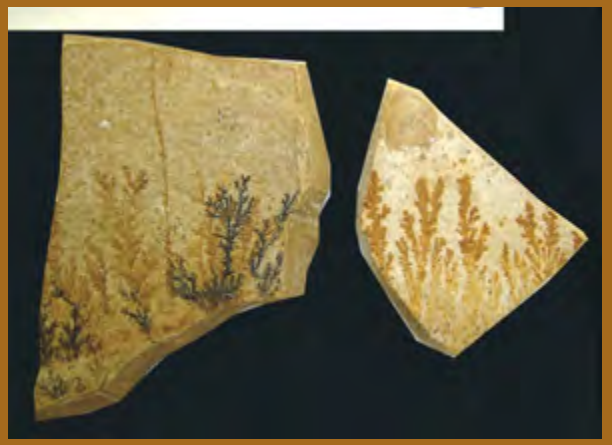


Figura 14. Dendritos de manganês, de forma ramificada, exemplo de um pseudofóssil. Esse mineral, de hábito arborescente, ao se consolidar entre as fissuras das rochas acaba assemelhando-se às estruturas orgânicas vegetais. Coleção da UFPR. Escala = 10cm. Foto: Cristina Silveira Vega.

ONDE EXATAMENTE OS FÓSSEIS OCORREM?

Na crosta terrestre existem três tipos básicos de **rochas**, rochas Ígneas ou Magmáticas, rochas Sedimentares e rochas Metamórficas **(ver capítulo O CICLO DAS ROCHAS)**. Predominantemente, fósseis são encontrados nas rochas sedimentares.

TORNANDO-SE FÓSSIL: O PROCESSO DE FOSSILIZAÇÃO

Já foram apresentados vários exemplos e definições de fósseis. Agora vamos detalhar mais minuciosamente os processos envolvidos no fenômeno da fossilização. Para que um resto orgânico torne-se fóssil, diversos eventos deverão ocorrer, constituindo as etapas de fossilização. Para uma melhor compreensão das etapas envolvidas na formação de um fóssil, será utilizado como exemplo o mexilhão, um organismo que é familiar à maioria das pessoas. Cabe lembrar que as etapas mostradas são comuns à grande parte dos restos e vestígios dos seres vivos, desde micro-organismos aos grandes vertebrados e as plantas.

O mexilhão é um bivalve – nome dado aos animais invertebrados (moluscos) formados por duas valvas ou concha calcárias – que vive em ambientes aquáticos (preferencialmente marinhos) onde ficapresos às rochas ou sobre os sedimentos de fundo ou mesmo enterrado nestes. Suas partes moles ou tecidos (manto, órgãos reprodutores, brânquias, sifões), são envoltas pelas conchas calcárias, protegendo-as contra o ressecamento, a ação de predadores e servindo como estrutura de suporte para o corpo do animal. A preservação do bivalve como fóssil envolverá diversas fases, conhecidas como fases ou etapas da fossilização.Veja a seguir.

Fase 1. a morte

Em vida, o bivalve escava os substratos marinhos, vivendo enterrado nos sedimentos ou fixa suas conchas em substratos ou partículas duras. As conchas dos bivalves escavadores mantêm contato com a interface água-sedimento através dos sifões. Em vida, as conchas são articuladas como na **Figura 15**. As mudanças ambientais (variação de temperatura, salinidade), as doenças, o ataque de predadores e o envelhecimento (senilidade) podem levar os indivíduos à morte.

Figura 15. Colônia de mexilhões vivos, fixos em superfícies duras.

Fase 2. necrólise ou decomposição

Ao morrer, os tecidos do bivalve encerram a atividade biológica e tem início a decomposição. Por exemplo, os músculos adutores, responsáveis pela abertura e fechamento das concha, deixam de apresentar contração e relaxamento. Em poucas semanas, devido ao processo de necrólise (= decomposição bacteriana dos tecidos) e consequente perda da musculatura, o bivalve morto abre as conchas. Inicialmente, ambas permanecem ainda articuladas, mas abertas, como uma "borboleta" **(Figura 16)**. Com a continuidade do processo de necrólise, todos os tecidos, incluído o ligamento serão atacados pelas bactérias e organismos necrófagos. Após a deterioração das partes moles, restam as conchas vazias, que, por serem formadas por minerais (carbonato de cálcio), são mais resistentes. Constituem, portanto, a parte dura do organismo, que tem maior chance de preservação. Após a necrólise ou putrefação dos tecidos a concha poderá permanecer com as duas partes ainda unidas pelo ligamento ou desarticular-se.

Figura 16. Mexilhão morto, com as conchas abertas e as partes moles ainda presentes.

Fase 3. desarticulação e dispersão

As conchas dos animais mortos ficam expostas ao ambiente, como hoje observamos nas praias. Essas podem ser desarticuladas pela ação de ondas e correntes ou ação de organismos necrófagos. A **figura 17** mostra um bivalve com as conchas ainda articuladas. Após a desarticulação, poderá haver o transporte pela ação da água. A movimentação das conchas durante o transporte causa choque entre essas e as partículas sedimentares, ou seja, os grãos de areia, seixos, etc., resultando na fragmentação e no desgaste da sua superfície **(Figura 18)**. Se as conchas e seus fragmentos forem recobertos por sedimentos poderão tornar-se fósseis.

Figura 17. Mexilhão com perda das partes moles (tecidos), restando apenas sua concha protetora, mais resistente.

Figura 18. Conchas de mexilhões articuladas abertas ou desarticuladas. Note a presença de sedimentos (areias e outros grãos) entre as conchas. Modificado de Taylor (1990).

Fase 4. soterramento

A incorporação das conchas no sedimento através do recobrimento ou soterramento é uma fase crítica no processo de fossilização. O recobrimento rápido, após a morte, por partículas sedimentares de pequena dimensão evita ou previne a ação dos organismos necrófagos e o transporte e a dispersão dos restos orgânicos, nesse caso, as conchas do bivalve.

Se as conchas não forem recobertas, elas se desintegrarão e, portanto, não terão chance de preservação. Nos ambientes aquáticos, a rápida decantação e a deposição de partículas sedimentares finas (pequena dimensão, como a lama) aumentam a probabilidade de preservação desses restos orgânicos. Desde que a deposição das partículas finas ocorra por decantação não há muitos distúrbios junto ao fundo, que possam arrastar e transportar os restos orgânicos. Por exemplo, durante os períodos de chuvas torrenciais, areia fina e lama (partículas muito finas denominadas silte e argila) são transportados pelos rios. A lama é levada em suspensão na água (água turva) até as regiões costeiras, onde irá decantar e recobrir as conchas e outros restos de organismos que lá estão. Esse material ficará aprisionado e incorporado às camadas de sedimentos. Com o passar do tempo sucessivas camadas vão se depositando, contendo conchas, ossos e outros restos de esqueletos de animais e vegetais.

Fase 5. diagênese ou litificação

Com o passar do tempo, sucessivas camadas de sedimentos, contendo conchas e outros restos em seu interior vão se acumulando. Como os grãos ainda estão soltos, o sedimento está incoerente (como na areia de praia). Dentre outros fatores, o peso das repetidas camadas de sedimentos (como em um bolo de aniversário contendo várias camadas) e a infiltração de água entre os grãos, no interior do sedimento, podem favorecer a precipitação de minerais que, como uma argamassa, irão ligar (colar) cada partícula de sedimento com os restos orgânicos. Nesse momento, a rocha estará cimentada, ou seja, coerente, dura, ou melhor, litificada ou petrificada **(Figura 19).**

Durante o processo de litificação e compactação, os fluidos que se movem através dos grãos sedimentares são potencialmente destrutivos para os restos orgânicos, inclusive para as conchas dos bivalves. Dependendo das características químicas dos fluídos de infiltração, poderá haver dissolução completa das conchas já incorporadas nos sedimentos. Outros restos, por sua vez, poderão sofrer modificações químicas, com a troca ou substituição dos elementos minerais. Muitos são os **tipos de fossilização** que decorrem das modificações químicas e físicas, durante o processo de litificação **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**.

Figura 19. Conchas fósseis de mexilhões, ainda na rocha matriz.

Fase 6. soerguimento das rochas fossilíferas

Devido à movimentação das **placas tectônicas** (ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES), as sucessões de rochas, contendo ou não fósseis, poderão sofrer soerguimento (levantamento) emergindo à superfície terrestre. Pacotes de rochas sedimentares fossilíferas podem fazer parte das cadeias de montanhas, e comumente estão dobrados e fraturados devido aos esforços para soerguê-los. Em alguns casos, os fósseis ali contidos poderão estar deformados, outros poderão ser destruídos. No caso dos mexilhões, uma vez na superfície, os pacotes de rochas sofrerão erosão e as conchas fósseis poderão ser expostas. Após milhões de anos, os paleontólogos poderão localizá-las e extraí-las cuidadosamente da rocha matriz (rocha onde foram preservados), e levá-las ao laboratório, para estudo **(Figura 20)**. Os fósseis e as rochas serão incorporados em uma coleção científica. Assim, um dia poderão ser estudados pelos pesquisadores e figurarem dentre os materiais expostos em museus (ver capítulos DO CAMPO AO LABORATÓRIO: A VIAGEM DE UM FÓSSIL e PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO).

Figura 20. Detalhe das conchas fósseis de mexilhão, extraídas da rocha matriz.

O REGISTRO FÓSSIL

O chamado **registro fóssil** inclui a totalidade dos fósseis já descobertos e descritos, bem como aqueles ainda a serem descobertos pelos paleontológos, ou seja, que ainda não foram escavados ou extraídos das rochas. As descobertas paleontológicas indicam que as evidências mais antigas de vida na Terra têm, aproximadamente, 3,5 bilhões de anos. Portanto, o registro fóssil engloba um vasto período de tempo, desde 3,5 bilhões de anos atrás, até os vestígios de vida do chamado período histórico, quando os humanos desenvolveram a escrita, há cerca de 5.500 anos. Durante esse vasto período de tempo, novas formas de vida surgiram devido à **evolução** (ver capítulo EVOLUÇÃO SOB A PERSPECTIVA DO REGISTRO FÓSSIL), inicialmente nos oceanos, a partir de organismos simples, unicelulares, como as bactérias, algas e protozoários. Posteriormente, surgiram os organismos mais complexos, multicelulares, tais como os fungos, as plantas e os animais invertebrados e vertebrados. Ao longo do curso da evolução, muitas espécies desapareceram, tal como ocorreu com os dinossauros, cerca de 66 milhões de anos atrás (ver capítulo EXTINÇAO: A OUTRA FACE DA EVOLUÇÃO).

A IMPORTÂNCIA DOS FÓSSEIS

O que torna a Paleontologia tão interessante é o fato de poder investigar e, de certa forma, especular sobre os seres que viveram há muito tempo. Os fósseis constituem importante evidência do processo evolutivo. Além disso, os fósseis são úteis para o reconhecimento de pacotes de rochas contemporâneos e sua sucessão temporal **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**. Os fósseis permitem também o reconhecimento da distribuição dos antigos mares e continentes **(ver capítulo PALEOBIOGEOGRAFIA: A DINÂMICA DA TERRA E DA VIDA)**. Fósseis são ferramentas essenciais para a Paleoecologia e reconstrução dos ambientes antigos de sedimentação **(ver capítulo A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS)**. Do ponto de vista econômico, fósseis são importantes na indústria do petróleo e do carvão.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, I. S. 2010. Paleontologia. 3ª ed., v. 1., Rio de Janeiro: Interciência, 734 p.

HOLZ, M. & SIMÕES, M. G. 2003. Elementos Fundamentais de Tafonomia. 1ª ed., Porto Alegre: Editora da Universidade - EDUFRGS, 231p.

LIMA, M.R. 1989. Fósseis do Brasil. T.A. Queiroz Editora e EDUSP, 1989, 118p.

SCHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BER¬BERT-BORN, M. 2000. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. DNPM/CPRM-SIGEP, Brasília, 554p.

SIMÕES, M. G.; RODRIGUES, S. C.; BERTONI-MACHADO, C.; HOLZ, M. 2010. Tafonomia: Processos e Ambientes de Fossilização. In: Carvalho, I.S. (Ed.). Paleontologia. 3 ed. v. 1, Rio de Janeiro: Interciência, p. 19-52.

TAYLOR, P.D. 1990. Fossil: Aventura Visual. Rio de Janeiro:Globo, 62p.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

O tanque de fossilização
A história de um fóssil
Diferenças entre um fóssil e um organismo atual
Simulando o processo de fossilização
Interpretando icnofósseis: pegadas e impressões
Simulando a formação de impressões foliares
Reconhecendo icnofósseis de dinossauros

2

O CICLO DAS ROCHAS

Marcello Guimarães Simões
Jacqueline Peixoto Neves
Suzana Aparecida Matos

Nosso planeta, a Terra, é constituído por quatro "geoesferas" (litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera), cujas interações conduziram ao aparecimento dos diferentes ambientes e ao desenvolvimento e sustentação da vida, como hoje a conhecemos. Na litosfera são encontrados os constituintes da Terra sólida, isso é, os minerais, as rochas e os corpos de rochas. Minerais são sólidos naturais e cristalinos, resultantes da interação de processos físico-químicos em ambientes geológicos. São essencialmente formados por processos inorgânicos e possuem composição química definida, sendo encontrados naturalmente na crosta terrestre. Já as **rochas** são agregados naturais formados de um ou mais minerais (inclusive vidro vulcânico e matéria orgânica). Não é necessário que o material seja consolidado ou litificado, para ser considerado rocha. Por exemplo, a areia da praia é rocha não consolidada (incoerente), pois representa um corpo independente, formado por agregados naturais de vários grãos minerais, dentre outros materiais. Existem três tipos básicos de rochas, ou seja, as **rochas magmáticas** ou **ígneas**, as **rochas sedimentares** e as **rochas metamórficas**. As rochas magmáticas e metamórficas compõem cerca de 95% do volume total de rochas do planeta, com as sedimentares englobando os 5% restantes. As rochas e os fósseis fornecem os elementos aos geólogos e paleontólogos para que sejam decifrados os fenômenos que ocorreram no passado da Terra e que moldaram nosso planeta.

Ígneas ou Magmáticas

A crosta terrestre é constituída, essencialmente, de **Rochas Ígneas** ou **Magmáticas**, as quais são resultantes do processo de cristalização do magma. O magma é composto pela fusão de soluções complexas de substâncias minerais, além de gases dissolvidos e água. Ao cristalizarem, as substâncias dão origem aos minerais. Existem basicamente três grandes tipos de magmas (**basálticos**, **andesíticos** e **riolíticos** ou **graníticos**). A principal diferença entre eles diz respeito ao conteúdo de silicatos e aos minerais constituintes.

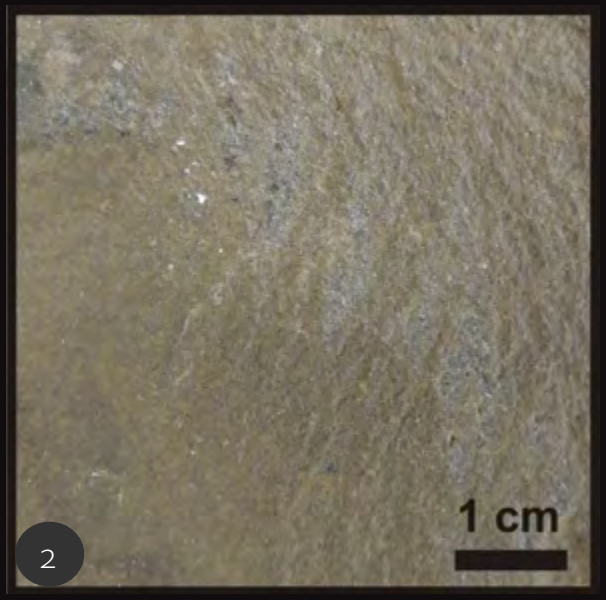
A **viscosidade** (propriedade de uma substância oferecer resistência ao fluxo/mobilidade) é uma das principais características do magma. Ela é controlada pela composição química (teor de sílica), temperatura, grau de cristalinidade (proporção de material cristalizado no magma) e teor de voláteis (gases). Os magmas altamente viscosos contêm maior quantidade de poliedros de sílica (quartzo) e são menos fluidos. Desse modo, são resfriados e consolidados no interior da crosta. Já os magmas menos viscosos contêm menor quantidade de poliedros de sílica e são muito fluidos (atingem a superfície). A **temperatura** do magma varia, em geral, entre 650 e 1.400 graus Celsius, sendo que os magmas menos viscosos possuem temperatura mais elevada e o inverso ocorre com os magmas mais viscosos. Os **magmas basálticos** são pobres em sílica (45 a 55%) e muito fluidos. Já os **magmas graníticos** são ricos em sílica (>65%) e muito viscosos. O **magma andesítico** possui propriedades intermediárias entre esses dois tipos. Os magmas basálticos são os principais constituintes da **crosta oceânica**, enquanto os magmas graníticos e andesíticos estão associados à **crosta continental**. Portanto, magmas distintos são formados em locais diferentes da litosfera.

Mas como identificar as condições geológicas nas quais os magmas são formados? As rochas ígneas expressam as condições geológicas em que se formaram, graças à sua **textura**. A textura refere-se, principalmente, ao arranjo, ao tamanho e à disposição dos minerais que formam a rocha. Já a natureza mineralógica fornece os dados a respeito da composição química do magma. As rochas ígneas podem ser caracterizadas quanto à textura em: **faneríticas**, onde os minerais são visíveis a olho nu (ex: granito, gabro, diorito) **(Figura 1)**; **afaníticas**, cujos cristais são invisíveis a olho nu (ex: basalto, riolito, andesito) **(Figura 2)**; **vítreas**, que são rochas totalmente constituídas por matéria amorfa, não cristalizada (ex: obsidiana) **(Figura 3)**.

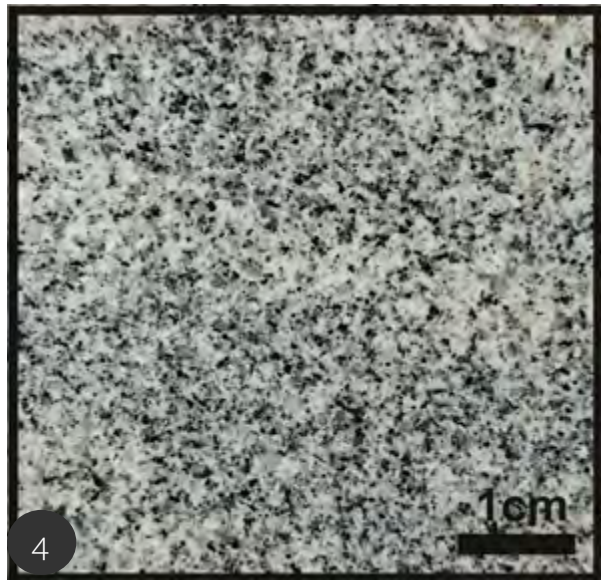
Figura 1. Rocha magmática de textura fanerítica, com minerais visíveis a olho nu. Foto: Suzana A. Matos

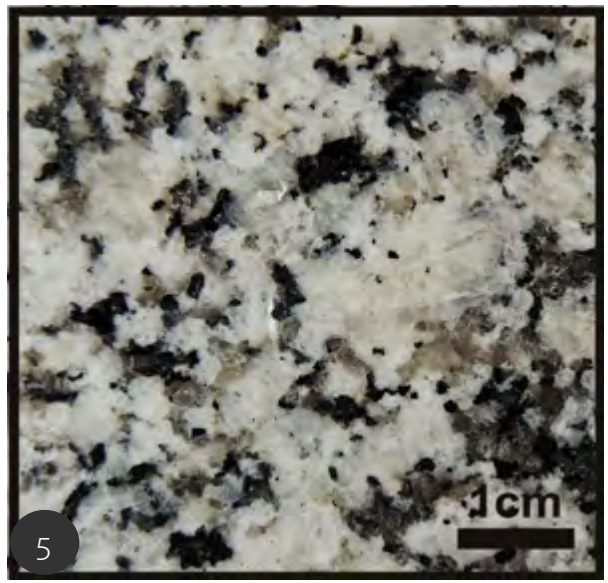
Figura 2. Rocha magmática de textura afanítica, com minerais não visíveis a olho nu. Foto: Jacqueline P. Neves

Figura 3. Rocha magmática vítrea. Fonte: http://goo.gl/Re8NH6.



No caso das rochas ígneas faneríticas, a textura pode ser ainda denominada de: **equigranular**, com minerais de mesmo tamanho **(Figura 4)**; **inequigranular**, com minerais de tamanhos diferentes **(Figura 5); porfirítica**, com cristais bem desenvolvidos – fenocristais – em matriz homogênea **(Figura 6)**. As rochas ígneas podem conter também algumas estruturas, como **vesículas** (cavidades esféricas vazias, originadas por expansão dos gases) e **amígdalas** (quando apresenta vesículas preenchidas por minerais secundários) **(Figura 7)**.





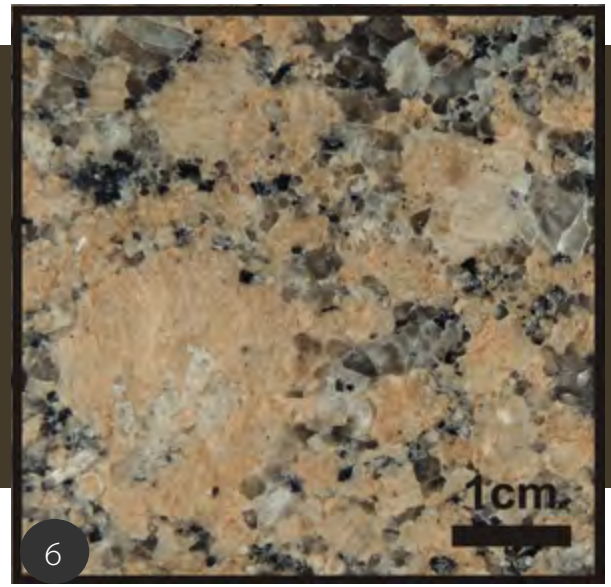


Figura 4. Rocha ígnea fanerítica, equigranular. Foto: Suzana A. Matos.

Figura 5. Rocha ígnea fanerítica, inequigranular. Foto: Jacqueline P. Neves.

Figura 6. Rocha ígnea fanerítica, porfirítica (inequigranular). Foto: Suzana A. Matos

Figura 7. Rocha ígnea basáltica com vesículas e amígdalas. Foto: Jacqueline P. Neves.

Como visto acima, os magmas podem se solidificar dentro da crosta terrestre (altamente viscosos), a vários quilômetros de profundidade, formando as chamadas **rochas ígneas intrusivas** ou **plutônicas** (ex: granito). O resfriamento do magma se processa de maneira lenta e gradual, possibilitando o desenvolvimento sucessivo dos cristais, originando uma **textura fanerítica**. O magma pode extravasar na superfície, por exemplo, através de vulcões e/ou fendas, dando origem às **rochas ígneas extrusivas** (ex: basalto). Neste caso os minerais não são visíveis a vista desarmada (**textura afanítica**) ou, ainda, apresentam **textura vítrea**. Essas texturas derivam do rápido resfriamento a que o magma é submetido na superfície terrestre. Entre os dois tipos citados (**intrusivas** e **extrusivas**), ocorre um tipo intermediário de rochas ígneas, as **hipoabissais**. Formam-se em condições geológicas quase superficiais e ocorrem, normalmente, em forma de diques e *sills*. Quando essas massas de rocha são concordantes com a estrutura são chamadas de *sills* ou soleiras e, quando discordantes, diques **(Figura 8)**. Sua textura é, normalmente, **porfirítica**.

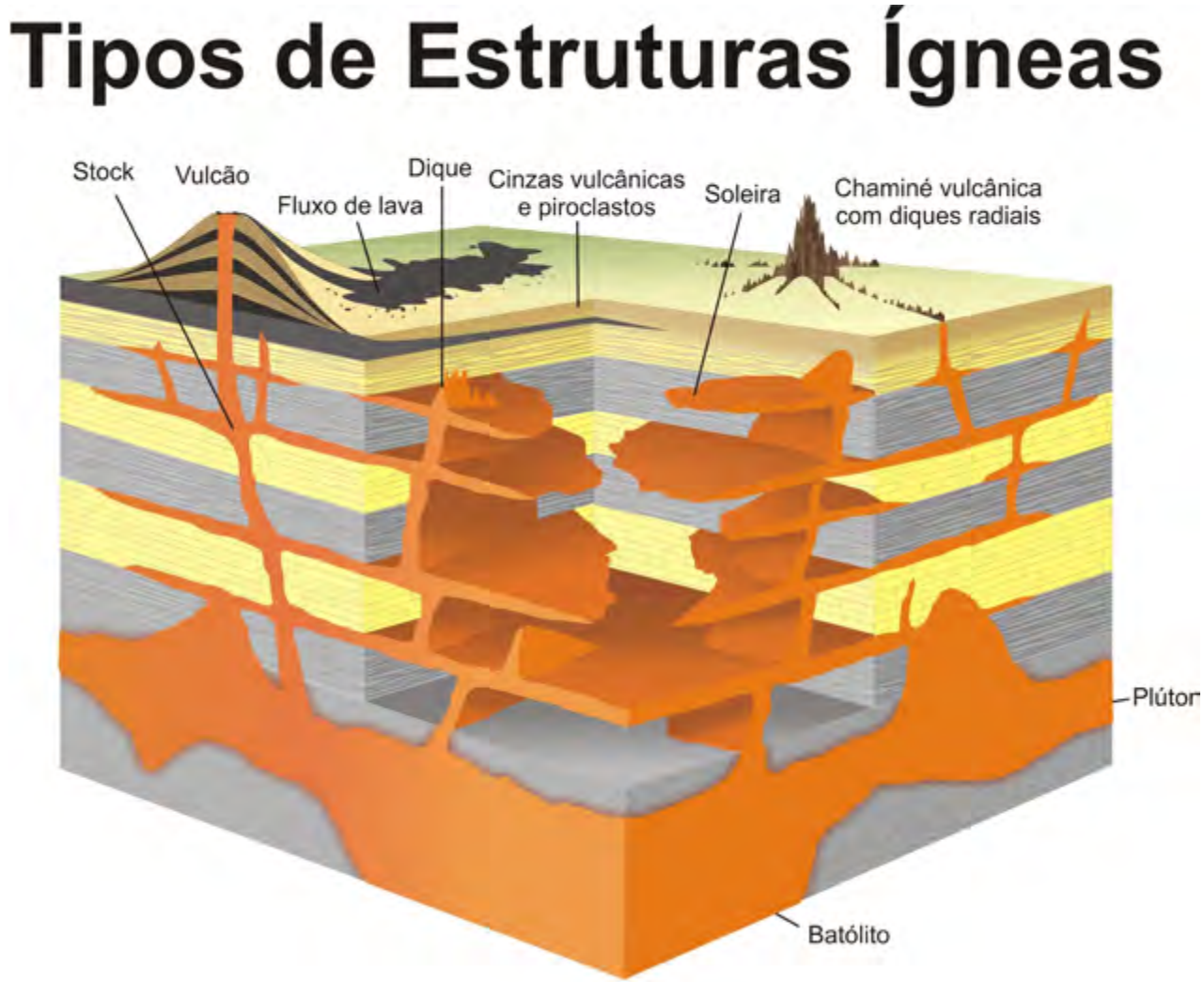


Figura 8. Esquema mostrando diversos tipos de estruturas ígneas. Modificado de Press *et al.* (2006).

Rochas sedimentares

Todas as rochas, ígneas, sedimentares e metamórficas, sofrem, em maior ou menor intensidade, a ação dos agentes naturais (calor, água, ventos, geleiras, gravidade, atividade de organismos, etc.). Estes agentes podem provocar alteração em suas estruturas levando à **desagregação** (quebra) das partículas e à **dissolução** dos constituintes minerais. As partículas desagregadas são transportadas e depositadas em outros locais, normalmente áreas deprimidas da crosta terrestre, denominadas de **bacias sedimentares**. Seu acúmulo dará origem às **rochas sedimentares**. Os sedimentos originais que geram estes tipos de rochas podem ser provenientes de decomposição química e física de rochas já existentes, da precipitação de soluções minerais ou do acúmulo de substâncias orgânicas (por exemplo, conchas de invertebrados, restos vegetais). As rochas sedimentares são muito importantes, pois embora representem apenas cerca de 5% do volume total de rochas do planeta, elas cobrem aproximadamente 75% da crosta terrestre e, normalmente, contêm fósseis **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**.

Segundo a fonte de origem, as rochas sedimentares são classificadas como **clásticas ou detríticas,** originadas por grãos provenientes de rochas já existentes. Exemplos: conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos; **químicas,** originadas pela precipitação de substâncias químicas que se tornaram solúveis devido a uma reação química. Exemplos: halita (NaCl), calcário ($CaCO_3$) calcedônia ou sílex ($SiO_{2)}$; **orgânicas** ou **biogênicas**, originadas pelo acúmulo de material de origem orgânica, principalmente, restos de invertebrados, vertebrados e vegetais. Exemplos: carvão, coquinas, diatomitos, vazas de foraminíferos.

Nas rochas sedimentares clásticas, um parâmetro importante para classificação é a granulometria, ou seja, o tamanho das partículas que compõem a rocha. De acordo com este parâmetro, as rochas sedimentares clásticas ou detríticas podem ser classificadas em **(Figura 9 A a C)**:

Psefitos (cascalho), formados por grãos maiores que 2mm de diâmetro e podendo atingir tamanhos até maiores que 256mm. Em seu estado incoerente são representados pelos matacões, calhaus e seixos. O equivalente coerente constitui os conglomerados.

Psamitos (areias), constituídos por grãos entre 2mm e 0,062mm de diâmetro. Em seu estado incoerente são representados pelas areias (fina, média, grossa), sendo o arenito o seu equivalente coerente.

Pelitos (lama), formados por grãos de tamanho menor que 0,062mm de diâmetro. Os exemplos incoerentes incluem o silte e a argila, sendo os siltitos e argilitos (ou lamitos/folhelhos) os correspondentes coerentes.

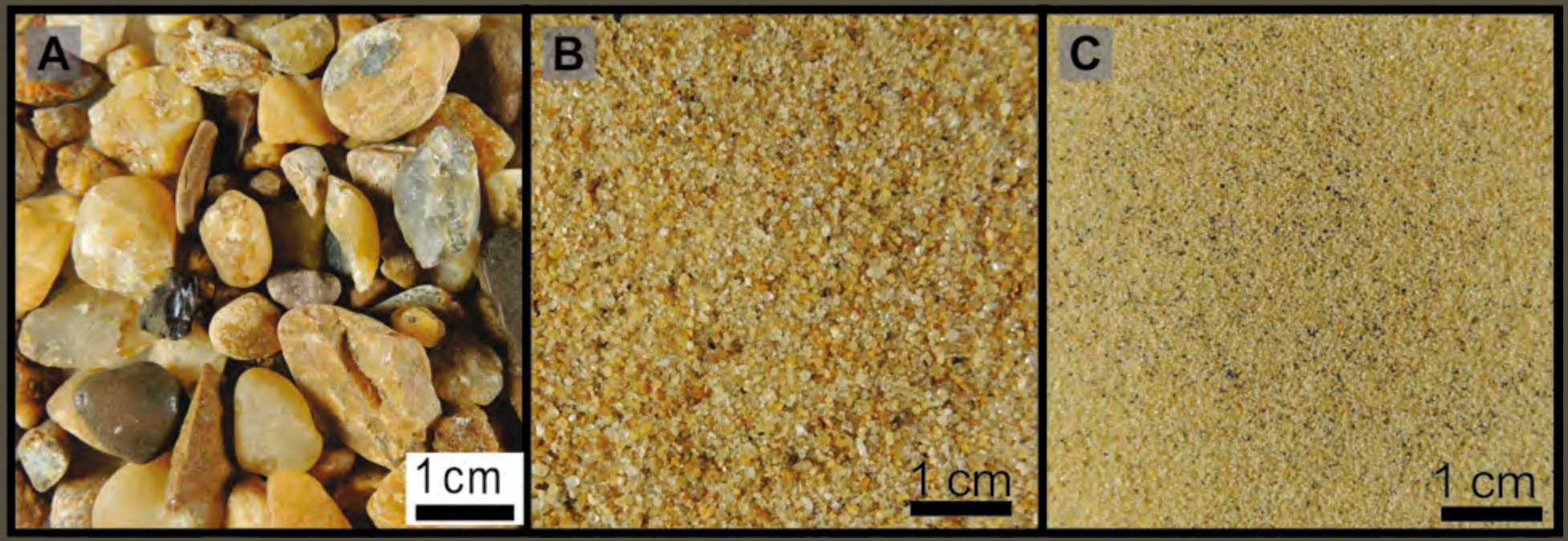


Figura 9. Frações granulométricas constituintes de rochas sedimentares. (A) Psefito (grânulo), tamanho maior que 2mm de diâmetro. (B) Psamito (areia), tamanho entre 2 e 0,062mm de diâmetro. (C) Pelito (silte e argila), tamanho menor que 0,062 mm de diâmetro. Foto: Jacqueline P. Neves.

É importante lembrar aqui que toda área elevada da crosta terrestre, formada por qualquer tipo de rocha, constitui **área fonte de sedimentos (Figura 10)**. É na área fonte que as rochas expostas estarão sujeitas à ação dos processos de intemperismo ou meteorização. O produto do intemperismo (grãos desagregados e minerais dissolvidos) irá então ser transportado (normalmente pela água) até, finalmente, ser depositado na bacia sedimentar. Com o tempo, sucessivas camadas de sedimentos vão se acumulando. Concomitantemente, nas camadas mais antigas da sucessão depositada os espaços vazios entre os grãos (poros) vão diminuindo, havendo também a expulsão da água intersticial (água entre os grãos). Em associação a esse processo ocorre a **cimentação** dos grãos, os quais são ligados (colados) uns aos outros pelas infiltrações de substâncias (cimento) introduzidas entre os grãos e que podem, ao mesmo tempo, dar a cor à rocha. As principais substâncias cimentantes são a sílica, os carbonatos, o ferro e o magnésio. Os arenitos claros são, geralmente, cimentados pela sílica. Os que apresentam cores amarelas e vermelhas são, em geral, cimentados por limonita ou hematita. Os folhelhos são, usualmente, cimentados com material argiloso ou carbonatos e, quando escuros, também com matéria orgânica. A compactação e a cimentação levam à **litificação** (endurecimento) da rocha e, em seu conjunto, esses processos são denominados de **diagênese**. Assim, é através deste processo que a rocha inicialmente incoerente (com grãos soltos) é transformada em rocha **coerente** (compacta, litificada). As areias (rocha incoerente), por exemplo, darão origem aos arenitos (rocha coerente).

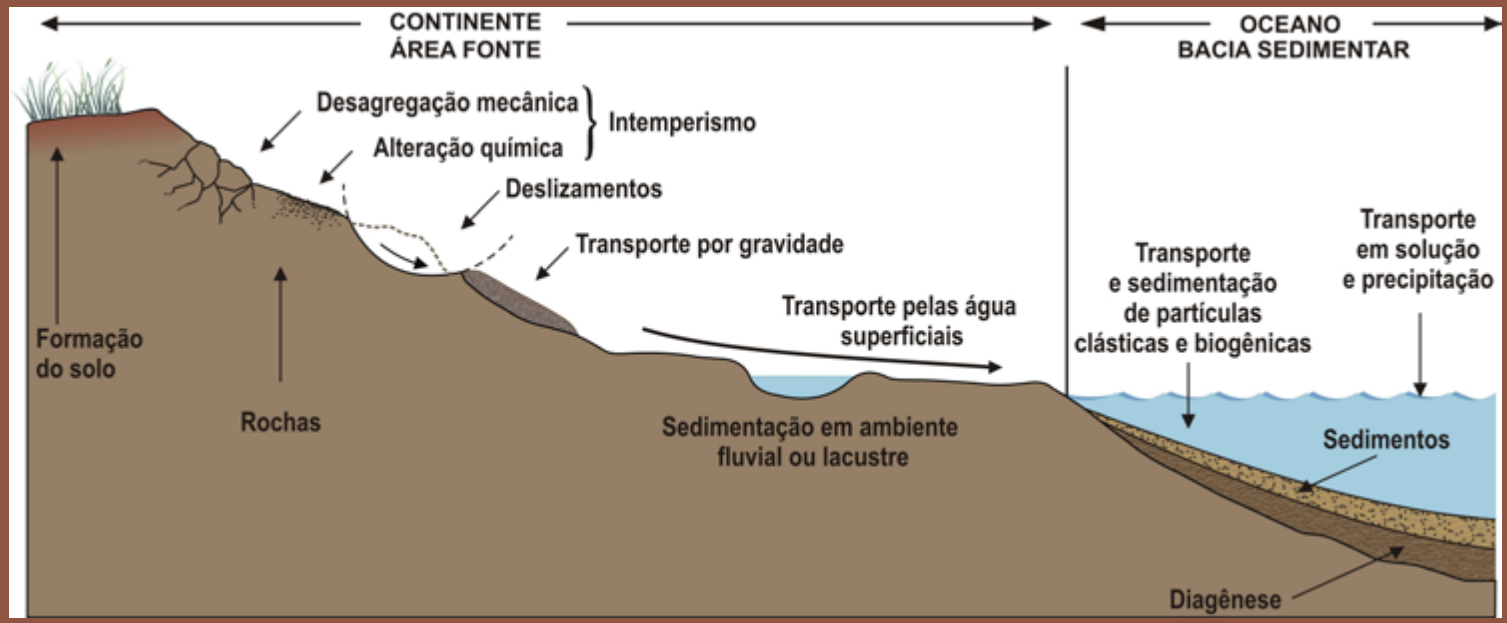


Figura 10. Processos envolvidos na formação de Rochas Sedimentares. Fonte: http://7cncvg.blogspot.com.br/2011_06_01_archive.html.

Um dos aspectos mais característicos das rochas sedimentares é a presença de estruturas geradas durante o processo de deposição dos sedimentos. Compreendem a deposição dos sedimentos em **lâminas**, **estratos** ou **camadas**. As lâminas têm espessura entre os planos de acamamento não superior a 0,5 cm (geralmente variam entre 2 mm e 0,5 cm). Denominam-se estratos quando as espessuras atingem até 2 cm. Já as camadas compreendem estratos com valores, em espessura, superiores a 3 ou mais centímetros. Estes acamamentos podem ser paralelos ou subparalelos entre si, ou, então, se cruzam em planos diferentes, caso em que são chamados estratos cruzados ou estratos inclinados (oblíquos). Além do **acamamento** ou **estratificação (Figura 11)**, as rochas sedimentares podem apresentar outros tipos de estruturas como: marcas onduladas (formadas a partir da movimentação de ondas ou correntes); gretas de contração; concreções de vários tipos que compreendem inclusões de material diferente do sedimento; além de icnofósseis ou fósseis traço **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**.

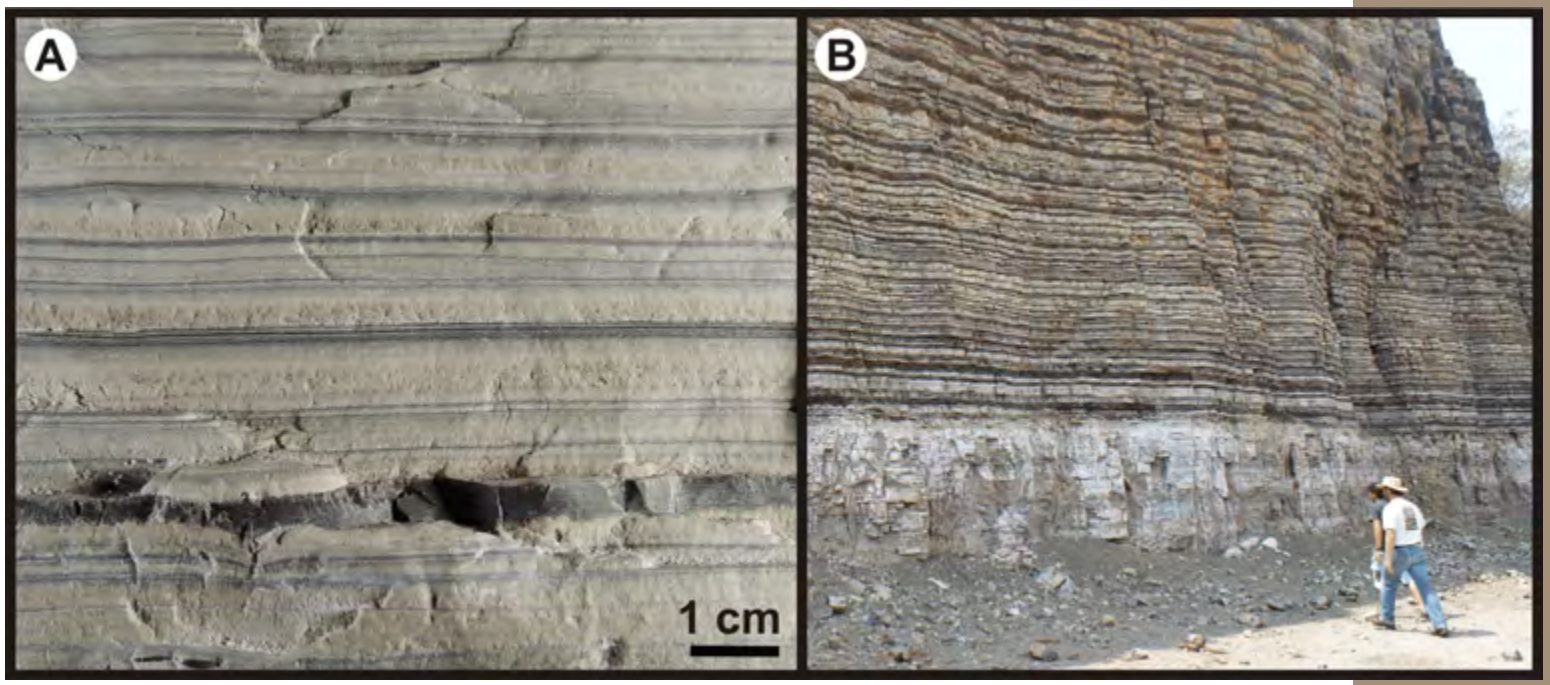


Figura 11. (A) Estratificação (lâminas e estratos) de uma rocha sedimentar. (B) Camadas de rocha sedimentar da Formação Irati. Note as escalas. Foto: Suzana A. Matos.

Rochas metamórficas

Quanto submetidas a mudanças de pressão e temperatura, em profundidades na crosta terrestre de algumas dezenas de quilômetros (10-30 km), as rochas pré-existentes (protólitos) de qualquer natureza (ígnea, sedimentar, metamórfica), sofrem metamorfismo. Neste processo não há fusão e as mudanças ocorrem no estado sólido, através de um processo denominado **blastese** (nucleação e crescimento mineral no estado sólido). Assim, o metamorfismo engloba o conjunto de processos pelos quais uma determinada rocha (protólito) é transformada em outra, através de reações que se processam sem fusão e que causam mudanças composicionais, texturais e estruturais. Neste contexto, por exemplo, o calcário (protólito = rocha sedimentar química) quando metamorfizado dará origem a uma nova rocha, o mármore (rocha metamórfica). É interessante observar que enquanto a diagênese se processa a baixas temperaturas (<250˚C), o metamorfismo ocorre a temperaturas superiores a 300˚C e inferiores a 700˚C. Já o magmatismo ocorre a temperaturas superiores a 700˚C, levando à fusão dos materiais.

Dentre os fatores condicionantes do metamorfismo destacam-se a temperatura (como visto acima), a pressão litostática e dirigida, o tipo de protólito (rocha pré-existente), sua localização na crosta e a presença de fluidos. A temperatura possui forte efeito na mineralogia e textura dos protólitos, pois sua elevação provoca a quebra de ligações químicas, levando ao aparecimento de novas assembleias minerais. Já o aumento da pressão modifica a textura e a mineralogia da rocha pré-existente. Por exemplo, a chamada pressão confinante ou litostática, resultante do peso das rochas sobrejacentes, altera a mineralogia, contribuindo para o aparecimento de novos minerais com estrutura mais densa. Por sua vez, a pressão dirigida, resultante da ação compressiva entre placas convergentes causa a deformação dos protólitos. Aqui o calor diminui a resistência da rocha e a pressão dirigida causa fortes dobramentos, especialmente nas áreas colisionais (ex: limites convergentes de placas tectônicas). As deformações causam a compressão, alongamento e rotação dos minerais. Quando alongados, os minerais arranjam-se perpendicularmente ao esforço maior. É importante lembrar que as mudanças na mineralogia, textura e composição química dos protólitos são reflexos da busca dos constituintes da rocha pelo equilíbrio, sob novas condições de pressão e temperatura. Alguns minerais (acianita, anda-

lusita, sillimanita, estaurolita e epidoto), por exemplo, só se formam sob condições de metamorfismo (minerais neoformados) e são diagnósticos deste processo.

Vários tipos de metamorfismo podem ser reconhecidos: **Metamorfismo Regional**, que ocorre em largas faixas da crosta, ao longo de limites colisionais de placas (limite convergente), caracterizando-se pelo aumento da pressão e temperatura; **Metamorfismo de Contato**, localizado ao redor de grandes intrusões ígneas e influenciado principalmente pelo aumento de temperatura; **Metamorfismo Cataclástico**, que ocorre ao longo de zonas de falhas onde os esforços cisalhantes entre blocos de rochas que se movem geram a quebra (cataclese) e fragmentação das rochas adjacentes à falha (limite transformante de placas). Neste caso há o domínio da pressão dirigida; **Metamorfismo Hidrotermal**, decorrente de reações de fluidos hidrotermais, de aumento da temperatura nas rochas adjacentes (ex: limite divergente de placas); **Metamorfismo de Soterramento**, que ocorre devido ao aumento de pressão e temperatura em decorrência do acúmulo de camadas de rochas.

As rochas metamórficas são identificadas pela textura, ou seja, pelo tamanho, forma e arranjo dos cristais. A **foliação**, ou seja, o conjunto de superfícies planas ou onduladas, paralelas, produzidas por deformação é uma das feições mais notáveis das rochas metamórficas. Esta feição decorre, principalmente, da orientação preferencial de minerais placoides (micas) e alongados (piroxênios, anfibólios, etc.) **(Figura 12)**. As ardósias, os filitos, os xistos e os gnaisses são exemplos de rochas metamórficas foliadas. Nem toda rocha metamórfica é, porém, foliada. As rochas metamórficas não foliadas são denominadas granulares e constituídas por minerais equidimensionais, como cubos e esferas, ao invés de minerais placoides e alongados. Neste caso, são classificadas pela composição química e não pela textura. O quartzito e o mármore **(Figura 13)** são exemplos de rochas metamórficas granulares.

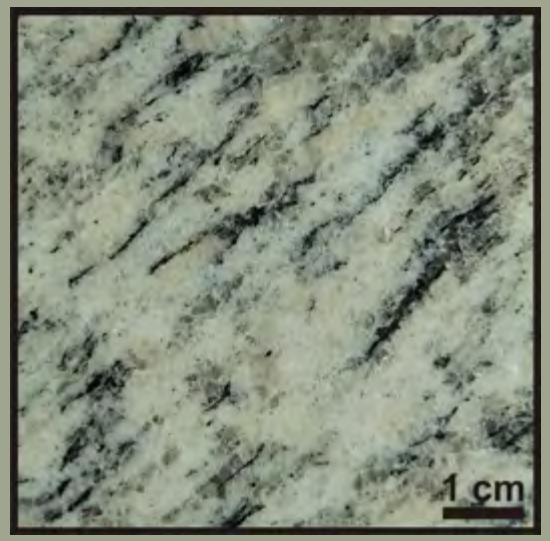


Figura 12. Rocha Metamórfica com textura foliar (Gnaisse). Foto: Jacqueline P. Neves.

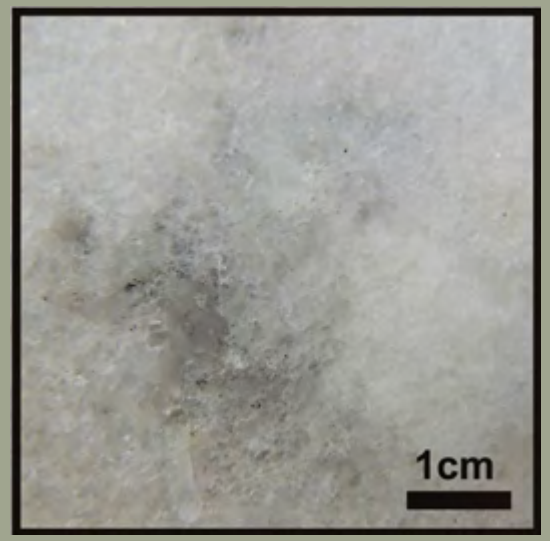


Figura 13. Rocha Metamórfica com textura granular (Mármore). Foto: Suzana A. Matos.

O CICLO DAS ROCHAS SIMPLIFICADO

A Terra deve ser vista como um grande sistema. De particular importância para esta atividade são os fenômenos operantes nos sistemas regidos pela Tectônica de Placas e o Clima **(Figura 14)**.

Figura 14. Os sistemas terrestres. Modificado de Press *et al.*, 2006.

O ciclo das rochas existe desde os primórdios da história geológica da Terra e, através dele, a crosta do planeta está em constante transformação e evolução. Os continentes se originaram ao longo do tempo geológico pela transferência de materiais menos densos do manto (magma) para a superfície terrestre. No esquema abaixo **(Figura 15)**, as setas que interligam as rochas ígneas, sedimentares e metamórficas indicam processos relacionados à dinâmica geológica da crosta terrestre.

Foi visto na seção referente às rochas sedimentares que, uma vez expostas à atmosfera e à biosfera, as rochas (de qualquer natureza) passam a sofrer a ação do intemperismo. Este fenômeno atua através de reações, tais como oxidação, hidratação, solubilização, o ataque por substâncias orgânicas, as variações diárias e sazonais de temperatura, dentre outros processos. O intemperismo faz com que as rochas percam sua coesão, sendo erodidas, transportadas e depositadas em depressões onde, após a diagênese, passam a constituir as rochas sedimentares. Através dos processos ligados à **Tectônica de Placas** **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES)**, como a subducção, as rochas podem ser levadas a ambientes muito diferentes daqueles onde originalmente foram geradas. Qualquer rocha (ígnea, sedimentar, metamórfica) quando submetida à ação de, por exemplo, altas pressões e temperaturas, sofre transformações mineralógicas e texturais, transformando-se em rocha metamórfica. Contudo, se as condições de metamorfismo (aumento de temperatura e pressão) forem muito intensas, as rochas podem se fundir novamente, gerando magmas que, ao se solidificar, darão origem a novas rochas ígneas, reiniciando o processo.

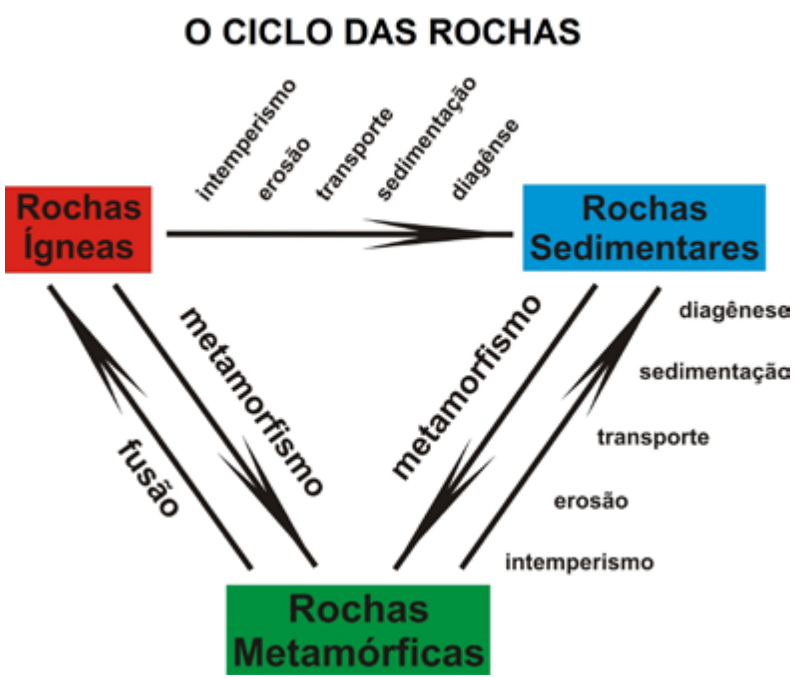


Figura 15. Esquema simplicado do Ciclo das Rochas. Fonte: Oficina de Réplicas/USP (http://www.igc.usp.br/replicasold/menu.htm).

REFERÊNCIAS

CONSTANTE, A. 2009. Actividades lúdico-práticas no Ensino da Geologia: um estudo com alunos do 7º ano de escolaridade. Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, Dissertação de Mestrado.

CONSTANTE & VASCONCELOS, C. 2010. Actividades lúdico-práticas no ensino da geo¬logia: complemento motivacional para a aprendizagem. Terræ Didatica 6(2): 101-123.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROETZINGER, J., JORDAN, T. 2006. Para entender a Terra. Porto Alegre: Artmed, 656p.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R. & TAIOLI, F. 2000. Decifrando a Terra. 2ª ed., São Paulo: Com¬panhia Editora Nacional, 620 p.

WICANDER, R. & MONROE, J. S. 2009. Fundamentos de Geologia. Cengage Learning, 528p.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Jogo Ciclo das Rochas

VOLTE AO SUMÁRIO

3

TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES

Marcello Guimarães Simões
Suzana Aparecida Matos
Jacqueline Peixoto Neves

Nossa Terra é um planeta único no Sistema Solar. Água no estado líquido cobre 70% da superfície do planeta e a atmosfera é rica em vapor de água. O planeta **contém vida**, sendo geologicamente ativo. Neste capítulo procuraremos valorizar os fenômenos geológicos que tornam a Terra um planeta dinâmico. Não é um tratado de geotectônica, mas sim uma síntese das principais hipóteses, processos e fenômenos que explicam as complexidades da litosfera terrestre, servindo de fonte introdutória ao tema. Conforme será visto, as teorias sobre as mudanças da crosta terrestre podem ser consideradas uma das grandes revoluções científicas do século XX, com aplicações em diversas áreas. Por exemplo, a expansão do fundo oceânico, a origem dos continentes e de todos os **grandes traços da crosta terrestre**, hoje, explicados por tais teorias, influenciaram o pensamento biogeográfico moderno e a paleobiogeografia **(ver capítulo PALEOBIOGEOGRAFIA: A DINÂMICA DA TERRA E DA VIDA)**, com reflexos na Bioestratigrafia **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)** e, portanto, na Paleontologia. Nesse contexto, procuramos apresentar tais descobertas em linguagem acessível ao leitor, sem perder, contudo, o rigor conceitual. Valorizamos, grandemente, também, os aspectos históricos do desenvolvimento das bases conceituais que levaram à proposi-

ção da teoria da Tectônica de Placas ou **Nova Tectônica Global** e que explicam as complexidades da crosta terrestre e seus arquitetos principais. O leitor interessado nas questões históricas relativas ao debate conceitual sobre essas teorias e como aplicá-las ao ensino das geociências, nos mais variados níveis, pode consultar **Celino *et al*. (2003)** e **Lavina (2010)**. Embora as ideias centrais sobre a Tectônica de Placas sejam hoje amplamente aceitas, felizmente, muitos aspectos continuam desafiando os geocientistas. Desse modo, a revolução geocientífica concretizada na década de 1960, não está encerrada, como mostram os debates ocorridos no início do novo milênio sobre o supercontinente Rodínia (veja **Brito Neves, 2003**) e a proposta de Mitchell *el al.* (2012) sobre o posicionamento do próximo supercontinente, Amásia.

Toda verdade passa por três estágios. No primeiro, é ridicularizada. Em segundo lugar, é rejeitada com violência. No terceiro, é aceita como evidente por si própria.

Arthur Schopenhauer

INTRODUÇÃO

Imagine-se como um viajante do espaço, assim como o astrogeólogo brasileiro, Eduardo Vasconcellos, que viveu a maior aventura interestelar já empreendida pela humanidade, na **Expedição Espacial Terra Novae**. Você foi enviado ao nosso **sistema solar** para fazer observações científicas e ao se aproximar do quarto planeta interno deste sistema, a Terra (baixe **aqui** o livreto sobre a Terra no site do Observatório Nacional) o que viu da janela de sua espaçonave é a imagem da **figura 1**.

Figura 1. Ilustração representando o planeta Terra visto do espaço. Fonte: http://free-wallpaper.biz/wallpaper-earth-from-space.html.

Você contempla as **grandes feições fisiográficas do planeta** e observa a topografia do fundo oceânico, como na **imagem aqui**! Neste contexto, o que lhe chama atenção? O que dizer, por exemplo, da fisiografia da costa oeste do continente africano e a costa leste do sul-americano? O que são as estruturas alongadas e elevadas que cortam os fundos dos oceanos terrestres? **Você continua se aproximando** e nota que tais estruturas correspondem a verdadeiras cadeias de montanhas no meio dos oceanos, com um vale profundo por onde magma atinge a superfície terrestre. Essa cordilheira que você observa corta o oceano Atlântico, com profundidades superiores a 6.000 metros. Por que tais estruturas existem? O que elas nos revelam sobre a dinâmica do interior do planeta? Responder a essas e outras questões leva-nos a uma viagem por um dos assuntos mais palpitantes das ciências geológicas ou geociências, isso é: a **Tectônica de Placas** ou **Nova Tectônica Global**.

Mas o que é a Tectônica de Placas? Para entendê-la necessitaremos de conhecimentos de **Geologia**, **Geofísica** e **Planetologia Comparada**. Embora outros planetas do sistema solar sejam tectonicamente ativos, a Tectônica de Placas é um fenômeno intrinsicamente terrestre. Para começar vamos compreender o significado do termo Tectônica de Placas: **Placa** = laje grande, rígida, formada de rocha sólida; **Tectônica** = termo vindo do grego que significa construir. Portanto, isso quer dizer que a superfície terrestre é construída por placas, que possuem comportamento físico rígido, que se movimentam horizontalmente ao longo do tempo geológico. Em determinados pontos as placas estão se separando, em outros estão se chocando, dando origem a enormes massas continentais chamadas de supercontinentes, como a **Pangeia**, por exemplo, com feições totalmente diferentes das que conhecemos hoje. O fenômeno de tectônica de placas implica em dois processos que serão vistos mais adiante, denominados de **expansão do assoalho oceânico** e **subducção**, gerando as fossas oceânicas. A Tectônica de Placas explica a formação das cadeias de montanhas, o surgimento e desaparecimento de bacias oceânicas, a ocorrência de vulcanismo e terremotos e a formação de ilhas vulcânicas no meio dos oceanos.

A teoria da Tectônica de Placas foi proposta por **Tuzo Wilson**, geofísico canadense, em um artigo científico publicado na prestigiosa revista *Nature*, em 1965. A Tectônica de Placas não deve ser confundida com a teoria que a precedeu, a **Deriva Continental**. A teoria da Tectônica de Placas pode ser definida como sendo o grupo de conceitos que trata das complexidades da crosta terrestre e suas interações com as placas litosféricas. Está fundamentada nos argumentos corretos da Deriva Continental e na **Expansão do Assoalho Oceânico**. Segundo esta teoria, a Terra possui uma camada mais externa, denominada litosfera, suficientemente fria para se comportar como se fosse rígida, que está assentada (= "flutuando") sobre a Astenosfera, que é uma camada plástica e quente. **Entenda as diferenças entre as camadas terrestres**. A litosfera é segmentada por fraturas, formando um mosaico com, pelo menos, oito grandes placas e algumas menores, que deslizam horizontalmente. Como visto, esta teoria é relativamente jovem (~50 anos) e, historicamente, envolveu o grande embate das geociências, a disputa entre os fixistas e os mobilistas.

Obviamente, as ideias que conduziram à proposição da teoria da Tectônica de Placas e, mais tarde, à Nova Tectônica Global não surgiram da noite para o dia. Na realidade, elas compreendem a evolução do arcabouço conceitual e metodológico das geociências, nos últimos 200 anos. O leitor interessado poderá encontrar um bom apanhado histórico desta contenda em Hallam (1983) e em **Brito Neves** (1995). A revolução científica que a Tectônica de Placas trouxe à Geologia se equivale à revolução introduzida nas Ciências Biológicas, pela teoria da Evolução de Darwin-Wallace **(ver capítulo EVOLUÇÃO SOB A PERSPECTIVA DO REGISTRO FÓSSIL)**, mas com uma importante diferença, ela ocorreu há menos de 50 anos.

Conforme será visto mais adiante, a teoria da Tectônica de Placas, desenvolvida nos anos 1960, sustenta que as grandes feições do planeta Terra (oceanos, cadeias de montanhas, vales em *rift*, arcos insulares) são formadas devido ao movimento horizontal da litosfera (crosta + porção superior do manto). Porém, é preciso esclarecer que Deriva Continental não é sinônimo de Tectônica de Placas. Embora tratem da mesma questão fundamental (= movimentação horizontal da crosta), a Deriva Continental precedeu à Tectônica de Placas em, pelo menos, 40 anos, tendo sido por muito tempo rejeitada pela comunidade geológica. Em 1912, o meteorologista e geofísico alemão Alfred Wegener, propôs que os continentes eram móveis, desenvolvendo suas ideias sobre a teoria da Deriva Continental em seu livro *The origin of continents and oceans* **(Figura 2)**. A despeito do impressionante volume de argumentos geológicos, geofísicos, geocronológicos e paleontológicos favoráveis à teoria, ela foi inteiramente rejeitada e até ridicularizada, a ponto de Wegener encontrar dificuldades para obter uma posição acadêmica na Alemanha (obteve o cargo de professor-adjunto na Universidade de Graz, na Áustria). Wegener morreu em 1930, nos gelos da Groenlândia. Seus críticos acreditavam que sua própria teoria o havia cegado ao ponto de não mais poder vislumbrar a verdade. Mas tendo tantas concordâncias entre as ideias de Wegener e as da Tectônica de Placas, por que então a **Deriva Continental teria sido rejeitada**? **Clique aqui e descubra**!

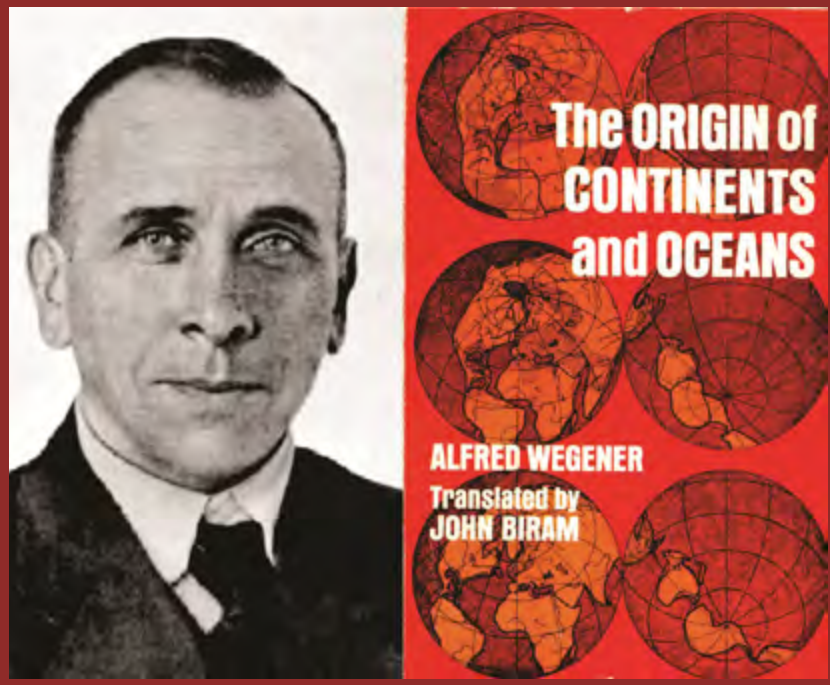


Figura 2. Alfred Wegener e seu livro *The Origin of Continents and Oceans*, no qual propõe a Teoria da Deriva Continental. Fonte: http://goo.gl/hlA1Xy.

A EVOLUÇÃO DE UMA TEORIA

A teoria da Tectônica de Placas abarca cerca de 200 anos de debates de temas controvertidos em geociências. De fato, antes do desenvolvimento da teoria de Tectônica de Placas, em meados da década de 1960, várias outras teorias de Tectônica Global já existiam. Em Brito Neves (1995) há um excelente apanhado histórico do desenvolvimento das concepções e escolas em Geotectônica. Inicialmente o debate envolveu os chamados **netunistas x plutonitas** ou **catastrofistas x atualistas**, nos séculos XVIII e XIX. Já entre 1850-1900/1910, emergiram as primeiras escolas de pensamento geotectônico distinto, a Norte-americana e a europeia. Figuras ilustres, deste período, incluíam:

- **Élie de Beaumont (Figura 3)** que, pela primeira vez, lança a teoria de Tectônica Global, na forma da **teoria da Contração**, onde a Terra é vista como uma estrutura rígida em contração, em decorrência da progressiva perda de calor ao longo de sua evolução. Assim, as elevações e depressões terrestres, referentes às cadeias de montanhas, vales e bacias oceânicas, corresponderiam à superfície "enrugada" da Terra, tal qual um maracujá murcho, cuja superfície se torna franzida com o passar do tempo.

- Eduard Suess (Figura 4), nome de destaque deste período e um divisor natural do conhecimento sobre a Geotectônica, tendo rebatido a teoria da Contração e sendo um precursor do **mobilismo**, na Europa. Em sua obra *Das Antlitz der Erde* (1904 - 1909) ou A face da Terra, introduziu, pela primeira vez, o termo biosfera. Suess se contrapôs à teoria do Geossinclinal, de Hall e Dana (vide abaixo), afirmando não ser observável na maioria dos casos de estudo. Suess descreveu a Terra como formada por três camadas concêntricas, de naturezas distintas, denominadas: nife (Ni-Fe, níquel-ferro), camada que constitui o núcleo da Terra; sima (Si-Ma, silício-magnésio) a camada intermediária, constituindo o manto terrestre e a camada mais externa, sal (Si-Al, silício-alumínio), que integra a crosta terrestre (a designação sial ou sialesfera veio posteriormente com Alfred Wegener).

Figura 3. Élie de Beaumont, geólogo francês que propôs a teoria da Contração. Fonte: http://werkgroepcaraibischeletteren.nl/tag/wetenschap/page/9/.

Figura 4. Eduard Suess, precursor do mobilismo na Europa. Fonte: http://goo.gl/ajQst5.

- James Hall, geólogo americano que, juntamente, com **James D. Dana (Figura 5),** introduziu o conceito de geossinclinal. Seus estudos, até o início dos anos 1940, baseavam-se, quase integralmente, em rochas sedimentares e metamórficas antigas que afloravam nos continentes. Segundo o modelo clássico de geossinclinal, o período de sedimentação sempre encerrava em orogenia, a qual destruía o geossinclinal e dava origem a um novo cinturão de dobras e falhamentos. A revolução da Tectônica de Placas, na década de 1960, provocou alterações na concepção original de geossinclinal (= formação sedimentar espessa, acumulada rapidamente, em uma depressão larga e longa, normalmente paralela à margem da placa continental).

O debate instaurado por Suess, de um lado, e por Hall e Dana, de outro, deu início à principal disputa geológica do século XX, o debate entre os **fixistas** e os **mobilistas** (ou ainda plaquistas), entre 1900/1910 - 1960. Dá-se o nome de **Mobilismo**, à escola geotectônica fundamentada na movimentação horizontal da litosfera. Seu principal proponente foi A. Wegener, tendo como defensores **Arthur Holmes** na Europa, Daly na América do Norte, e Du Toit na África do Sul, dentre outros. Por outro lado, emprega-se o nome de **Fixismo** à escola de pensamento que sustentava que os continentes teriam se mantido estáveis e fixos em suas posições atuais, no decorrer de todo tempo geológico. É também conhecida como escola verticalista, estando fundamentada na concepção da teoria Geossinclinal. É neste momento do desenvolvimento científico da Geologia surge a teoria da **Deriva Continental**.

A revolução ocorrida no pensamento geológico nos últimos 50 anos e o estabelecimento de novos paradigmas no âmbito da Tectônica de Placas ou Nova Tectônica Global só foram possíveis dados os avanços tecnológicos envolvendo a datação absoluta de rochas **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**, a exploração do fundo oceânico, a descoberta do paleomagnetismo, avanços na sísmica e no mapeamento digital, dentre outros, ocorridos a partir da década de 1960. Assim, neste contexto, o conceito de Tectônica de Placas só pode ser desenvolvido devido à conjunção interdisciplinar de diferentes contribuições científicas. Até 1940, por exemplo, já se sabia que: (a) a abertura de oceanos tinha relação com a distensão da crosta; (b) as zonas sísmicas mais

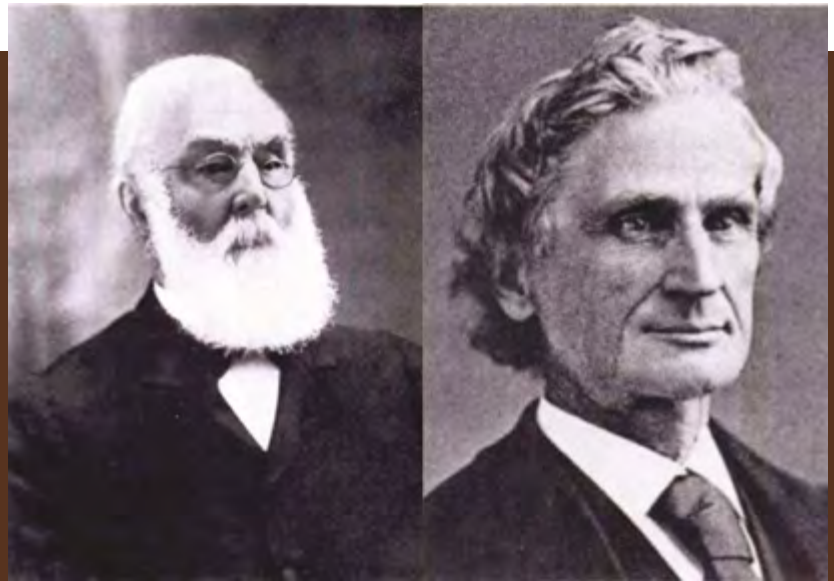


Figura 5. James Hall (esquerda) e James Dana (direita), geólogos que introduziram o conceito de Geossinclinal. Fontes: http://geosociety.wordpress.com/2013/01/30/the-geological-society-of-america-and-its-founders/ e https://geosociety.wordpress.com/2013/02/15/the-geological-society-of-america-and-its-founders-james-dwight-dana/.

importantes do globo estavam relacionadas com arcos de ilhas e fossas oceânicas; (c) a configura ção continental atual era fruto da fragmentação de um supercontinente; (d) as dorsais meso-oceânicas e os arcos de ilhas representariam orógenos jovens; (e) as grandes cadeias de montanhas teriam resultado de choque ou arrasto de continentes e, finalmente, (f) que as correntes de convecção do manto poderiam ser as responsáveis pelos movimentos horizontais da crosta.

Mais recentemente, com a evolução do pensamento mobilista, nasce um novo paradigma na ciência geológica, que é denominado de **Nova Tectônica Global**. De fato, como lembra o Prof. B. Bley de Brito Neves (IGc/USP), em seu **artigo sobre Crátons e Faixas Móveis**, a Geotectônica "não se encontra mais dividida em escolas e facções antagônicas (fixistas, mobilistas, plaquistas, etc.)", tendo encontrado "um caminho relativamente unificado", o que significa "considerar a Tectônica como Global (não há processos isolados), em escala planetária, e sua evolução irreversível com o tempo geológico, cujo motor – de todos os processos e desta vinculação com o tempo – é a perda de calor do interior da Terra."

ORIGEM E DIFERENCIAÇÃO DA TERRA

Para entendermos a teoria de Tectônica de Placas precisamos incialmente compreender como a Terra se formou e como ela está estruturada. Grande parte do que sabemos hoje sobre a formação da Terra nos remete à própria formação do nosso sistema solar. De acordo com as teorias mais aceitas **(Teoria Nebular Moderna)** atualmente, ambos (Terra e sistema solar) foram formados ao mesmo tempo, tendo aproximadamente 4,6 bilhões de anos. Nossa compreensão da origem da Terra e do sistema solar advém, na maior parte, de observações indiretas que demonstram que, inicialmente, havia uma nuvem de gás e poeira, como a nebulosa de Órion. Esta nuvem deveria ser difusa, de baixa densidade, com gás [principalmente o hidrogênio (H_2)] e poeira do espaço interestelar. Esta nuvem colapsou, devido ao peso e força de expansão dos gases, dando início ao movimento de rotação da nebulosa. Consequentemente, pontos localizados contraem-se gravitacionalmente ainda mais. No futuro, esses pontos irão dar origem ao Sol, aos planetas e aos corpos menores do sistema solar em formação. Baixe aqui um PDF da aula sobre a **Introdução sobre a Formação do Sistema Solar**, do Prof. Dr. Tibério B. Vale, do Instituto de Física da UFRGS, ou assista ao vídeo do *The History Channel*, **sobre como o sistema solar foi formado**.

No início da formação do sistema solar existiam apenas grãos microscópicos de poeira, que pela força de atração gravitacional formavam corpos cada vez maiores e com mais massa **(Figura 6)**, num processo denominado acreção (= aglutinação). Corpos maiores adquiriam competência ampliada para atrair outros corpos, agregando mais matéria, dando origem aos denominados planetésimos ou planetesimais. Entretanto, tudo irá depender da velocidade de choque entre os corpos, como será visto mais adiante. Os planetesimais tinham cerca de um quilômetro de diâmetro e representam o primeiro estágio para a criação de um futuro planeta.

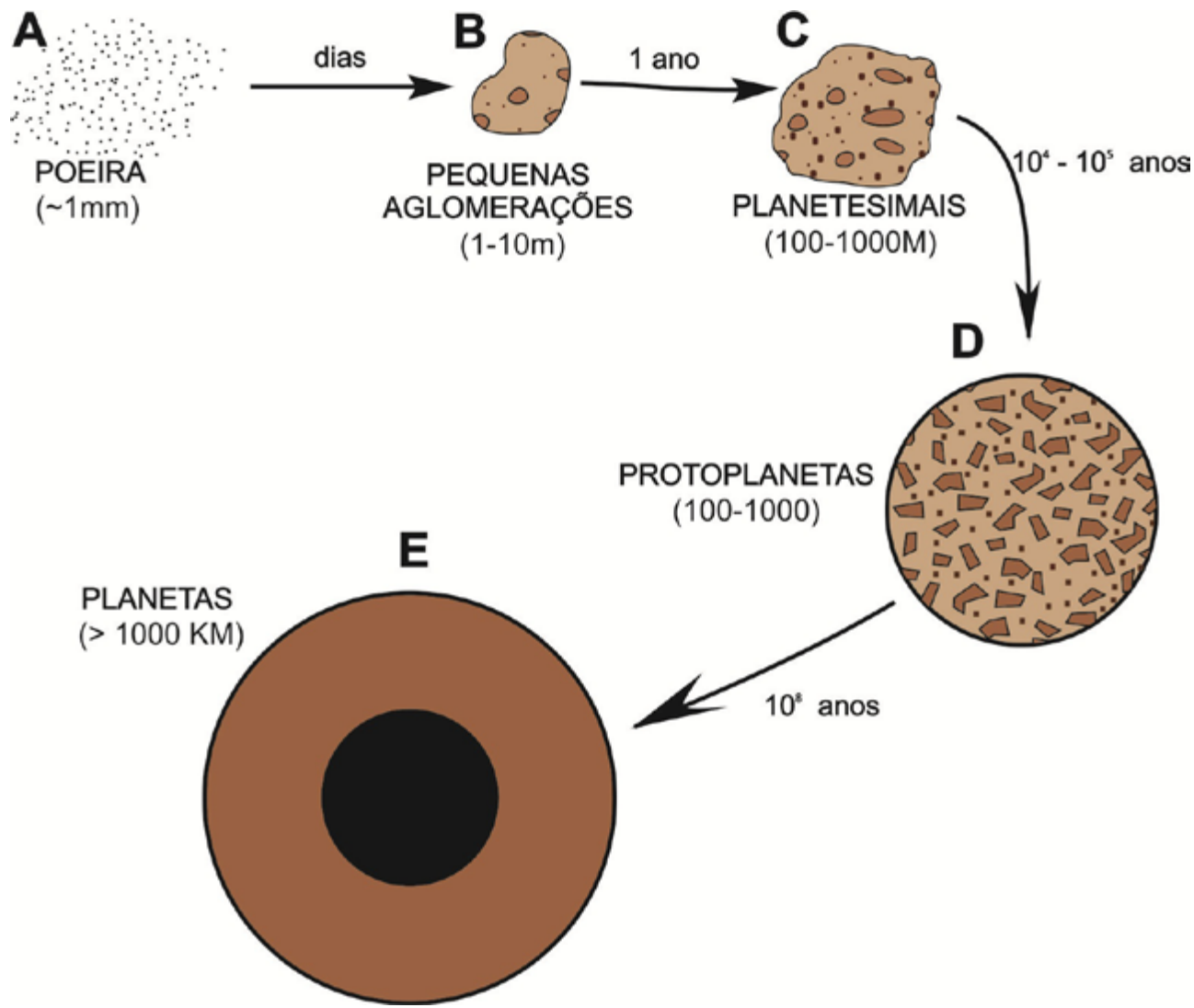


Figura 6. Esquema mostrando a provável formação dos planetas a partir de grãos microscópicos de poeira, originando corpos cada vez maiores pelo processo de acreção. Fonte: http://www.on.br.

Aproximadamente 100 mil anos depois, os planetesimais formaram corpos maiores, com alguns quilômetros de diâmetro, chamados de protoplanetas. Com massas comparáveis à da Lua e a de Marte, os protoplanetas são entendidos como o último estágio para formação de um planeta.

O mais significativo evento na história da Terra foi a diferenciação dos materiais no interior do planeta segundo sua composição química e densidade, dando origem a uma estrutura formada por camadas concêntricas. Embora todos os planetas do Sistema Solar tenham um núcleo sólido, a criação do Núcleo terrestre é o principal evento associado à diferenciação. Contudo, existem ainda muitas controvérsias relacionadas à diferenciação em camadas terrestres. A **figura 7** apresenta uma das sequências possíveis de eventos que levaram à formação e diferenciação da Terra.

A fusão dos materiais terrestres permitiu a diferenciação da Terra e a formação de camadas com comportamento químico e físico distinto. Porém, além dos mecanismos vistos acima, outra hipótese para explicar a diferenciação é a **teoria do Grande Impacto**. Você sabe o que é isso?

Atualmente, acredita-se que a origem da Lua resulte do último grande impacto sofrido pela Terra em sua fase de planetésimo. Esta teoria, proposta em 1975, **postula que a origem da Lua se deu através do impacto** de um planeta com tamanho aproximado de Marte, denominado Theia (=Teia), com a Terra. Mas por que um impacto gigante é necessário para explicar a origem da Lua e qual a sua relação com as camadas terrestres?

Conforme pode ser visto na **figura 8**, a Terra é constituída, pelas seguintes camadas: **crosta, manto e núcleo (externo e interno)**, quando considerada sua composição química. O limite entre o manto e o núcleo está a uma profundidade de aproximadamente 2.900 km (vide também a **figura 13**, mais adiante). Ali se tem uma camada com comportamento físico particular e espessura irregular (~300 km), a chamada camada "D"(= "D duas linhas"). Esta camada foi formada como resultado de reações físicas e químicas devido à dissolução parcial do manto no ferro líquido do núcleo. **Clique aqui**, e veja uma animação dos tipos de estruturas (falhas) que são geradas pelas compressões, distensões e cisalhamentos dos matérias presentes na crosta terrestre.

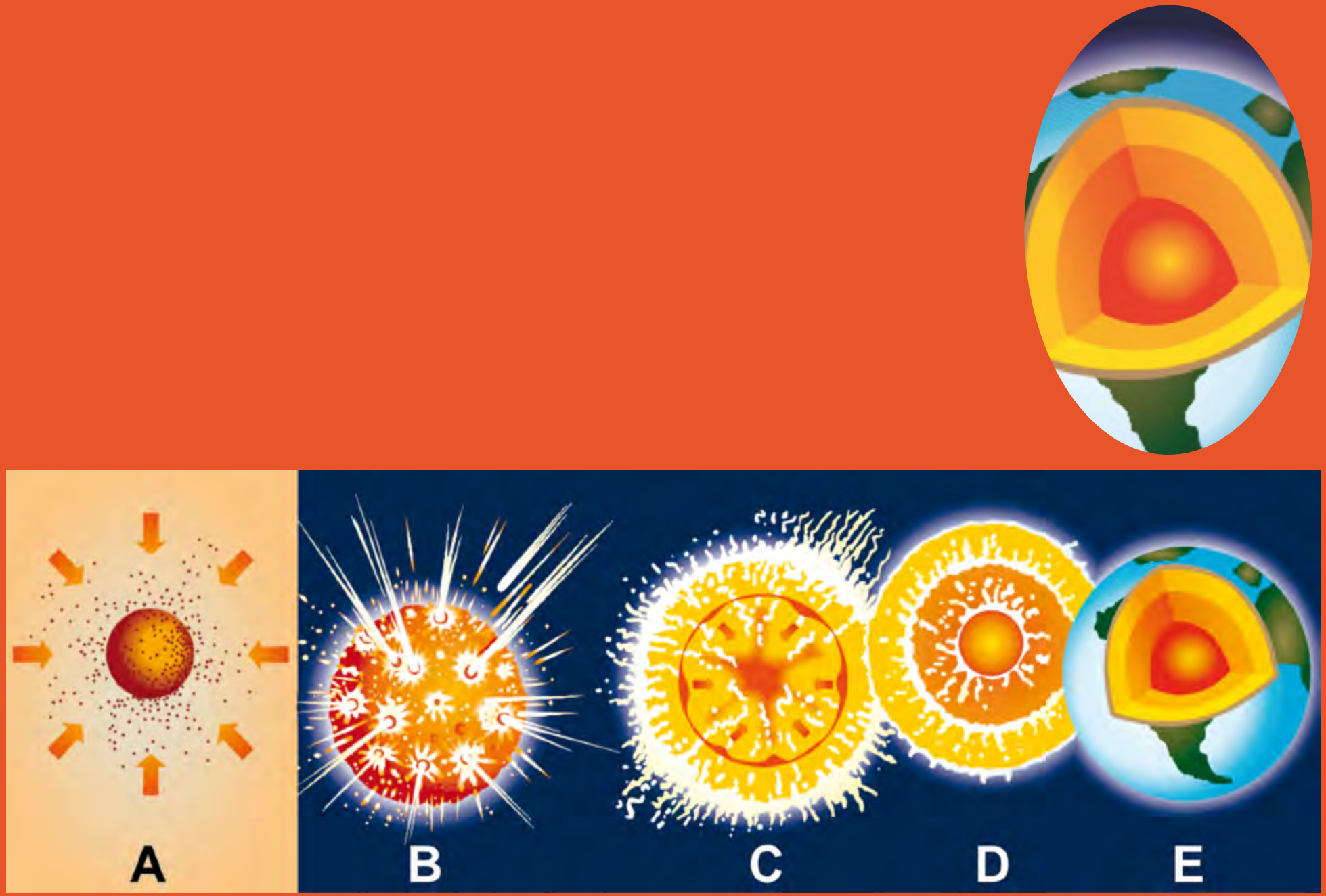


Figura 7. Diferenciação dos materiais no interior do Planeta Terra, gerando camadas concêntricas que possuem composição e comportamentos físico-químicos diferentes. (A) Atração gravitacional; (B) Acresção; (C) Protoplaneta; (D) Diferenciação e (E) Planeta Terra com camadas concêntricas. Fonte: http://www.portoeditora.pt/espacoprofessor/?url=/espacoprofessor.

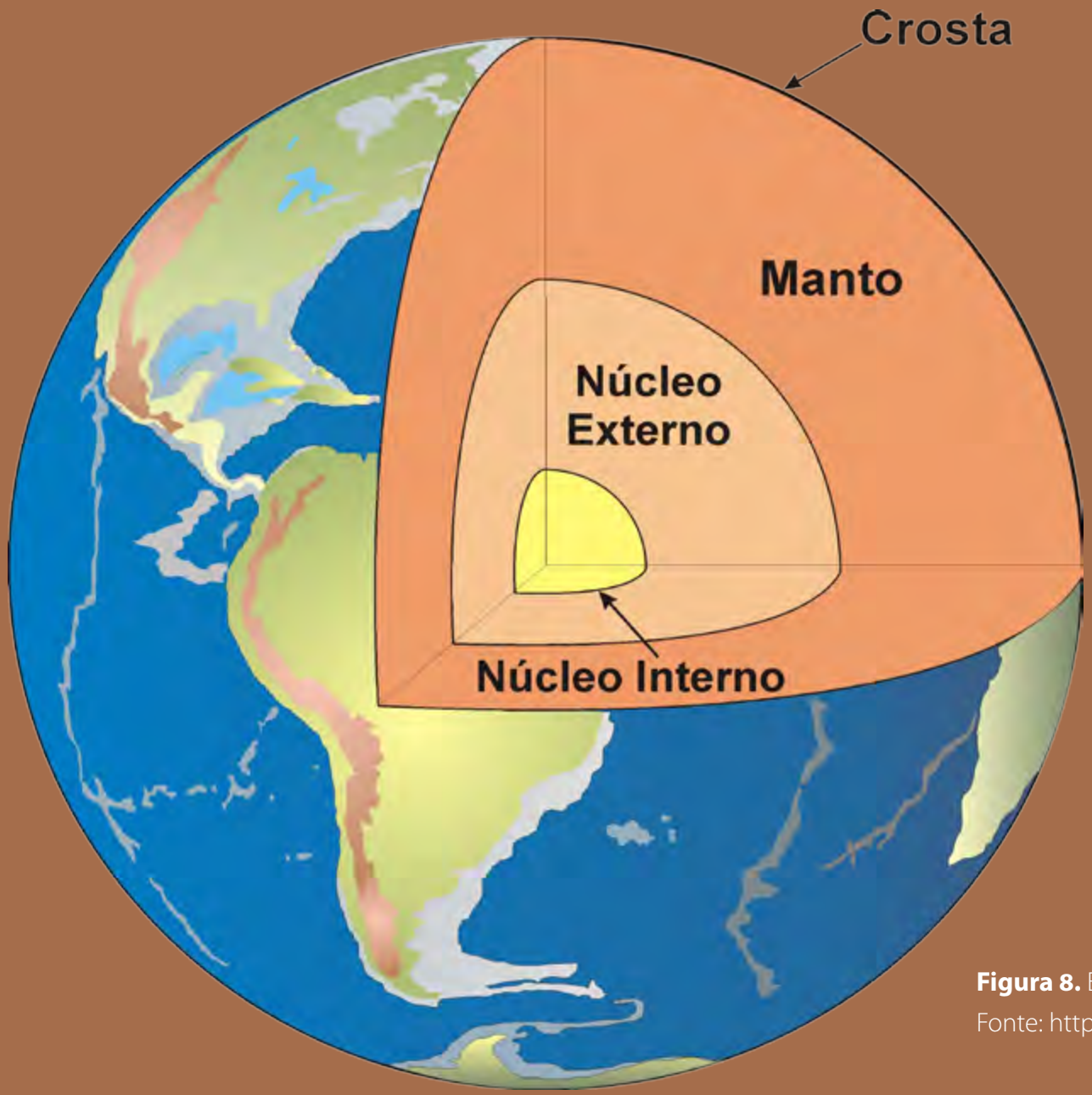


Figura 8. Estrutura interna do planeta Terra.
Fonte: http://www.tasagraphicarts.com/index.html.

Na Terra, o núcleo ferroso representa cerca de 30% da massa do planeta, já na Lua o núcleo ferroso é mínimo, representando apenas 8% da massa. Por outro lado, a maior parte da Lua é composta, fundamentalmente, por rochas formadas por silicatos, equivalente à composição do manto terrestre. A Lua, portanto, não foi formada por acreção, tal como a Terra, pois, se assim fosse, a proporção de ferro seria similar nos dois corpos. Com a grande colisão praticamente todo material rochoso terrestre derreteu. Uma das hipóteses é a de que antes do impacto, que deu origem à Lua, a Terra era um corpo sem núcleo (corpo indiferenciado), tendo o núcleo surgido apenas após o impacto (veja a **figura 9**). Se você achou a história acima fascinante, então acesse o site do **Observatório Nacional** e baixe a apostila do curso sobre Magnetismo da Terra, da Profª. Katia Pinheiro, e entenda melhor como a Terra foi formada e está estruturada.

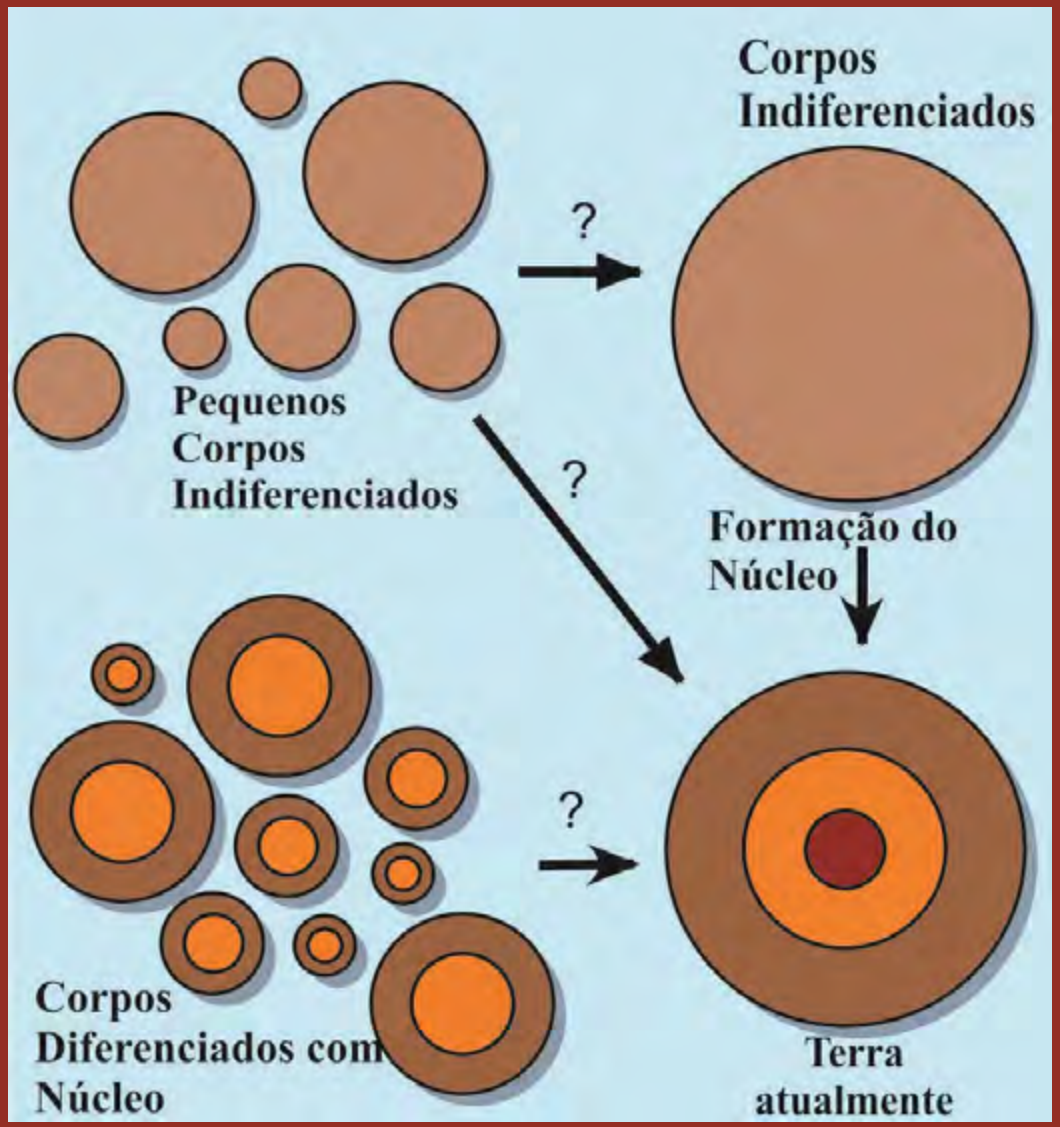


Figura 9. Diferentes hipóteses para o processo de diferenciação do planeta Terra em camadas concêntricas. Fonte: http://www.portaldoastronomo.org/noticia.php?id=180.

A expansão do assoalho oceânico

A história da descoberta da **expansão do assoalho oceânico** se confunde com a própria história da teoria da Tectônica de Placas. Abaixo, o leitor tem um texto à disposição com uma resenha histórica da descoberta deste fenômeno, como aparece no livro de Llorente e colaboradores, publicado em espanhol, em 1996, cujos originais podem ser vistos **aqui**.

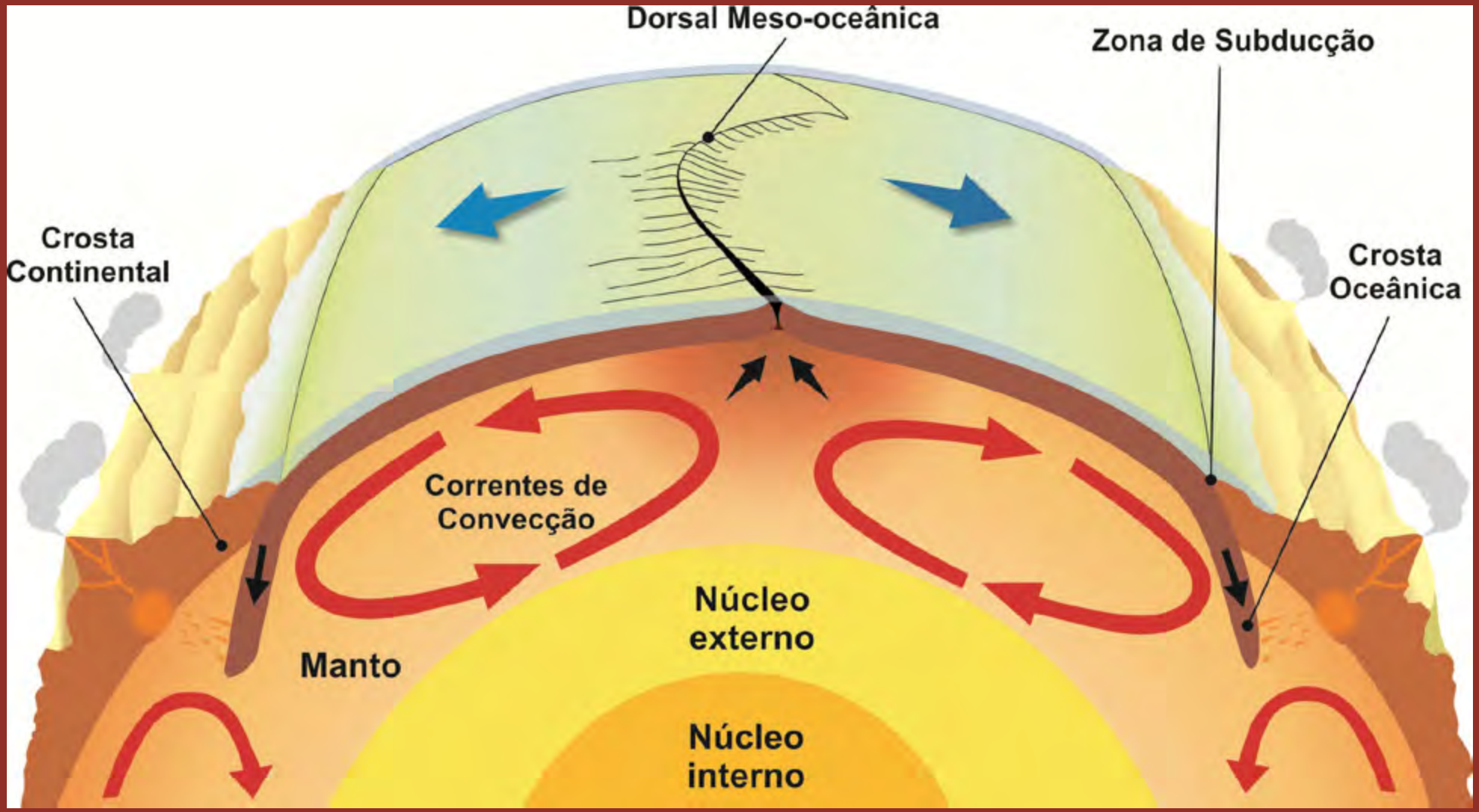
"Harry Hess, geólogo da Universidade de Princeton e comandante de um navio de transporte de tropas no Pacífico, durante a Segunda Guerra Mundial, foi um dos primeiros cientistas a reconhecer, fundamentado na análise de mapas feitos com sonares e com o fathometer (equipamento que funciona com os mesmos princípios do sonar), que o fundo do oceano não era uma região tranquila e imóvel. No final da década de 1940-1950, um amigo de Harry Hess, Maurice Ewing, da Universidade de Colúmbia, com outros cientistas do Observatório Geológico Lamont, de Palisades, Nova Iorque, fez uma expedição para mapear a Dorsal Meso-atlântica ou Vale Central do Atlântico Médio, como é também conhecida. A Dorsal Meso-atlântica é uma extensa cadeia de montanhas situada exatamente no centro do Oceano Atlântico e em sua crista apresenta uma série de vulcões ativos e um estreito vale escarpado em seu centro, ao longo do qual são frequentemente registrados sismos submarinos."

Clique aqui e veja como o fundo oceânico é mapeado atráves de sonares em embarcações.

"No início da década de 1960, em Princeton, H. Hess, meditando sobre o significado desses novos descobrimentos no campo da oceanografia geológica, propôs em um artigo científico um novo conceito da Terra, descartando as antigas ideias da imobilidade dos continentes e dos oceanos imutáveis. Esse trabalho, intitulado History of Ocean Basins (História das bacias oceânicas), circulou amplamente entre os especialistas antes de ser publicado; assim, ao surgir, em 1962, a teoria de Hess já era bastante conhecida."

A Terra, tal como entendida por Hess, está representada nas **figuras 10** e **11**. Grandes fraturas surgem na crosta oceânica, a partir de um processo chamado de rifteamento ou desmantelamento. Através delas, por meio de **correntes de convecção**, sugeridas por Holmes, em 1931, há extrusão de magma fluido que, gradualmente, se solidifica nas margens das fraturas, gerando cristas montanhosas. É precisamente devido à extrusão constante do magma e sua solidificação nas margens de uma fenda que surge assoalho oceânico novo. Mas o magma em fusão continua derramando-se continuamente, empurrando os fragmentos da antiga placa **(Figura 11)**. A frente da placa, por sua vez, se inclina novamente em direção ao manto, nas fossas oceânicas, sendo destruída pelo magma em fusão e realimentando as correntes de convecção. Tal processo será mais bem explicado mais adiante.

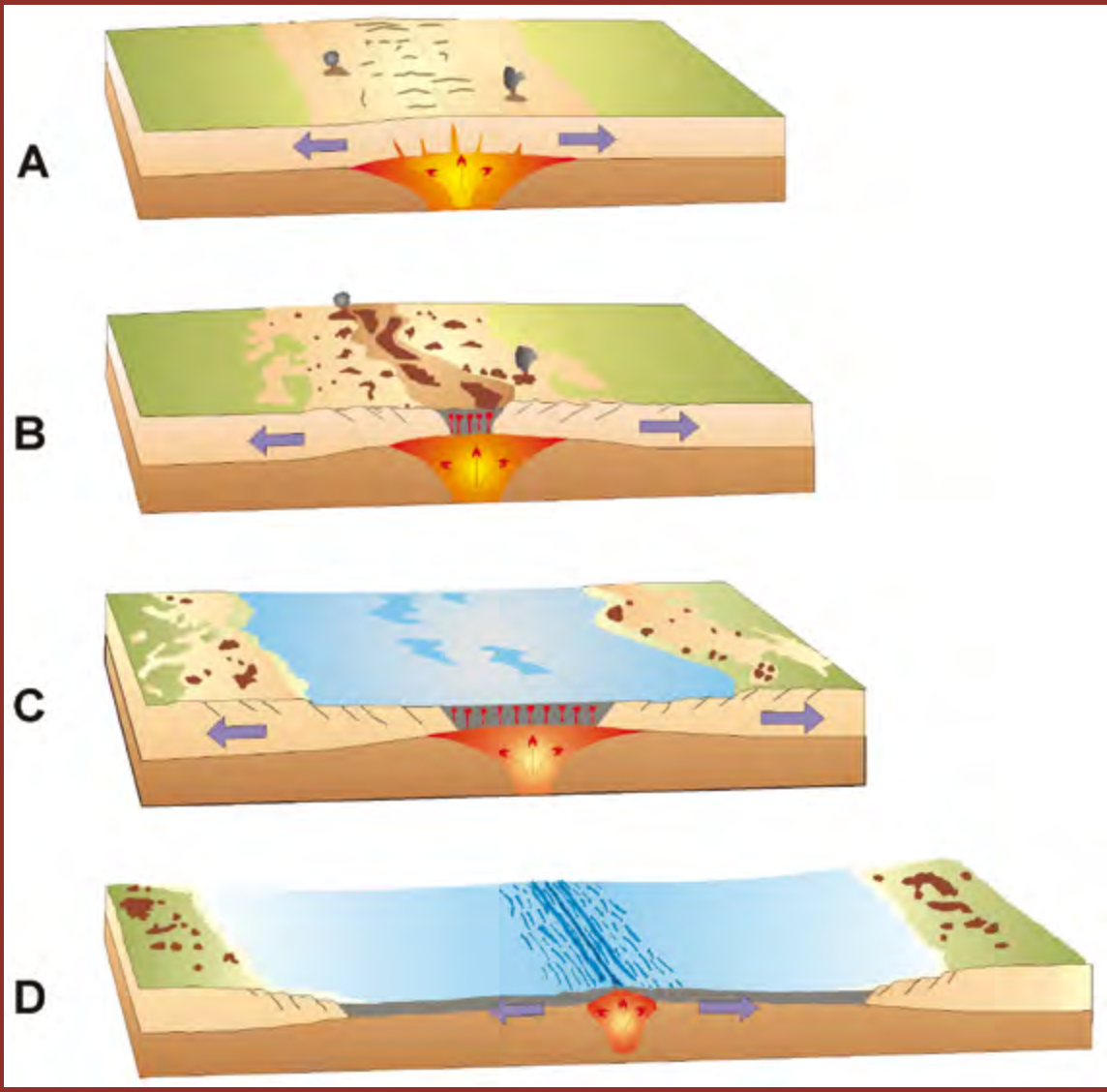
Figura 10. Perfil do globo terrestre mostrando processos e feições geológicas relacionados à Tectônica de Placas. Modificado de: http://goo.gl/RwyFCW.



Para visualização da movimentação das placas litosféricas, bem como do mecanismo motor deste processo, **clique aqui**.

Conforme narram Llorente e colaboradores (1996), "em 1961, Robert Dietz havia publicado uma hipótese semelhante à de Hess, batizada de expansão do fundo marinho (seafloor spreading). Apesar de tê-la publicado um ano antes que Hess, este era já conhecido pela comunidade geológica como o autor da hipótese. O próprio Dietz admitiu de maneira muito elegante que Hess tinha prioridade. O importante é que ambos os cientistas chegaram a formular essa ideia brilhante de maneira independente. A hipótese de expansão do fundo oceânico formulada por Hess, em 1960-1962, continha, em embrião, a ideia central do que se chamaria, cinco anos mais tarde, de Tectônica de Placas; esse conceito foi proposto independentemente, e quase de modo simultâneo, por McKenzie & Parker (1967), Le Pichon (1968), Morgan (1968) e Isacks et al. (1968)."

Figura 11. Fases de Desmantelamento (Rifteamento) e Expansão do Assoalho Oceânico. (A) Fase de Pré-Desmantelamento; (B) Fase de Desmantelamento ou Rifteamento; (C) Fase de Dispersão (Proto-Oceânica); (D) Fase de Dispersão (Oceânica). Modificado de Teixeira *et al.* (2009).



Além da descoberta das cordilheiras meso-oceânicas e da expansão do assoalho oceânico, também o conhecimento de como se formam as ilhas vulcânicas, no meio dos oceanos, foi extremamente importante para explicar a teoria da Deriva Continental de Alfred Wegener e suportar a nova teoria da Tectônica de Placas, na década de 1960.

Arcos insulares e *hotspots* são, geralmente, confundidos como sendo a mesma estrutura geológica, pois ambos formam cadeias (cordões) de ilhas vulcânicas que seguem determinado alinhamento nos oceanos. Entretanto, as cadeias de ilhas vulcânicas são formadas por processos distintos dos pontos quentes.

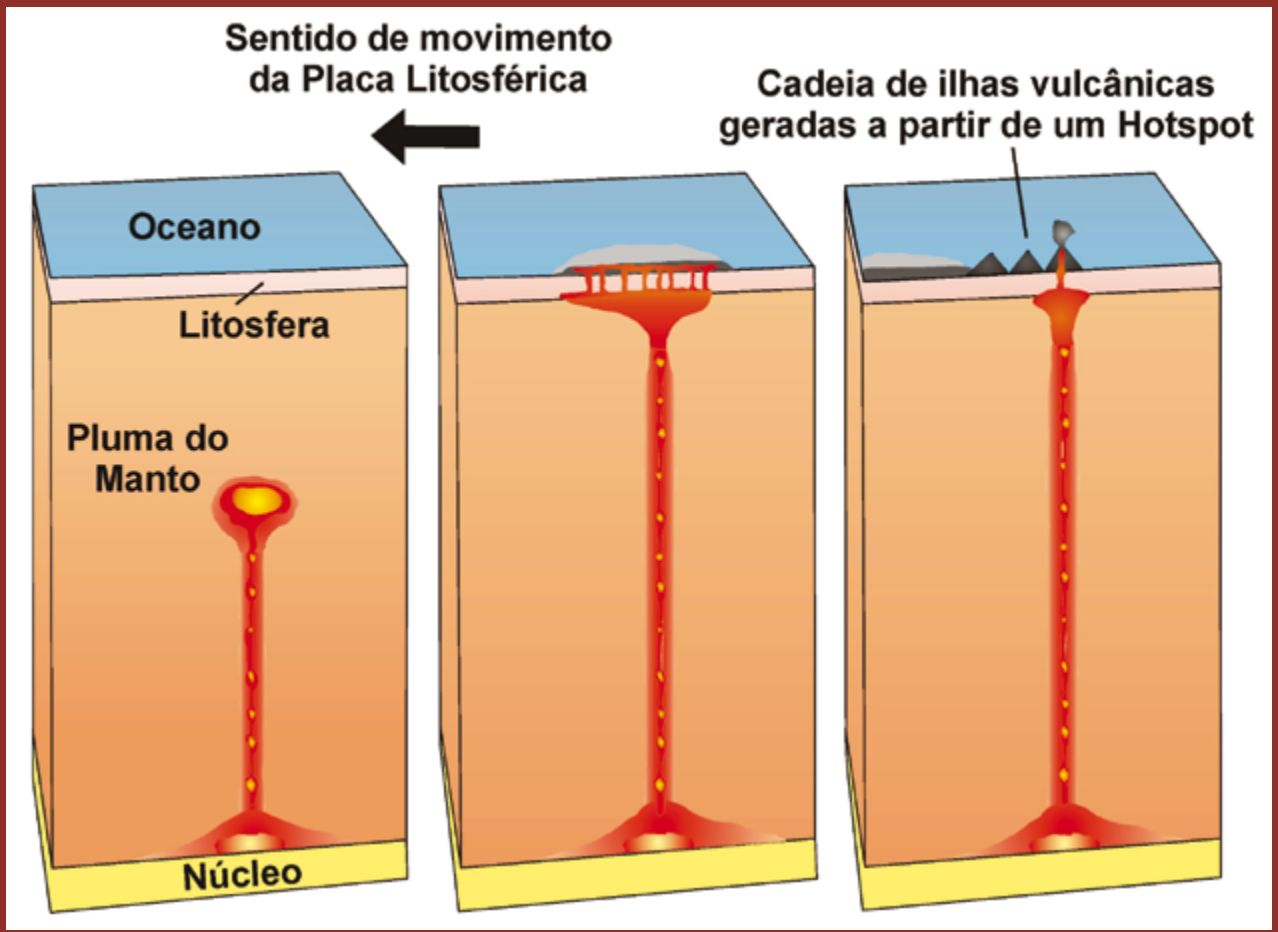
Arcos insulares ou arcos de ilhas vulcânicas são cadeias de ilhas vulcânicas oceânicas, onde ocorrem intensas atividades sísmicas e processos de orogenia, ou seja, de formação de montanhas. **Clique aqui** e veja como os arcos de ilhas (*volcanic-island-arcs*) são formados. Eles podem ser encontrados em todos os oceanos; os mais conhecidos localizam-se no Pacífico Ocidental, tendo como principais exemplos o arquipélago do Japão, as Aleutas, Kurila, Marianas, Filipinas e Indonésia.

Arcos insulares são formados em limites convergentes de placas **(Figura 16)**, em que a crosta oceânica se choca com outra crosta oceânica. Neste tipo de limite, a crosta mais fria e rígida mergulha sobre aquela menos densa, formando uma estrutura conhecida como **Zona de Subducção (Figura 10)**. Intensos terremotos ocorrem no processo de subducção, em que rochas da crosta subductada são destruídas e recicladas, retornando ao manto. Quando a placa mergulhante atinge cerca de 45 quilômetros de profundidade, ela sofre intenso aquecimento, capaz de transformar a rocha em magma novamente. Este magma retorna à superfície pelo processo de vulcanismo, sobre a crosta oceânica que não sofreu subdução. O vulcanismo procedente deste processo forma as cadeias de ilhas vulcânicas ao redor de todo o limite convergente de placas no meio dos oceanos. As cadeias de ilhas são chamadas arcos insulares, pois possuem alinhamento paralelo ao limite convergente de placas e apresentam convexidade em relação à placa subductora. A maioria dos arcos insulares consiste de duas cadeias paralelas de ilhas oceânicas. A fila interior de um arco duplo é composta por uma cadeia de vulcões ativos, enquanto a fila exterior é composta de ilhas não vulcânicas. No caso de arcos individuais, a maior parte das ilhas apresenta atividade vulcânica.

***Hotspots* ou pontos quentes** também geram cadeias de ilhas vulcânicas nos oceanos, porém o processo não ocorre, necessariamente, próximo aos limites convergentes de placas. Diferentemente dos arcos de ilhas, neste caso, o vulcanismo é gerado pela presença de um ponto quente, ou seja, uma pluma mantélica que se instala e permanece fixa em determinado local abaixo da crosta **(Figura 12)**. Esse ponto quente

produz intenso calor que coloca as rochas da crosta oceânica em fusão, tendo como resultado um vulcão ativo em sua superfície. Conforme as placas litosféricas se movimentam, são produzidos outros vulcões que se alinham na direção do movimento da placa. Desta forma, também são geradas cadeias de ilhas vulcânicas no meio dos oceanos. Os mais famosos exemplos de ilhas vulcânicas conhecidas por este processo são as do Arquipélago do Havaí, Ilhas Galápagos e Ilhas Canárias.

Figura 12. Esquema ilustrando a instalação de um *Hotspot* ou Ponto Quente, a partir de plumas do manto e a formação de cadeias de ilhas vulcâncias alinhadas no sentido da movimentação da placa listosférica. Modificado de: http://www.tasagraphicarts.com/index:html.



A TECTÔNICA DE PLACAS OU NOVA TECTÔNICA GLOBAL

A teoria da tectônica de placas ou nova tectônica global compreende um grupo de conceitos sobre as complexidades da crosta terrestre através das interações de placas litosféricas mais ou menos rígidas. A teoria está, conforme visto acima, fundamentada em certos fatos plausíveis das teorias da deriva continental e na expansão do fundo oceânico.

No modelo de Tectônica de Placas, as placas litosféricas constituem tanto a crosta continental quanto a oceânica e estão limitadas pelas dorsais meso-oceânicas, pelas falhas transformantes, pelas fossas oceânicas e por enormes fraturas de ordem continental. As placas litosféricas são rígidas e compreendem a crosta e a parte superior do manto; movem-se, como já vimos, sobre a astenosfera, de alta viscosidade e baixa rigidez estrutural. A astenosfera, por sua vez, está sobre a mesosfera **(Figura 13)**, que inclui a maior parte do manto, sendo possivelmente inerte do ponto de vista tectônico.

Um esquema geral do mecanismo de movimento das placas seria, grosso modo, o seguinte **(Figura 10)**: as correntes de convecção, presentes no manto, transportam material litosférico em fusão em direção às cristas das dorsais meso-oceânicas, causando, como consequência do acomodamento desse material, a expansão do assoalho oceânico, afastando-o das cristas das dorsais nos dois sentidos. Em muitos casos, a placa oceânica é empurrada contra a placa adjacente, continental. Junto à linha de contato da margem continental, certas forças induzem a placa oceânica a afundar sob a placa continental. Agora que você já tem conhecimento de como o fenômeno de Tectônica de Placas opera no planeta Terra, **acesse aqui** o mapa com as principais feições geotectônicas de nosso planeta e revise seus conhecimentos. Inicie clicando em **placas** (*plates*) e, em seguida, em **zonas de subducção** (*subduction zones*) e **dorsais meso-oceânicas** (*mid ocean ridges*). Agora verifique a ocorrência de **vulcanismo** e **sismos** clicando, respectivamente, em **vulcões** (*vulcanoes*) e **terremotos** (*earthquakes*). O que você conclui?

Natureza das Placas Tectônicas

Já vimos acima que a estrutura interna do planeta Terra, segundo o modelo clássico, obtida a partir das velocidades de propagação de ondas sísmicas, é constituída por camadas concêntricas de natureza distintas. O raio do planeta Terra é da ordem de 6.400 quilômetros, dos quais exploramos diretamente cerca de 13 km. Assim, partindo do núcleo para a crosta, as seguintes camadas são notadas na figura ao lado:

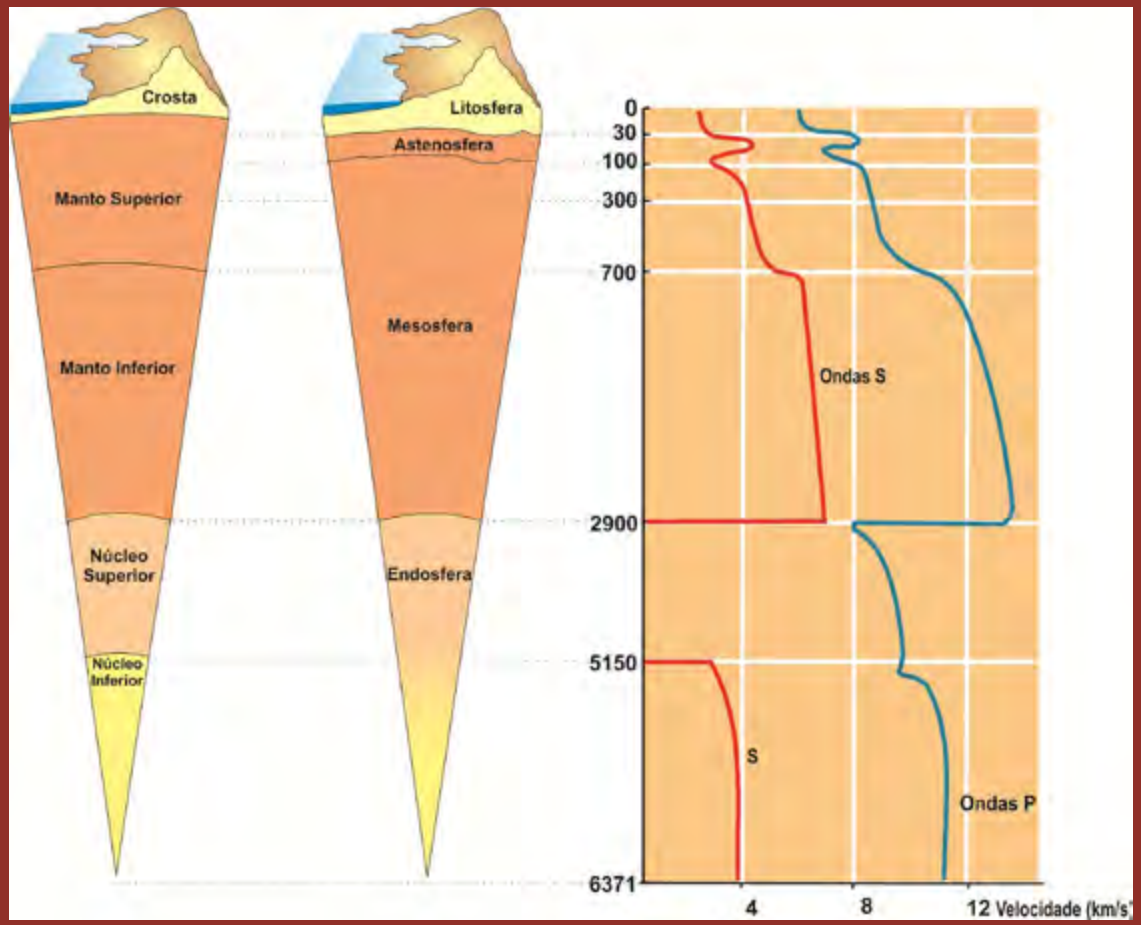


Figura 13. Estrutura interna da Terra e o comportamento das ondas sísmicas P (primárias) e S (secundárias). Note a diferença entre as camadas quando considerada a composição química (à esquerda) e o comportamento físico dos materiais (à direita). Fonte: http://goo.gl/g2mLgn.

Ainda em dúvida? Então **clique aqui**!

No contexto da Tectônica de Placas é importante enfocar algumas características da **Litosfera**, isto é, a porção definida pela crosta (continental e oceânica) e a porção mais superior (sólida) do manto, logo acima da Astenosfera. A crosta continental, de natureza tipicamente granítica (rica em sílica), apresenta espessura variável. Nas áreas cratônicas, regiões mais antigas e sismicamente estáveis da crosta, a espessura pode atingir cerca de 30 a 40 quilômetros, mas nas áreas formadas pelas cadeias de montanhas a espessura varia entre 60 a 70 quilômetros. **Veja aqui** um mapa do globo com as espessuras observadas na crosta terrestre. O que acontece com as espessuras junto às cadeias de montanhas? E junto ao assoalho oceânico?

Na sua porção superior, a crosta continental engloba rochas ígneas, principalmente graníticas, rochas sedimentares e metamórficas de baixo a médio grau. Já na porção inferior, inclui rochas metamórficas de alto grau. A crosta oceânica é mais delgada e apresenta espessura média da ordem de 7,5 quilômetros (Pacca & MC Reath, 2000; Press *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2009; Wicander & Monroe, 2009), sendo também mais homogênea. Caracteristicamente, é composta por rochas ígneas basálticas, recobertas por sedimentos marinhos de natureza variada. A crosta oceânica é tipicamente mais jovem que a crosta continental. Por quê? **Clique aqui** e veja a idade das rochas do assoalho oceânico. O que você observa? Onde as rochas são mais jovens? Qual a relação entre as idades das rochas e as dorsais meso-oceânicas. Por quê?

A Litosfera (crosta + parte do manto superior) tem espessura média da ordem 100 quilômetros, sendo compartimentada por estruturas geológicas do tipo falhas e fraturas profundas, que delimitam as Placas Tectônicas. Por sua vez, o limite inferior da Litosfera é marcado, como já visto, pela zona de baixa velocidade ou Astenosfera, cuja natureza plástica permite o deslocamento horizontal das placas tectônicas (Tassinari, 2000; Press *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2009; Wicander & Monroe, 2009).

As placas tectônicas podem ser formadas por crosta continental, crosta oceânica ou a combinação de ambas. As placas Sul-americana, Africana e Norte-americana, constituem exemplos importantes de placas com dois tipos de crosta. Por sua vez, existem placas puramente oceânicas, como é o caso, por exemplo, da Placa de Nazca. Em alguns casos, porém, as placas oceânicas podem conter pequenos fragmentos de crosta continental, fenômeno bem exemplificado pela Placa do Pacífico, que inclui terrenos da Califórnia **(Figura 14)**.

Figura 14. Distribuição geográfica das placas tectônicas. Os números representam as velocidades em cm/ano entre as placas e as setas representam o sentido do movimento. Modificado de: http://www.visions05.washington.edu/visuals/document.jsp?id=55.

Para saber mais veja o item **Mosaico de Placas e Taxas de Movimentação.**

Conforme será visto mais adiante, entretanto, o modelo mencionado nos tópicos acima constitui apenas uma simplificação do **mecanismo geral de tectônica global**. De fato, nas três últimas décadas, os geocientistas acumularam apreciável quantidade de dados geológicos e geofísicos, permitindo uma visão mais apurada do mecanismo de locomoção das placas e como esses estão relacionados com a atividade sísmica, produzindo, por exemplo, terremotos. Sabe-se hoje que a maior parte do movimento das placas litosféricas ocorre ao longo de uma estreita zona entre placas, ou seja, nos limites de placas. É exatamente nesses locais que as forças resultantes da tectônica de placas são mais evidentes (Kious & Tilling, 2003; Press *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2009; Wicander & Monroe, 2009).

Três são os principais tipos de **limites entre as placas litosféricas**, assim designados: Limites Divergentes, Limites Convergentes (e suas variantes), Limites Conservativos ou Transformantes (Tassinari, 2000; Kious & Tilling, 2003; PRESS *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2009; Wicander & Monroe, 2009).

Limite Divergente (divergente boundary):

Ao longo dos **limites divergentes**, nova crosta é gerada pelo magma ascendente e as placas afastam-se entre si devido a forças extensionais (estiramento), promovendo a expansão do assoalho oceânico. Os limites divergentes **(Figura 15)** ocorrem ao longo dos centros de dispersão situados junto às dorsais meso-oceânicas. O melhor exemplo conhecido é o da dorsal mesoatlântica, a qual se estende do oceano Ártico, até além dos limites ao sul da África, constituindo parte do sistema global de dorsais meso-oceânicas. Este tipo de limite também é encontrado em regiões onde os continentes estão se fragmentando, como ocorre atualmente, no mar Vermelho e nos vales em *rift*, situados no leste do continente africano. Devido a um intenso fluxo térmico, os limites divergentes apresentam intensa atividade vulcânica e presença de fontes ou **plumas hidrotermais**. Nessas regiões, terremotos também podem ser observados, porém tendem a ocorrer com menor intensidade e em regiões mais superficiais da crosta.

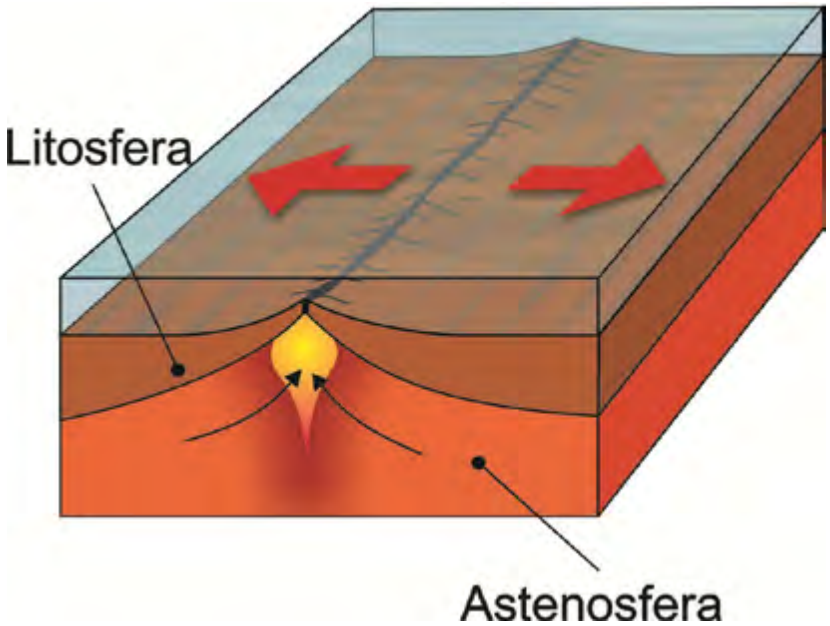


Figura 15. Limite Divergente de Placas. Modificado de: http://goo.gl/SPRo9A.

Limite Convergente (convergent boundary):

Se, de um lado, existem os limites divergentes, onde nova crosta é formada, em que locais há destruição (reciclagem) da crosta? Isso ocorre ao longo dos chamados **limites convergentes (Figura 16)**, onde há a colisão entre placas tectônicas, com ou sem subducção (limite colisional). Conforme já visto, quando placas de densidades distintas colidem, a mais densa mergulha sob a outra, num processo chamado de subducção. O processo gera intensa atividade magmática pela fusão parcial da crosta que mergulhou (Tassinari, 2000; Kious & Tilling, 2003; Press *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2009; Wicander & Monroe, 2009). Deve ser observado, entretanto, que os fenômenos que caracterizam os limites convergentes dependerão, em grande parte, da natureza das placas litosféricas envolvidas. Por exemplo, pode haver convergência entre grandes placas continentais e oceânicas, entre duas imensas placas oceânicas ou entre duas enormes placas continentais.

Um exemplo notável do tipo de convergência entre placas oceânicas e continentais é oferecido pela crosta oceânica da placa de Nazca e a crosta continental da América do Sul **(Figura 14)**. Além dos limites da costa oriental da América do Sul, ao longo da fossa oceânica do Peru e Chile, a placa de Nazca sofre intensa subducção. A atividade tectônica resultante deu origem à cadeia Andina, através do processo de orogênese (processo de formação de cordilheiras). Assim, como no caso da convergência entre placas litosféricas distintas, quando duas placas de mesma natureza (oceânicas, por exemplo) convergem, uma sofre, tipicamente, subducção. Talvez o melhor exemplo desse processo seja oferecido pelos fenômenos que ocorrem ao longo da fossa das Marianas, paralelamente disposta às Ilhas Marianas. Nesse local, a placa do Pacífico move-se rapidamente contra a lenta placa Filipina **(Figura 14)**. Intenso vulcanismo e a formação de arcos de ilhas vulcânicas são feições notáveis da interação entre placas oceânicas. Finalmente, quando duas placas de natureza continental colidem não há subducção, pois as rochas constituintes são relativamente pouco densas, resistindo aos movimentos descendentes ou de subducção. A cordilheira do Himalaias oferece, pois, o mais espetacular exemplo desse tipo de limite entre placas. Há cerca de 50 milhões de anos, a colisão entre a Índia e a Ásia e a atividade sísmica associada resultaram em intensa deformação da placa Eurasiana. Após a colisão, a lenta, porém contínua, convergência entre as duas placas (Indiana e Eurasiática) **(Figura 14)** causou o soerguimento dos Himalaias e do Platô Tibetano. Notavelmente, esse processo ocorreu principalmente nos últimos 10 milhões de anos (Kious & Tilling, 2003; Press *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2009; Wicander & Monroe, 2009). Conforme é de amplo conhecimento, com cerca de 8.854 metros de altura, os Himalaias constituem a mais alta cadeia de montanhas continental. **Veja aqui** uma animação sobre como a cordilheira dos Himalaias foi formada.

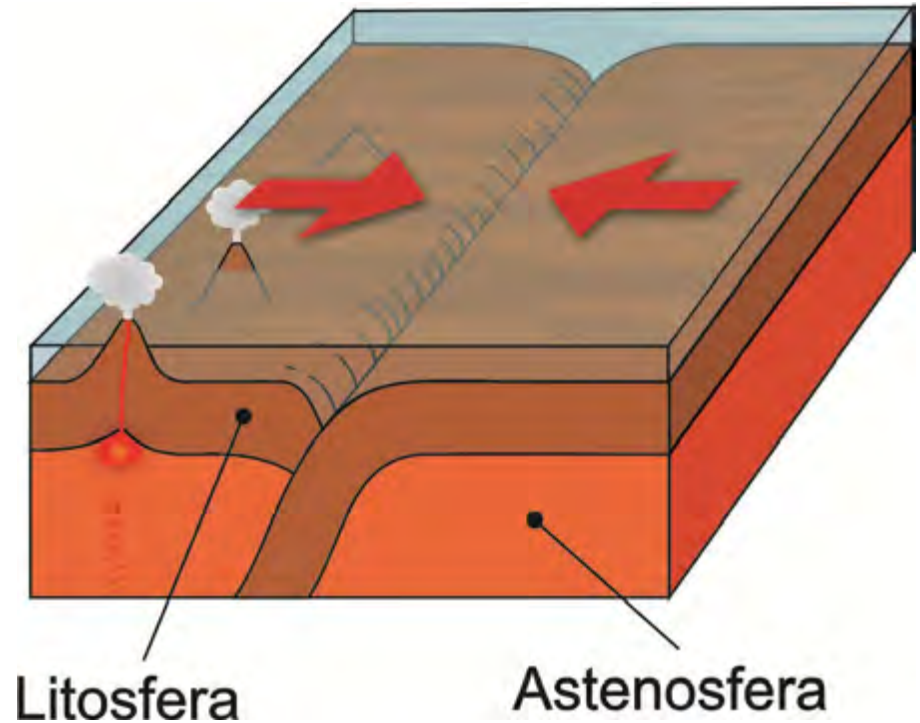


Figura 16. Limite de Placas do tipo Convergente. Modificado de: http://goo.gl/7vXwjq.

Limite Transformante (transform boundary):

A despeito dos fenômenos descritos para os limites de placas acima, a mais intensa atividade geológica na Terra é observada ao longo dos chamados limites conservativos ou transformantes **(Figura 17)**. Sismos, vulcanismo e orogênese são fenômenos geológicos associados aos limites conservativos.

Foi visto anteriormente que o conceito de falha transformante, cujo rejeito é horizontal, foi proposto por J. T. Wilson. Ao longo dos limites conservativos as placas deslizam lateralmente uma em relação à outra. Nesse caso, ao longo do limite entre placas não há perda ou geração de nova crosta. Com aproximadamente 1.300 quilômetros, a falha de San Andreas, na Califórnia, constitui um exemplo notável do limite conservativo entre placas. Nos últimos 10 milhões de anos, ao longo da falha de San Andreas, a placa do Pacífico tem deslizado lateralmente em relação à placa da América do Norte **(Figura 14)**, a uma taxa de aproximadamente 5 centímetros por ano, causando intensa fricção. Falhas transformantes também são comumente observadas ligando segmentos das dorsais meso-oceânicas.

Além dos limites anteriormente mencionados, existem zonas limítrofes entre placas que exibem padrões bastante complexos de atividade geológica. Em algumas áreas do globo terrestre, como, por exemplo, na região do Mediterrâneo e dos Alpes, entre as placas Eurasiana e Africana, várias microplacas já foram reconhecidas. A interação entre duas grandes placas litosféricas e microplacas revela a complexidade dos fenômenos ocorrentes entre placas, com estruturas e padrões de sismos ainda complicados de serem entendidos em sua totalidade.

Para descobrir, de forma ilustrativa, em que locais do planeta ocorrem cada um dos tipos de limites de placas, **clique aqui**.

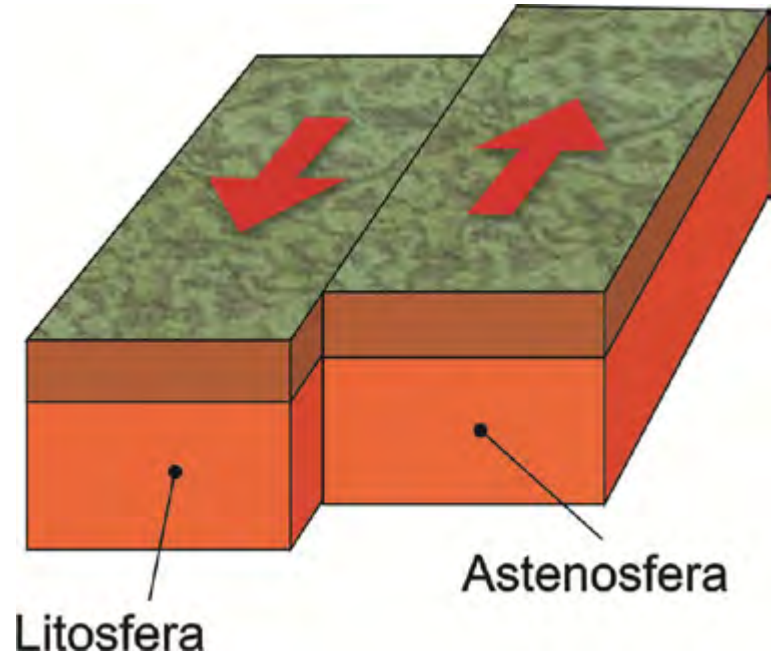


Figura 17. Limite de Placas Transformante. Modificado de: http://goo.gl/LoBHoy.

As placas tectônicas podem conter crosta continental e/ou crosta oceânica. As regiões onde esses diferentes tipos de crosta se encontram são denominadas margens continentais. As margens serão chamadas passivas ou ativas dependendo da forma como se relacionam com os limites de placas.

A **Margem Continental Passiva** se desenvolve a partir da formação de um oceano e, portanto, está condicionada ao surgimento de uma dorsal meso-oceânica. À medida que crosta oceânica é criada, ao longo da dorsal, as margens passivas são impelidas para o interior das placas tectônicas, gerando uma firme conexão entre a crosta oceânica e a crosta continental **(Figura 11)**. Este tipo de margem é caracterizado pela presença de uma extensa plataforma continental, assim como um talude e um sopé continental, estruturas que são essencialmente sedimentares. A plataforma continental é uma região de inclinação suave que segue desde a linha de costa até o início do talude, atingindo profundidades relativamente rasas (média de 135 metros). Por sua vez, no talude, o relevo adquire inclinação bastante elevada, estando sujeito a correntes de turbidez, as quais geram fendas e cânions submarinos no relevo. Quando o talude atinge o sopé continental, a inclinação diminui novamente, até que essa estrutura encontre o assoalho oceânico, determinando o limite externo da margem continental. As margens continentais passivas, por se encontrarem no interior das placas litosféricas, não ocorrem associadas a eventos tectônicos como terremotos, vulcanismo e orogênese. Um bom exemplo desse tipo de margem é a costa leste da América do Sul, situada no interior da Placa Sul-americana **(Figura 14)**.

Quando a margem continental coincide com o limite de placas convergente, é denominada **Margem Continental Ativa**. Neste tipo de margem aparecerão as estruturas típicas do limite de placas convergente, como zona de subducção e presença de fossa oceânica. As plataformas continentais, quando presentes, serão muito estreitas, alguns autores nem mesmo consideram a presença de plataforma continental neste tipo de margem. Na margem continental ativa há intensa atividade vulcânica e sísmica, assim como a formação de cordilheiras, o que pode ser observado na margem oeste da América do Sul, que coincide com o limite convergente entre as placas de Nazca e Sul-americana **(Figura 14)**.

Mosaico de Placas e Taxas de Movimentação

Parece existir consenso entre os geocientistas quanto à existência das seguintes **grandes placas**: Africana, Sul-americana, Norte-americana, Eurasiática, Australiana-Indiana, Pacífica e Antártica. Essas placas litosféricas possuem dimensões variadas. Já as placas de Cocos, Nazca, Caribe e Arábica só possuem tamanho subcontinental.

Medidas precisas efetuadas a partir de levantamentos geodésicos, apoiados em instrumentos de raios laser, satélites artificiais e GPS, além da geocronologia de parte dos terrenos constituintes das placas, dentre outros, permitem estabelecer hoje as taxas atuais e antigas, de movimentação dessas. Na **figura 14** você pode ver a velocidade de movimentação no atual mosaico de placas. Numa média, pode-se afirmar que as placas se movem a velocidades de 2 a 3 centímetros por ano. Ao longo da dorsal meso-oceânica do Atlântico, a partir da qual ocorre o movimento das placas Sul-americana e Africana, as taxas de dispersão são da ordem de 2,5 centímetros ao ano. Em outras palavras, em 1 milhão de anos teriam se afastado cerca de 25 quilômetros do centro de dispersão. A placa do Pacífico, por outro lado, move-se a cerca de 5 cm por ano. As placas litosféricas encontram-se distribuídas em dois sistemas, um que se move em sentido norte e outro em sentido oeste. **Clique aqui** e veja a história de movimentação das placas e o que irá ocorrer com elas no futuro.

Agora que você conhece bem os elementos da Tectônica de Placas assista **aqui** a uma breve aula sobre o tema com o Prof. Dr. Wilson Teixeira do IGc/USP. Revise e consolide seus conhecimentos sobre geotectônica e adquira outros. Boa empreitada! Para finalizar, aprenda cantando com o *hit* da **Tectônica de Placas**.

CICLO DE WILSON, CICLO DOS SUPERCONTINENTES E A "PANGEA ULTIMA"

Vários são os ciclos geológicos operantes na Terra, porém, no contexto da Tectônica Global, dois são os mais importantes, o **Ciclo de Wilson** e o **Ciclo dos Supercontinentes** (Tassinari, 2000; Fairchild, 2000; Press *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2009; Wicander& Monder, 2009). Embora, à primeira vista, ambos possam ser confundidos, constituem eles conceitos, em parte, distintos.

O **Ciclo de Wilson** trata da formação e do desaparecimento das grandes bacias oceânicas. O ciclo tem início com a ruptura de uma dada massa continental, em função do aumento pontual do fluxo térmico no manto, causando o soerguimento e abaulamento da seção da crosta continental. A partir da subsequente instalação de correntes de convecção no manto subjacente, movimentos distensivos conduzem ao desmantelamento (= rifteamento) e a ruptura da crosta (**Figura 11**). **Veja aqui**, em vulcanismo de *rift* continental (*continental rift volcanism*), como o processo de desmantelamento funciona. A continuidade do processo conduzirá ao aparecimento de uma crosta oceânica incipiente e à formação de um novo oceano. Esse processo pode ser observado hoje na junção tríplice (três riftes), presente no Oriente Médio (Golfo de Aden, Mar Vermelho) e no interior do continente africano. Após esses eventos, o ciclo se inverte, tendo início com a subducção da crosta oceânica em uma ou ambas as margens continentais (Tassinari, 2000). Desse modo, essas margens passam a ser ativas, havendo a possibilidade de fechamento parcial ou completo das bacias oceânicas, seguido de fenômenos orogenéticos.

Embora evidências geológicas suportem, amplamente, a formação e o desaparecimento das bacias oceânicas, durante a história geológica da Terra, conforme previsto pelo Ciclo de Wilson, o chamado Ciclo dos Supercontinentes, este não está restrito apenas a esse processo (gênese e desaparecimento das grandes bacias oceânicas). Esse ciclo envolve processos mais complexos e demorados, tais como a agregação e o desmantelamento das massas continentais (Fairchild, 2000) e fenômenos ambientais associados (Press *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2009; Wicander Monroe, 2009). Simplificadamente, o ciclo inclui uma fase de desmantelamento do supercontinente, através de processos de rifteamento **(Figura 11)**, com afastamento dos fragmentos formando oceanos interiores com margens passivas. Após 200 milhões de anos, a máxima dispersão é atingida. Assim, as margens passivas tornam-se ativas e os fragmentos continentais se reaproximam, finalmente fechando os oceanos interiores. Dando prosseguimento ao ciclo, há colisão continental, conduzindo à formação do novo surpercontinente. A partir de então, serão necessárias várias centenas de milhões de anos até que o calor gerado no manto, abaixo do supercontinente, possa acumular, iniciando novo ciclo de fragmentação.

O montante de informações geológicas disponíveis indica que, nos últimos 2 bilhões e meio de anos, vários supercontinentes, outros que a clássica **Pangeia**, do final do Paleozoico, existiram. Conforme mostrado na **figura 18** há 1 bilhão de anos as massas continentais estavam agrupadas formando o supercontinente Rodínia e, há 600-550 milhões de anos, o supercontinente Pannótia.

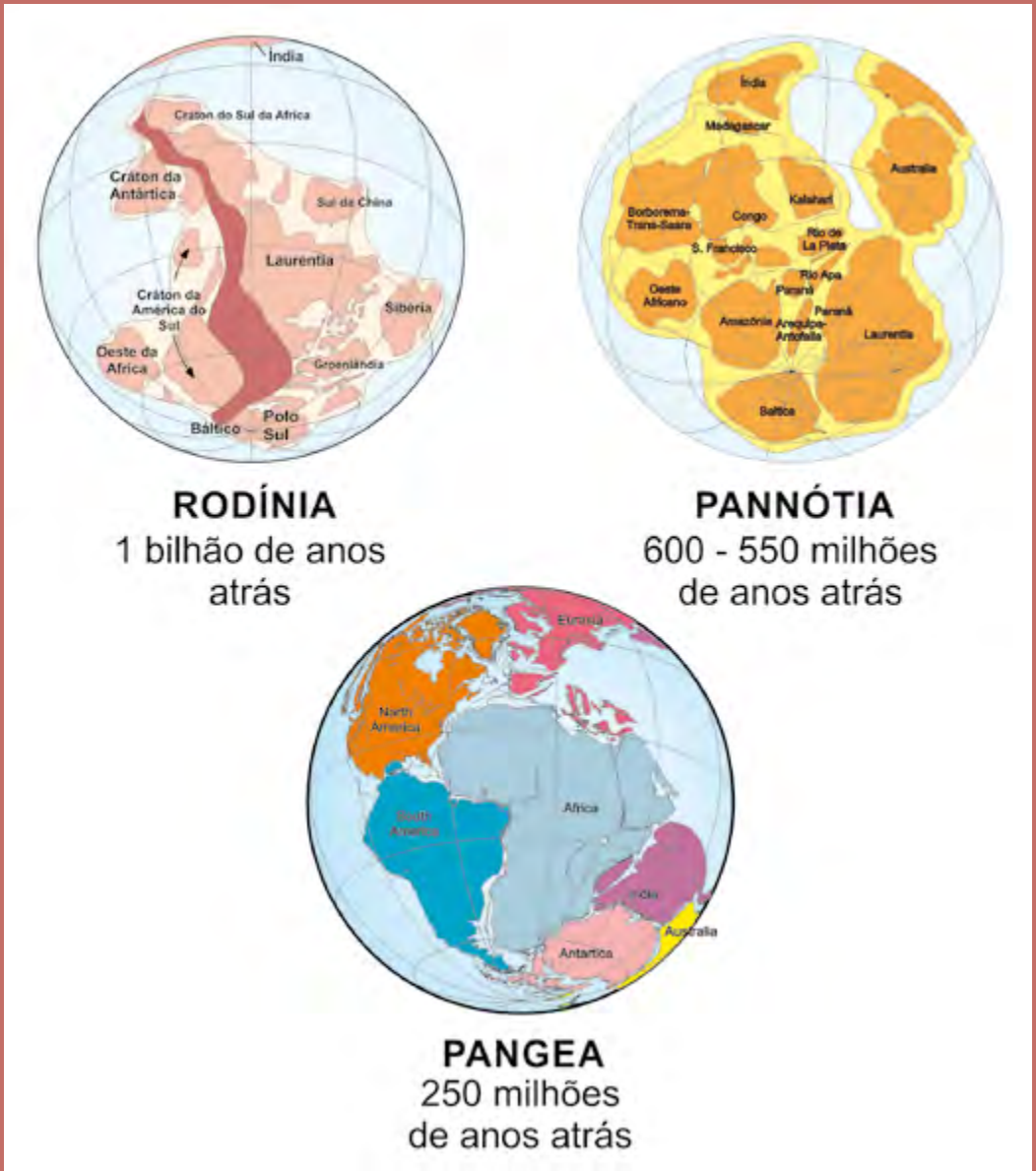


Figura 18. Os três Supercontinentes que existiram nos últimos 2,5 bilhões de anos: Rodínia, Pannótia e Pangeia.
Fonte: http://higheredbcs.wiley.com/legacy/college/levin/0471697435/chap_tut/chaps/chapter09-03.html.

O modelo apresentado defende que supercontinentes se formam em posição semelhante a que foi formado o supercontinente anterior (Introversão). Outra possibilidade é a de que os supercontinentes se formem no lado oposto ao qual foi formado o supercontinente anterior, ou seja, do outro lado do globo (Extroversão). Porém, um estudo recente (2012) publicado na revista *Nature*, por **Mitchell e colaboradores**, sugere uma nova visão sobre o posicionamento dos supercontinentes ao longo do tempo. Através de dados paleomagnéticos, esses autores concluíram que supercontinentes se formam a 90 graus do supercontinente anterior (Ortoversão). Dessa forma, o próximo supercontinente, **Amásia** (união das Américas com a Ásia), se formará entre 50 e 200 milhões de anos, 90 graus ao Norte da posição em que foi formada a Pangeia, se estabelecendo, assim, no Polo Norte. Porém, este novo modelo vem sendo ainda debatido pela comunidade científica, que critica, por exemplo, o fato dos autores não considerarem em seus estudos o supercontinente Pannótia.

Obviamente, existem enormes dificuldades para realizar reconstituições desse tipo, porque os antigos assoalhos oceânicos já desapareceram, bem como os registros paleomagnéticos e geocronológicos associados. Notavelmente, entretanto, do mesmo modo que os geocientistas podem reconstruir os antigos supercontinentes, programas de computação apoiados em dados geológicos e geofísicos, podem hoje prever como os supercontinentes estarão no futuro, isso é, daqui a 250 milhões de anos. No ano 2000, Christopher R. Scotese, um dos pioneiros nas reconstruções paleogeográficas, apoiadas em técnicas computacionais modernas, apresentou a reconstrução da denominada ***Pangea Ultima***. Segundo ele, a próxima configuração do tipo Pangeia resultará da subducção do assoalho oceânico do Oceano Atlântico, nas margens leste da América do Sul e do Norte. O novo supercontinente irá conter um pequeno oceano interior, na sua porção central **(Figura 19)**.

Conforme já dito, essa é uma reconstrução prevista para daqui a 250 milhões de anos, lapso de tempo de pequena magnitude se considerarmos a noção de tempo geológico. Como destacado anteriormente, o calor no interior de um corpo é uma condição básica para que o processo de tectônica de placas possa existir no ciclo dos supercontinentes. Eventualmente, daqui a bilhões de anos, a Terra terá perdido tanto calor a ponto das células de convecção do manto cessarem suas atividades e, com elas a atividade sísmica e vulcânica associadas. Dramaticamente, alguns ciclos da Terra (ciclo das rochas, dos supercontinentes, etc.) deverão desaparecer. Novas montanhas e oceanos não serão criados e os processos intempéricos e pedogenéticos deverão ser alterados. A Terra dinâmica, assim, como é hoje, terá então desaparecido, e com ela, possivelmente, a vida.

Figura 19. Reconstrução da Pangea Ultima de Scotese (2000). Modificado de: http://goo.gl/devN8o.

INTERAÇÃO ENTRE TECTÔNICA GLOBAL E OUTROS SISTEMAS E SUBSISTEMAS TERRESTRES

Já foi visto no capítulo **O CICLO DAS ROCHAS**, o planeta Terra é formado por uma série de sistemas e subsistemas ou **esferas terrestres**. A Tectônica Global de Placas tem papel fundamental na interação com tais sistemas e subsistemas, conforme resumido na tabela a seguir.

Sistemas e Subsistemas da Terra	Interações
Litosfera	As placas são movidas pelas correntes de convecção do manto, levando à formação de cadeias de montanhas e oceanos. Magma basáltico é originado nos limites divergentes de placas e nos pontos quentes. Magma andesítico ocorre associado aos limites convergentes de placas, junto às zonas de subducção. Esse magma torna-se relativamente silicoso e com baixa densidade, adicionando a crosta continental grande parte do material magmático que a compõe. O magma pode erupcionar violentamente em vulcões ou resfriar abaixo da superfície em intrusões graníticas. Nos limites colisionais, o magma é menos volumoso, predominantemente granítico (rico em sílica) e, possivelmente, originado da fusão parcial da crosta continental já existente. Já o metamorfismo ocorre em limites convergentes de placas, onde a subducção produz alterações importantes na temperatura e pressão das rochas previamente formadas. Os maiores volumes de sedimentos estarão acumulados nas margens passivas, em especial junto à plataforma continental, nas proximidades da desembocadura de grandes rios (deltas), como o Mississipi, por exemplo. **Clique aqui e confira**.
Atmosfera	A configuração dos continentes afeta o clima (proporção massa de terra/água). O vulcanismo eleva a produção de CO_2 (efeito estufa).
Hidrosfera	A configura ção continental afeta as correntes oceânicas. O volume das cadeias meso-oceânicas afeta (eleva) o nível do mar.
Biosfera	A tectônica cria corredores ou barreiras à dispersão das espécies. Origina nichos ecológicos, muda a posição geográfica (climática) de ecossistemas. Alguns ambientes terrestres, como as fontes ou plumas hidrotermais ou fumeiros, junto aos limites divergentes de placas e pontos quentes, sustentam ecossistemas onde os organismos (extremófilos) são quimiossimbiontes, ou seja, não depende da fotossíntese (luz solar), mas sim da geoquímica associada à Tectônica de Placas. **Clique aqui** e confira uma breve aula da Profa. Dra. Ana Maria Vanin do IO/USP, sobre as faunas de plumas hidrotermais.

QUEM É QUEM NA HISTÓRIA DA TECTÔNICA GLOBAL

Até aqui o leitor teve a oportunidade de entrar em contato com uma série de informações ordenadas historicamente, mostrando o desenvolvimento das teorias e conceitos que culminaram com as ideias da atual Tectônica Global. As vibrantes e excitantes ideias sobre a tectônica global começaram a evoluir, com maior vigor, como visto, há cerca de 50 anos, tendo vários cientistas, de diferentes nacionalidades e instituições, como arquitetos principais. Notavelmente, se **Alfred Wegener** não tivesse falecido aos 50 anos, isso é, em 1930, possivelmente a revolução proporcionada às geociências pela Tectônica de Placas teria se iniciado mais cedo. A seguir, são fornecidos alguns dados biográficos adicionais, sobre alguns dos principais personagens responsáveis pela revolução que marcou não apenas as geociências, mas também as ciências naturais, no contexto da Tectônica de Placas. Muitas das informações abaixo foram colhidas de diferentes fontes de informações disponíveis *online*, em *sites* de instituições oficiais, tais como o **USGS** (*United States Geological Survey*). Porém, o leitor interessado poderá encontrar uma longa lista sobre a biografia de geocientistas que contribuíram, decisivamente, para o conhecimento da geotectônica e geofísica, **clicando aqui**.

Arthur Holmes (1890 – 1965)

Arthur Holmes **(Figura 20)** iniciou seus estudos em Física no *Imperial College of Science*, em Londres, mas antes de concluir a graduação transferiu-se para a Geologia. Foi docente nas universidades de Durham e Edinburgh. Em 1913, propôs a primeira Coluna do Tempo Geológico, fundamentada, então, nos recentes dados oferecidos pela descoberta da datação radiométrica. Em 1930, sugeriu um mecanismo que poderia explicar a Deriva dos Continentes de Alfred Wegener, com base nas correntes de convecção do manto. Antes de encontrarem suporte em outros dados independentes, foi pensado que suas ideias eram meramente especulativas e, desta forma, desprovidas de valor científico. Holmes faleceu em 1965.

Figura 20. Arthur Holmes.
Fonte: http://goo.gl/NwrWl3.

Edward Crisp "Teddy" Bullard (1907 - 1980)

Nascido em 21 de setembro de 1907, em Norwich, Inglaterra, Bullard **(Figura 21)** foi um geofísico que ganhou notoriedade pelos estudos de geomagnetismo. Bullard foi, também, o primeiro geocientista a fazer medidas razoavelmente precisas dos fluxos de calor geotérmico, através da crosta oceânica. Estudando as margens continentais de ambos os lados do oceano Atlântico, Bullard testou através de computadores o encaixe dos continentes africano e sul-americano. Os ajustes apresentados na *Royal Society of London* apresentavam incrível resolução. Esse ajuste ficou conhecido como **ajuste de Bullard** ou *Bullard Fit*, tendo contribuído enormemente para o desenvolvimento da teoria de Deriva Continental e, mais adiante, a Tectônica de Placas. Bullard faleceu em 3 de abril de 1980.

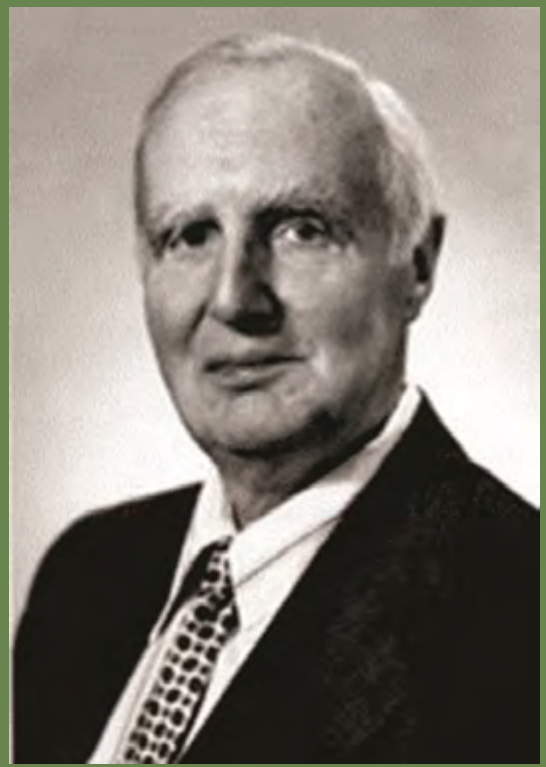


Figura 21. Sir Edward Bullard
Fonte: http://www.findagrave.com/cgi-bin/fg.cgi?page=pv&GRid=124575939.

Harry Hess (1906 – 1969)

Harry Hess iniciou sua carreira em 1932, como Professor de Geologia, em Princeton **(Figura 22)**. Sua especialidade, nessa época, era a geologia de ilhas vulcânicas, ativas. Durante a Segunda Guerra Mundial, Hess comandou uma base de submarinos, permanecendo na Reserva da Marinha, após a guerra.

Durante a guerra, Hess trabalhou na cidade de Nova Iorque, estimando a posição dos inimigos no Atlântico Norte. Posteriormente, Hess deixou os trabalhos "burocráticos" da guerra para assumir o comando de um navio de transporte e ataque. Seu navio era equipado com sonar, vasculhando o fundo oceânico à procura do inimigo. Essa atividade mostrou-se extremamente interessante para Hess, não apenas no comando da embarcação, mas como geólogo. Em 1945, Hess havia obtido medidas das porções mais profundas dos oceanos, até então disponíveis: cerca de 11 quilômetros de profundidade. Hess descobriu então uma série de montanhas submarinas, de topo plano, no assoalho oceânico do oceano Pacífico. Hess ficou intrigado com a origem dessas estruturas, que a dezenas metros de profundidade apresentavam o topo plano, como que erodidas.

Após a guerra, Hess conduziu uma série de estudos para desvendar a origem dessas estruturas. Realizou também estudos mineralógicos. Em 1953, com a descoberta do **Grande Rift Global**, os vales vulcânicos ao longo das dorsais meso-oceânicas, Hess reexaminou os dados obtidos durante a guerra. Em 1960 e, de maneira mais elaborada, em 1962, Hess concebeu a hipótese de expansão do assoalho oceânico. Essa teoria uniu e ofereceu solução para vários quebra-cabeças geológicos, tais como as idades jovens do assoalho oceânico, a presença de arcos de ilhas, as ocorrências de fossas oceânicas e a origem das dorsais meso-oceânicas. Em 1950, Hess passou a chefiar o Departamento de Geologia de Princeton e, em 1960, auxiliou, como assessor da NASA, a planejar a primeira alunissagem. Infelizmente, Hess faleceu em agosto de 1969, um mês antes da missão Apollo 11 realizar a primeira alunissagem.

Figura 22. Harry Hess.
Fonte: http://goo.gl/mfNuq6.

J. Tuzo Wilson (1908- 1993)

Geofísico canadense, J. Tuzo Wilson **(Figura 23)** foi um dos pivôs da revolução proporcionada pela teoria da Tectônica de Placas. Intrigado com as ideias de Wegener sobre a possibilidade de movimento horizontal da crosta terrestre e influenciado pelas ideias de Harry Hess, Wilson teve papel fundamental no convencimento de outros cientistas sobre as mudanças conceituais que iriam ocorrer nas geociências no início dos anos 1960. Wilson conheceu Hess no final de 1930, quando era estudante de pós-graduação em Princeton.

Em 1963, Wilson desenvolveu um conceito crucial para a teoria da Tectônica de Placas, sugerindo, como visto anteriormente, que o arquipélago do Hawaii e outras ilhas vulcânicas poderiam ter se formado pelo movimento horizontal da crosta, sobre pontos quentes (*hotspots*) estacionários, no manto. Essa hipótese eliminou uma aparente contradição da teoria da Tectônica de Placas: a ocorrência de vulcões ativos localizados quilômetros de distância dos limites das placas tectônicas. Centenas de estudos posteriores provaram que as ideias de Wilson estavam corretas, mas, notavelmente, suas ideias foram consideradas tão radicais para a época, que seu artigo sobre pontos quentes foi rejeitado para publicação na maioria dos periódicos internacionais. Esse artigo foi publicado em 1963 em um periódico de pouca visibilidade e impacto à época, o ***Canadian Journal of Physics***, tornando-se, posteriormente, um marco da Tectônica de Placas. Outra contribuição importante de Wilson veio a público dois anos mais tarde, tratando do reconhecimento das falhas transformantes, que caracterizam um dos tipos fundamentais de limites de placas, o limite conservativo ou transformante (vide acima).

Wilson foi professor de geofísica na Universidade de Toronto, de 1946 a 1974, e quando se aposentou se tornou Diretor do Centro de Ciência de Ontário. Felizmente, assim como Hess, Wilson teve a oportunidade de ver os conceitos sobre pontos quentes e falhas transformantes confirmados ainda em vida.

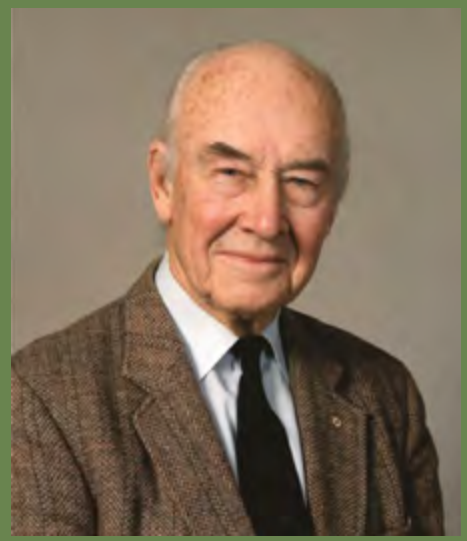


Figura 23. John Tuzo Wilson. Fonte: http://goo.gl/9YwrXX.

Robert Sinclair Dietz (1914-1995)

Robert Sinclair Dietz **(Figura 24)** nasceu em *Westfield*, New Jersey, em setembro de 1914. Desde a graduação, estudou Geologia na *University of Illinois*, no período de 1933 a 1941. A maior parte de sua pesquisa foi desenvolvida, porém, na *Scripps Institution of Oceanography*, sob a orientação de Francis P. Shepard.

Após o serviço militar, durante a Segunda Guerra Mundial, recebeu convite de um amigo (Dr. Eugene La Fond) para organizar um grupo de pesquisas sobre o fundo oceânico, no Laboratório de Eletrônica Naval, em San Diego, Califórnia. Tornou-se assim o fundador e diretor do *Sea Floor Studies Section*, do Laboratório de Eletrônica Naval, o que lhe permitiu participar de várias expedições científicas que exploraram, por exemplo, o oceano Pacífico, em 1950.

Durante um período de estudos no Japão (1953, 1954-1958), teve a oportunidade de estudar a geologia de ilhas e montanhas vulcânicas submarinas. Os artigos científicos publicados nesse período trataram de questões fundamentais para a Tectônica de Placas, em especial para o entendimento do processo de expansão do assoalho oceânico. Aliás, o termo "expansão do assoalho oceânico" foi cunhado por ele. Em 1977, tornou-se professor associado da *Arizona State University*, tendo dado continuidade a suas pesquisas e publicações até 19 de maio de 1995, quando faleceu devido a um infarto na cidade de Tempe, Arizona.

Figura 24. Robert Sinclair Dietz. Fonte: http://goo.gl/383UqI.

Drummond Hoyle Matthews (1931 – 1997)

Em 1955, após um período de serviço militar obrigatório na Marinha Real, Drummond **(Figura 25)** estudou Geologia e Petrologia em Cambridge, Inglaterra. Mais tarde, dispendeu alguns anos trabalhando na Antártica, a serviço do ***British Antarctic Survey*** ou BAS. Em seguida, retornou à Inglaterra onde concluiu sua tese de doutoramento, fundamentada em dados geológicos obtidos pelas amostragens no Atlântico Norte.

No início da década de 1960, Matthews se tornou muito conhecido, especialmente a partir da publicação, em 1963, do artigo científico sobre a identificação do **padrão zebrado de anomalias magnéticas** no assoalho oceânico (**assista aqui** a vídeo aula sobre anomalias magnéticas no assoalho oceânico). Esse artigo foi publicado com Fred Vine, seu aluno de pós-graduação. Após a morte de Maurice Hill, orientador de Matthews, ele passou a liderar o grupo de geofísica marinha de Cambridge. No período de 1967 a 1972, participou de 33 expedições científicas, que resultaram em volume apreciável de dados sobre a geologia do fundo oceânico e dos limites entre placas. Matthews faleceu em 20 de julho de 1997, como um dos cientistas que contribuiu de maneira relevante para ampliação do conhecimento científico sobre o planeta Terra.

Figura 25. Drummond Hoyle Matthews. Fonte: http://goo.gl/DDemq4.

Frederick John Vine (1939 –)

Nascido em 17 de junho de 1939, em Londres, Inglaterra, Frederick John Vine (**Figura 26**) recebeu o grau de Doutor pela Universidade de Cambridge, em 1965. Durante cinco anos foi professor em Princeton e, juntamente com Drummond Matthews (seu orientador de doutoramento), propôs que o padrão zebrado de anomalias magnéticas verificado no assoalho oceânico era resultado do processo de expansão da crosta oceânica, a partir das cordilheiras meso-oceânicas, em associação com períodos de reversão do campo magnético da Terra (**assista aqui** a palestra original, em inglês, onde Vine explica suas descobertas). A partir dos estudos de Vine e seus colaboradores foi possível determinar a história evolutiva das bacias oceânicas. Embora suas ideias tenham sido muito inovadoras para a época, logo se tornaram amplamente aceitas, especialmente após o estabelecimento da escala de reversões do campo geomagnético.

Figura 26. Frederick John Vine. Fonte: http://www.bl.uk/voices-of-science/interviewees/fred-vine.

REFERÊNCIAS

BRITO NEVES, B. B. 1995. Crátons e Faixas Móveis. Boletim IG-USP 1: 1-187.

BRITO NEVES, B. B. 2003. A Saga dos Descendentes de Rodinia na Construção do Gondwana. Revista Brasileira de Geociências. 33(1): 77-88.

CELINO, J. J; MARQUES, E. C. de L. & LEITE O. R. 2003. Deriva dos Continentes e a Teoria da Tectônica de Placas: uma abordagem epistemológica da construção do conhecimento geológico, suas contribuições e importância didática. Geo.br 3: 1-23.

DIETZ, R. S. 1961. Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor. Nature 90: 854-857.

FAIRCHILD, T. R. A 2000. Terra: passado, presente e futuro. In: W.M. TEIXEIRA; M.M. TOLEDO; T. R. FAIRCHILD & F. TAIOLI (eds.), Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, p. 493-516.

HALLAM, A. 1983. Great geological controversies. Oxford University Press.

HESS, H. H. 1962. History of ocean basins. Petrologic Studies: A Volume to Honor A. F. Bud¬dington. Princeton University, p. 559 – 620.

HOLMES, A. 1931. Radioactivity and Earth movements. Transactions of the Geological Society of Glasgow 18: 559-606.

ISACKS, B.; OLIVER, J. & SYKES, L. R. 1968. Seismology and the New Global Tectonics. Journal of Geophysical Research 73(18): 5855-5899.

KIOUS, W. J. & TILLING, R. I. 2003. This dynamic earth: the story of plate tectonics. USGS Special Interest Publication.

LAVINA, E. L. 2010. Alfred Wegener e a Revolução Copernicana na Geologia. Revista Brasileira de Geociências. 40(2): 289 -299.

LE PICHON, X. 1968. Sea-floor Spreading and Continental Drift. Journal of Geophysycal Research 73(12): 3611-3697.

LLORENTE, J.; PAPAVERO, N. & SIMÕES, M. G. 1996. La distribuicion de los seres vivos y la historia de la Tierra. Fondo de Cultura Económica, México.

MCKENZIE, D. & PARKER, R. L. 1967. The North Pacific: an Example of Tectonics on a Sphere. Nature 216: 1276-1280.

MITCHELL, R. N., KILIAN, T. M. & EVANS, D. A. D. 2012. Supercontinent Cycles and the Calculation of Absolute Palaeolongitude in Deep Time. Nature 482: 208–211.

MORGAN, W. J. 1968. Rises, Trenches, Great Faults and Crustal Blocks. Journal of Geophysycal Research 73 (6): 1959-1982.

PACCA, I. G. & Mc REATH, I. 2000. A Composição e o Calor da Terra. In: W.M. TEIXEIRA; M.M. TOLEDO; T. R. FAIRCHILD & F. TAIOLI (ed.), Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, p. 84-90.

PRESS, F; SIEVER, R.; GROETZINGER, J. & JORDAN, T. 2006. Para entender a Terra. Porto Alegre: Artmed, 656p.

TASSINARI, C. C. G. Tectônica Global. In: W. M. TEIXEIRA; M.M. TOLEDO; T. R. FAIRCHILD & F. TAIOLI (eds.), Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, p. 97-112.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R., TAIOLI, F. 2000. Decifrando a Terra. 2ª ed., São Paulo: Companhia Editora Nacional, 620 p.

WEGENER, A. 1966. The origin of continents and oceans. New York: Dover. (Original: 1915).

WICANDER, R. & MONROE, J. S. 2009. Fundamentos de Geologia. Cengage Learning, 528p.

WILSON, J. T. 1965. A new Class of Faults and their Bearing on Continental Drift. Nature 207: 343-347.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

A tectônica de placas como base para o entendimento da Terra enquanto um planeta dinâmico
Descobrindo os limites de placas
Placas litosféricas: reconhecendo as feições e processos
Viajante geotectônico: a tectônica global via *Google Earth*

VOLTE AO SUMÁRIO

4

FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO

Cristina Silveira Vega
Eliseu Vieira Dias
Sabrina Coelho Rodrigues

Muitas vezes nos perguntamos como um organismo vivo pode se tornar um fóssil. O processo parece ser simples, mas na realidade é um pouco complexo.

Quando um organismo morre, inicia-se o processo de decomposição pelas bactérias e fungos que degradam a matéria orgânica. Durante o processo de decomposição, ou depois deste, o organismo pode ser imediatamente soterrado, ou passar por uma série de processos que incluem desarticulação e transporte e só depois será soterrado. Esse soterramento irá acontecer quando a água, ou outro agente, transportar o sedimento que irá recobrir o organismo. Depois de soterrado, o organismo e o sedimento ao seu redor irão passar por um processo chamado de **diagênese**, que consiste na compactação (pelo peso do sedimento), na cimentação (o sedimento depositado sobre o organismo ou por dentro dele, através de processos químicos, se solidifica e passa a formar uma rocha sedimentar) e na litificação **(Figura 1)**.

Durante o processo de litificação e compactação, os fluidos se movem através dos grãos sedimentares (percolação) que contêm os fósseis podendo alterar a constituição química original dos restos orgânicos. Os fósseis são preservados de diversas maneiras, conhecidas como **tipos de fossilização.**

O processo de fossilização não ocorre de uma hora para outra e pode durar milhares de anos. Portanto, ainda não podemos fabricar um "fóssil em laboratório"! A forma como ocorre esse processo pode variar. Algumas dessas possibilidades serão discutidas a seguir.

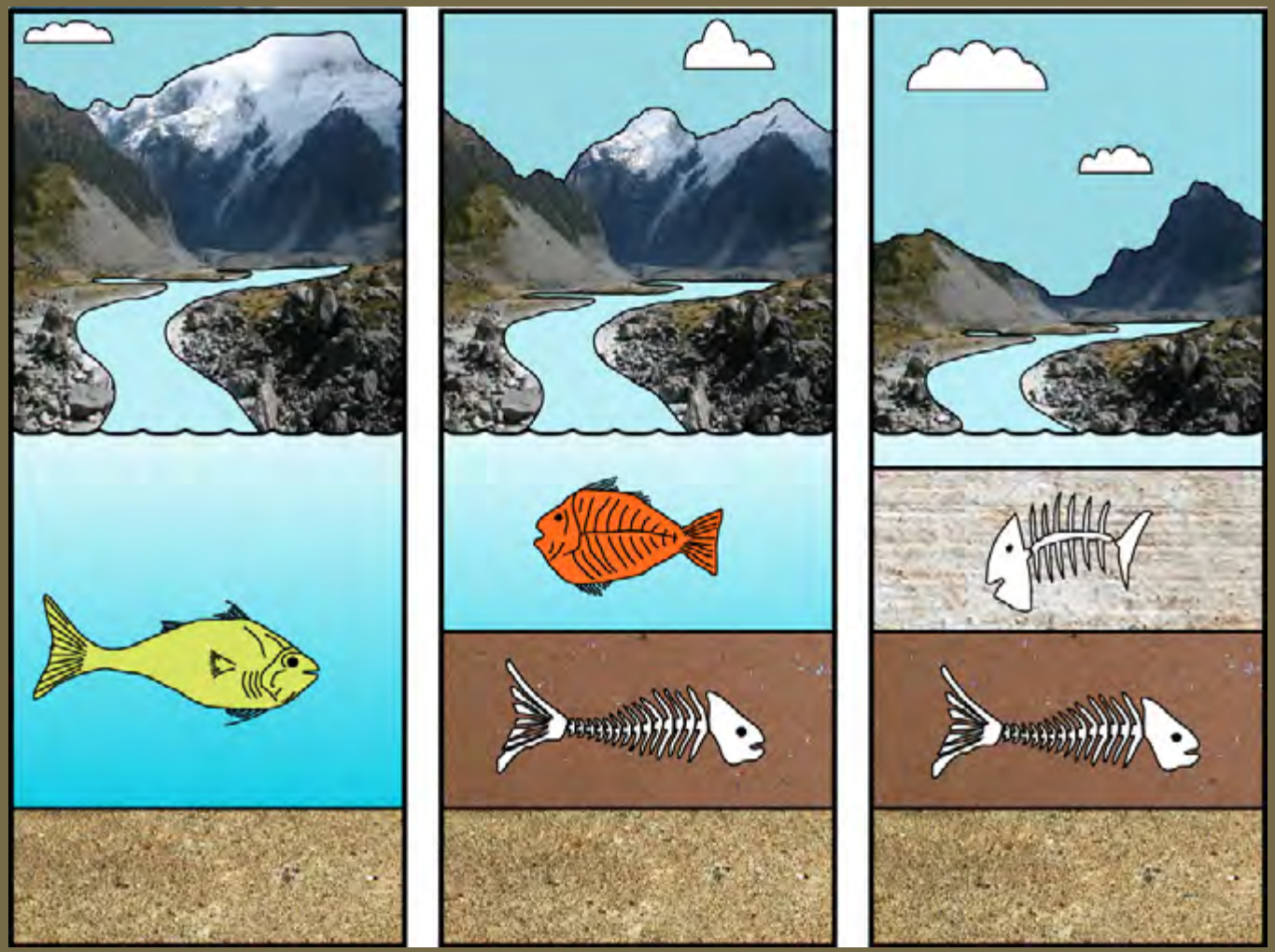


Figura 1. Esquema simplificado mostrando o processo de fossilização.

TIPOS DE FÓSSEIS

Como visto no capítulo **INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA**, os fósseis são classificados como restos (ou fósseis corpóreos) e vestígios (ou fósseis traço). Neste capítulo serão discutidos os processos de fossilização envolvidos na preservação dos diferentes tipos de restos fósseis.

RESTOS

Normalmente consistem nas partes duras dos organismos, pois estas apresentam alto potencial de preservação. Os restos podem ser compostos por: sílica (espículas das esponjas), carbonato de cálcio (conchas de moluscos), hidroxiapatita (ossos de vertebrados), quitina (exoesqueleto de artrópodes – **Figura 2**), celulose (vegetais) e, até mesmo, por tecidos moles preservados.

Os restos podem ser preservados de diversas formas:

(1) Preservação Total

Quando ocorre a preservação praticamente completa de um organismo, incluindo as partes duras (esqueléticas) e moles (tecidos, órgãos) dos organismos. Assim que os organismos morrem, os tecidos ou as partes moles são decompostos rapidamente e, portanto, a preservação dessas partes ocorre sob condições excepcionais de fossilização.

Preservação em âmbar: não é por acaso que muitas vezes organismos são englobados em âmbar, que é uma resina viscosa secretada por algumas plantas (principalmente gimnospermas). A resina exala um odor forte que pode atrair alguns invertebrados, os quais, por sua vez, atraem outros animais. Quando a resina escorre pelo caule, acaba englobando (e aprisionando) elementos da fauna que estavam caminhando ou repousando ali. Uma vez seco, o âmbar fica endurecido, preservando o organismo aprisionado integralmente **(Figura 3)**.

Congelamento (ou crio-preservação): ocorre quando um organismo fica exposto a baixas temperaturas, sofrendo congelamento, o que impede a decomposição de suas partes moles **(Figura 4)**.

Figura 2. Fóssil de um artrópode trilobita encontrado na Formação Ponta Grossa, Devoniano da Bacia do Paraná. Coleção da UFPR. Escala = 3cm. Foto: Cristina Silveira Vega.

Figura 3. Inseto preservado em âmbar. Fonte: Palmer, 1999.

Figura 4. Filhote de mamute preservado por congelamento, encontrado na Sibéria. Fonte: http://goo.gl/zGjUPS.

(2) Preservação com alteração dos restos esqueléticos

Minerais como carbonato de cálcio, sílica e fosfato de cálcio, além de quitina e celulose são os principais constituintes das partes duras, mais resistentes, da maioria dos organismos, como é o caso das conchas, ossos e dentes, e algumas partes de vegetais. Durante a fossilização, essas partes duras podem se manter inalteradas, preservando no fóssil os minerais que originalmente as constituíam, ou sofrer alguma alteração.

Carbonificação ou Incarbonização: Durante o processo de decomposição de um organismo, pode acontecer de a maioria dos elementos químicos presentes serem perdidos, mas o carbono permanecer. A carbonificação ocorre quando os restos de animais e plantas não foram totalmente decompostos quando soterrados, e é mais comum em vegetais depositados em ambientes subaquosos com baixas concentrações de oxigênio, como, por exemplo, no fundo de lagos. Com a deposição de sucessivas camadas sobre os restos orgânicos, ocorre o aumento da pressão e da temperatura, resultando na eliminação dos componentes orgânicos voláteis da matéria orgânica, tais como nitrogênio, oxigênio e hidrogênio, com permanência do carbono original. O fóssil que sofreu carbonificação apresenta uma fina película carbonosa, de coloração escura **(Figura 5)**.

Figura 5. Ramos da pteridospermófita *Alethopteris* sp. Observe como o fóssil apresenta coloração escura, devido à carbonificação. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Recristalização: Todos os minerais apresentam uma forma geométrica, obtida durante o seu processo de cristalização. Todavia durante a fossilização, os minerais presentes nas conchas e esqueletos dos organismos podem se rearranjar, modificando-se, e formando outros minerais **(ver figura 12 F - G)**. Assim, minerais instáveis presentes nas partes duras dos organismos irão se modificar para uma forma mais estável, promovendo o crescimento dos minerais na forma de cristais. Esse processo é conhecido como recristalização e, geralmente, destrói os detalhes mais finos da morfologia dos restos (**Figuras 6 e 7**).

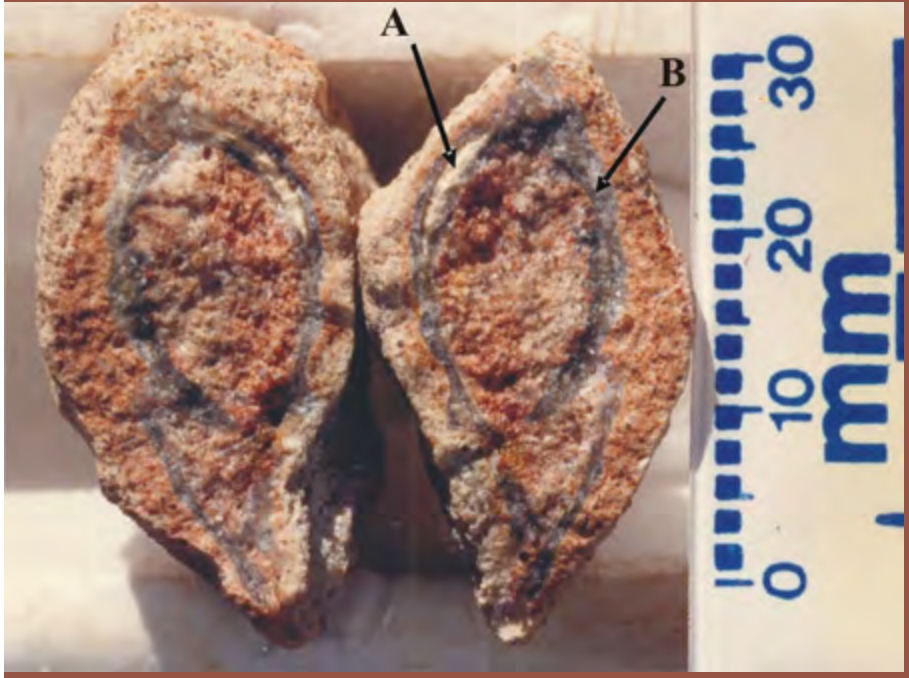


Figura 6. Exemplar de molusco bivalve *Anodontites pricei*, coletado na Formação Marília (Cretáceo da Bacia Bauru). Reparar na pequena porção da concha original de aragonita (A) recristalizada em calcita nas demais porções do fóssil (B). Coleção da UFPR. Escala em milímetros. Foto: Eliseu Dias.

Figura 7. Exemplar de molusco cefalópode *Progonoceratites pulcher*, do Triássico da Alemanha. Note os cristais de calcita em corte. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala em centímetros. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Substituição: Durante a litificação, diversas reações químicas podem ocorrer, dentre elas, a substituição. No processo de substituição, a constituição mineralógica original das conchas, ossos e dentes modifica-se, sendo o mineral original substituído por outro abundante no meio. Diferentemente da formação de um contramolde (vide a seguir) não temos aqui a dissolução total do fóssil original e posterior preenchimento do espaço vazio por outro mineral. Na substituição, a dissolução do fóssil ocorre concomitante ao processo de deposição do novo mineral. Diversos minerais podem substituir ou serem trocados pelos minerais originais **(ver Figura 12 F - G)**. A substituição chama-se **Silicificação** quando os elementos químicos originais foram substituídos pelo elemento sílica. **Piritização** é o processo de substituição dos elementos originais, geralmente compostos de carbonato de cálcio, pelo mineral pirita (também conhecido como ouro-de-tolo). Fósseis piritizados apresentam brilho metálico (dourado), devido à presença desse mineral **(Figura 8)**. Denomina-se **Limonitização** o processo de substituição por limonita, um óxido de ferro hidratado. Fósseis limonitizados apresentam cor castanha ou avermelhada, devido à presença desse óxido. Finalmente, a **Carbonatação** envolve a susbtituição do material original por carbonatos. É mportante lembrar que no processo de substituição, embora ocorra uma mudança na composição química original do resto orgânico preservado, sua morfologia (forma) não sofre alteração.

Figura 8. Concha do braquiópode *Australospirifer* sp., coletado na Formação Ponta Grossa, Devoniano da Bacia do Paraná. Coleção da UFPR. Reparar na substituição do material original da concha, calcita, por pirita (piritização), de coloração amarelada. Escala em centímetros. Foto: Cristina Silveira Vega.

Incrustação: Em determinados ambientes (cavernas, por exemplo), a água é rica em minerais, como o carbonato de cálcio. Esses minerais carregados pela água podem se precipitar sobre os restos orgânicos. Tipicamente, ossos e conchas de ambientes de caverna apresentam uma cobertura mineral sobre toda a superfície, favorecendo a manutenção desse resto durante o processo de fossilização **(Figura 9)**.

Permineralização: Ocorre quando o sedimento que está ao redor das partes duras de um organismo (esqueleto ósseo, tronco de árvore) é transportado pela água e preenche as cavidades desse organismo. O preenchimento pode ocorrer também por substâncias solubilizadas na água que precipitam dentro dos poros formando minerais. Como resultado, o material fóssil pode apresentar um aspecto inchado **(Figura 10)**.

Figura 9. Molusco gastrópode atual sem incrustação (à esquerda), e um exemplar do mesmo gênero incrustado por carbonato de cálcio (à direita). Escala em cm. Coleção da UFPR. Foto: Cristina Silveira Vega.

Figura 10. Osso coletado na Formação Santa Maria, Triássico da Bacia do Paraná. Coleção da UFPR. Reparar na diferença de coloração do sedimento (vermelho) e da hidroxiapatita constituinte do osso (branco), evidenciando o preenchimento. Escala em centímetros. Foto: Cristina Silveira Vega.

Concreção: Durante o processo de decomposição de um organismo, este libera alguns compostos que desencadeiam reações químicas que, por sua vez, ocasionam a precipitação de outras substâncias químicas. Este processo pode fazer com que a pirita ou a calcita fiquem aderidas ao organismo, envolvendo-o em nódulos. As concreções carbonáticas (calcita) contendo peixes, muito comuns no Grupo Santana, Cretáceo da Bacia do Araripe, recebem o nome de ictiólitos **(Figura 11)**.

Figura 11. Ictiólito coletado no Grupo Santana, Cretáceo da Bacia do Araripe. Coleção da UFPR. Escala em centímetros. Foto: Cristina Silveira Vega.

MOLDES

Durante a litificação, as camadas de sedimentos que contêm os restos organismos (ex: conchas) podem preservar a forma desses restos, mesmo depois que os mesmos tenham sido totalmente destruídos. Assim, uma concha pode ser totalmente dissolvida, porém poderá deixar o seu molde na rocha sedimentar. Se a concha estiver preenchida internamente por sedimentos, o molde resultante será denominado de **Molde Interno (Figura 12, H**; **Figura 13)**, pois registrará a impressão das feições presentes na superfície interna da concha. Por outro lado, se a concha for coberta externamente pelas partículas sedimentares, o molde resultante será denominado de **Molde Externo**, por preservar as feições da superfície externa da concha **(Figura 12.H; Figura 14)**. Desse modo, os moldes internos são formas convexas e os moldes externos são formas côncavas. Quando a concha é dissolvida, resta um espaço vazio, equivalente àquele que a mesma ocupava nas camadas de partículas sedimentares em compactação **(Figura 12.C)**. Esse espaço deixado pela concha dissolvida é conhecido como cavidade móldica. Se a cavidade móldica for agora preenchida novamente por partículas sedimentares ou ocorrer a precipitação de minerais secundários, e tanto a superfície interna como a externa forem compactadas juntas, o molde preservado é chamado de **Contramolde (Figura 12.D; Figura 15)**.

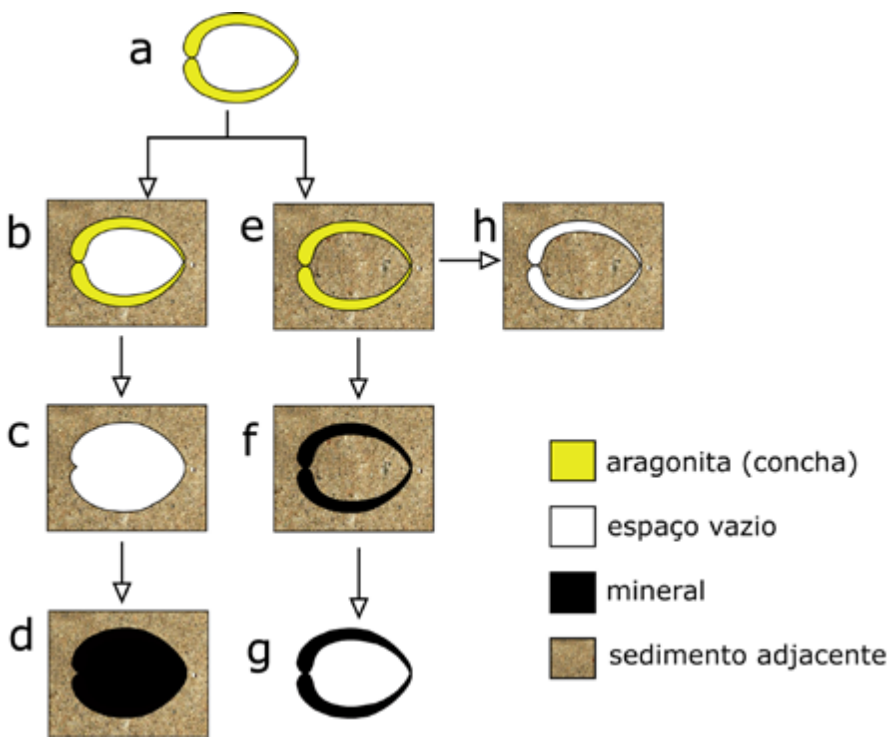


Figura 12. Representação esquemática para a formação de moldes e contra-moldes, além de processo de substituição ou recristalização. (a) Concha antes do soterramento; (b) Concha soterrada e necrólise das partes moles; (c) Concha dissolvida gerando uma cavidade móldica; (d) Preenchimento da cavidade móldica por partículas sedimentares ou minerais secundários gerando um contramolde; (e) Concha soterrada e necrólise das partes moles com subsequente preenchimento das partes internas vazias por sedimento; (f) Recristalização da concha (ex: aragonita recristalizada como calcita) ou substituição (ex: por sílica ou pirita); (g) Concha recristalizada ou substituída, extraída da rocha; (h). Dissolução da concha gerando molde interno e externo na rocha circundante.

Figura 13. Molde interno de molusco gastrópode. Diâmetro da concha = 4 cm. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

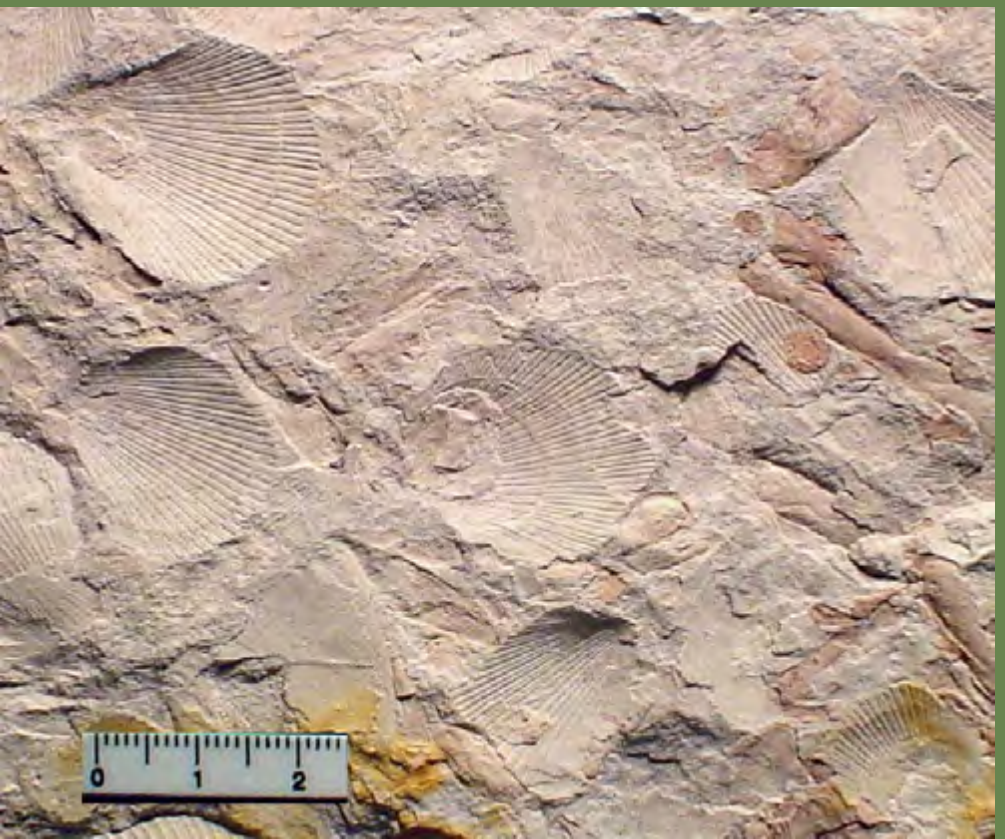


Figura 14. Moldes externos de conchas de bivalves. Escala em cm. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 15. Contramolde de caule de licófita. Escala em cm. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Além dos moldes em três dimensões, como os apresentados nas **figuras 13** a **15**, as rochas podem conter também impressões de vegetais e animais. As impressões mais comuns são as de folhas e ramos de vegetais **(Figura 16)** e de insetos **(Figura 17)**, por exemplo.

Figura 16. Impressão de folha de *Macroneuropteris* sp. do Carbonífero. Escala em centímetros. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 17. Impressão de inseto: libélula *Stenophlebia* sp., do Jurássico da Alemanha. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

REFERÊNCIAS

CASSAB, R. C. T. 2004. Objetivos e Princípios. In: CARVALHO, I. S., Paleontologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 3-18.

CLARKSON, E. N. K. 1998. Invertebrate palaeontology and evolution. 4th ed. London: Blackwell Science, 452p.

MEDEIROS, M. A. 2004. Fossildiagênese. In: CARVALHO, I. S., Paleontologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Inter-ciência, p. 47-59.

PALMER, D. 1999. Atlas of the pre-historical world. 1ª ed., Discovery Channel. 224p.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

O tanque de fossilização
A história de um fóssil
Diferenças entre um fóssil e um organismo atual
Simulando o processo de fossilização
Simulando a formação de impressões foliares
Reconhecendo icnofósseis de dinossauros
Interpretando icnofósseis: pegadas e impressões

5

OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO

Marina Bento Soares

Posso ouvir o vento passar
Assistir a onda bater
Mas o estrago que faz
A vida é curta pra ver...

Trecho da música "O Vento", de Rodrigo Amarante, gravada no álbum Ventura da banda *Los Hermanos*.

Essa letra de música ilustra bem a maneira como nós, seres humanos, percebemos o tempo. Nossos referenciais são limitados, pois conseguimos conceber o tempo em termos de eventos bem recentes. Quando pensamos no tempo transcorrido durante a história da humanidade, que é de alguns séculos, isso já nos parece muito tempo! Mas a ideia de um período de tempo que envolve milhões ou, até memo, bilhões de anos se faz completamente abstrata para o nosso entendimento. Nossa espécie, *Homo sapiens*, está nesse planeta há muito pouco tempo, não mais que 200 mil anos. E o que isso significa quando comparado aos 4,6 bilhões de anos de história da Terra?

De fato, a magnitude desse tempo profundo é muito difícil de ser compreendida por nós, que somos apenas "um pequeno broto em um ramo de uma árvore frondosa" (Gould, 1990). Um meio de se tentar entender essa vastidão de tempo é imaginarmos um livro contendo 460.000 páginas, em que cada página contivesse 10.000 anos da história da Terra. Assim a página 1 começaria com o relato da formação do planeta; os primeiros organismos unicelulares surgiriam somente na página 70.000; as primeiras plantas terrestres estariam registradas a partir da página 418.000; os dinossauros apareceriam pela primeira vez na página 440.000 e o ser humano surgiria somente na página 459.600.

Esse livro é um exemplo de metáfora ou analogia que nos ajuda a começar a entender que a história da Terra envolve uma vastidão de tempo muito maior do que aquela que conhecemos e que podemos conceber. Chamamos de **Tempo Geológico** esse tempo profundo que foge aos nossos padrões de referência. Tal escala de tempo pode ser medida através de relógios naturais – bem menos óbvios para a nossa experiência –, que refletem o ritmo da Terra. Esses relógios naturais são, entre outros, os movimentos dos continentes, o soerguimento de montanhas, o aumento e a diminuição dos níveis dos oceanos e, também, o surgimento e a extinção das espécies (Dott & Prothero, 1994). Assim, cada rocha e cada fóssil existentes na crosta terrestre constituem-se em arquivos naturais que guardam os segredos de muitos eventos do passado e são ferramentas que podem nos ajudar a reconstituir a história do planeta.

Quando falamos em fósseis, logo nos lembramos dos midiáticos dinossauros. Na verdade, esses fascinantes animais são a porta de entrada para muitas crianças tomarem um primeiro contato com a ciência, já que todos nós temos uma curiosidade natural sobre o misterioso passado da Terra e, consequentemente, sobre a nossa origem. Mas é importante lembrar que a diversidade da vida no passado vai muito além dos dinossauros. Muito antes de essas criaturas reinarem no planeta, inúmeras formas de seres vivos surgiram e se diversificaram, formando uma grande árvore da vida. A maioria delas já se extinguiu, mas algumas deixaram descendentes que ainda hoje habitam a Terra, como nós.

A TABELA DO TEMPO GEOLÓGICO

A tabela do tempo geológico, como vemos na **figura 1**, é dividida em Éons, Eras, Períodos e Épocas. Essa divisão não é arbitrária, ela reflete grandes acontecimentos que ocorreram nas histórias geológica e biológica da Terra. Assim, os Éons Arqueano e Proterozoico correspondem basicamente a grupos de rochas ígneas e metamórficas **(ver capítulo O CICLO DAS ROCHAS)** que formam grande volume da crosta continental, mas com um registro fóssil bastante escasso, composto de seres microscópicos. Somente no final do Proterozoico é que começaram a aparecer os primeiros seres multicelulares. Já o Éon Fanerozoico significa "vida visível", e reflete a fase em que a vida se tornou abundante no planeta. Cada uma das três Eras do Éon Fanerozoico – Paleozoica, Mesozoica e Cenozoica – ilustra um momento especial da história da Terra, e os limites entre as duas primeiras Eras são marcados por eventos de extinção em massa **(ver capítulo EXTINÇÃO: A OUTRA FACE DA EVOLUÇÃO)**. Dentro da Era Paleozoica ("vida antiga") estão vários períodos. O nome **Cambriano** vem de *Cambria*, que é o nome latino para Gales, onde suas rochas foram primeiramente estudadas. **Ordoviciano** vem de *Ordovices*, que é o nome de uma antiga tribo celta. **Siluriano** homenageia a tribo dos *Silures,* que habitava uma região de Gales. **Devoniano** remete a Devonshire, na Inglaterra onde estão expostas rochas dessa idade. O nome **Carbonífero** refere-se aos depósitos de carvão que se encontram acima das rochas devonianas. O nome **Permiano** foi dado porque rochas desta idade situavam-se próximas à província de Perm, na Rússia. A Era Paleozoica termina com o maior evento de extinção em massa de todos os tempos, a Extinção Permo-Triássica.

A Era Mesozoica ("vida do meio"), inclui os períodos **Triássico**, **Jurássico** e **Cretáceo**. O nome Triássico tem a ver com a divisão em três camadas das rochas de origem marinha dessa idade na Alemanha, as quais se sobrepõem às rochas paleozoicas. Jurássico faz referência às montanhas *Jura*, na Suiça; já Cretáceo vem do termo latino *Creta* que significa giz, relativo às rochas calcárias da França e Inglaterra.

A Era Cenozoica significa "vida recente". Ela inicia depois da grande extinção que marcou o final do período Cretáceo. É dividida em dois períodos: **Paleógeno** e **Neógeno**, cada um deles contendo épocas. O período em que vivemos é o Holoceno, que teve início há 11.000 anos, após a última grande glaciação da "Era do Gelo", no período **Pleistoceno**.

Ao nos depararmos com a tabela do tempo geológico, com suas divisões já bem estabelecidas, não nos damos conta de todo o conhecimento geológico e biológico que foi se acumulando ao longo dos séculos e que possibilitou a sua construção. Como a idade das rochas pôde ser estimada? Como os fósseis auxiliaram na tarefa de datação das rochas? Como se chegou à ideia de uma Terra muito antiga, com bilhões de anos? Como se chegou às idades que limitam cada período? Essas são algumas das questões que serão elucidadas nos próximos itens.

O TEMPO PROFUNDO

Até o final do século XVIII, a ciência ainda era muito influenciada pela religião e havia a crença de que a Terra era jovem, com não mais do que 6.000 anos de história. Essa idade havia sido estabelecida em 1650, pelo Arcebispo Ussher (religioso irlandês), que realizou um estudo minucioso baseando-se em todas as gerações apresentadas pela Bíblia, desde Adão e Eva, e calculando seu tempo médio de duração. Assim, segundo Ussher, a Terra foi criada no ano de 4004 a.C., no dia 23 de outubro, um domingo (Fairchild *et al*., 2000).

Mesmo com toda a influência da Igreja, naquela época havia cientistas que não aceitavam essa abordagem com base nas escrituras bíblicas e que tentavam entender a dinâmica da Terra através da observação das rochas e dos fenômenos geológicos. Foi James Hutton, na sua obra Teoria da Terra (*Theory of The Earth*), de 1795, quem mudou a tradicional visão de uma Terra jovem para uma Terra *"sem vestígio de um começo, sem perspectiva de um fim"*. Observando formações de rochas sedimentares da Escócia **(Figura 2)**, Hutton percebeu que estas eram produto da erosão de outras rochas, mais antigas ainda, e que as formações geológicas eram produtos de eventos que ocorreram na história do planeta em um tempo muitíssimo superior àquele apontado por Ussher. Assim, Hutton trouxe à tona o conceito de tempo profundo, um tempo de tal magnitude, que foge completamente aos padrões referenciais humanos.

A base das interpretações de Hutton estava no princípio do Uniformitarismo, que assume que as leis da natureza não mudam através dos tempos, portanto, os mesmos fenômenos naturais que hoje são observados na Terra também teriam agiram no passado. Um dos pontos fortes do trabalho de Hutton foi o reconhecimento das **discordâncias**, que se caracterizam por superfícies erosivas que separam dois pacotes de rochas, sendo o superior sempre formado por rochas sedimentares **(Figuras 2 e 3)**. Essas superfícies erosivas representam um hiato de tempo onde pode ter ocorrido deposição de camadas que sofreram erosão posterior ou, então, um grande período em que não ocorreu deposição de sedimentos. Assim, o reconhecimento das discordâncias trouxe evidências incontestáveis para o entendimento do tempo profundo. Cabe lembrar que Hutton, apesar de ter provocado uma quebra de paradigma, evidenciando a imensidão do tempo geológico, não dispunha na época de metodologias para medir este tempo em termos absolutos. Mais adiante vamos ver que datações absolutas de rochas, com base nos princípios da radiatividade, só vão se tornar possíveis no início do século XX.

Figura 1. Tabela mostrando as divisões do Tempo Geológico (baseada na Carta Estratigráfica Global da ICS (*International Comission on Stratigraphy*, 2013).

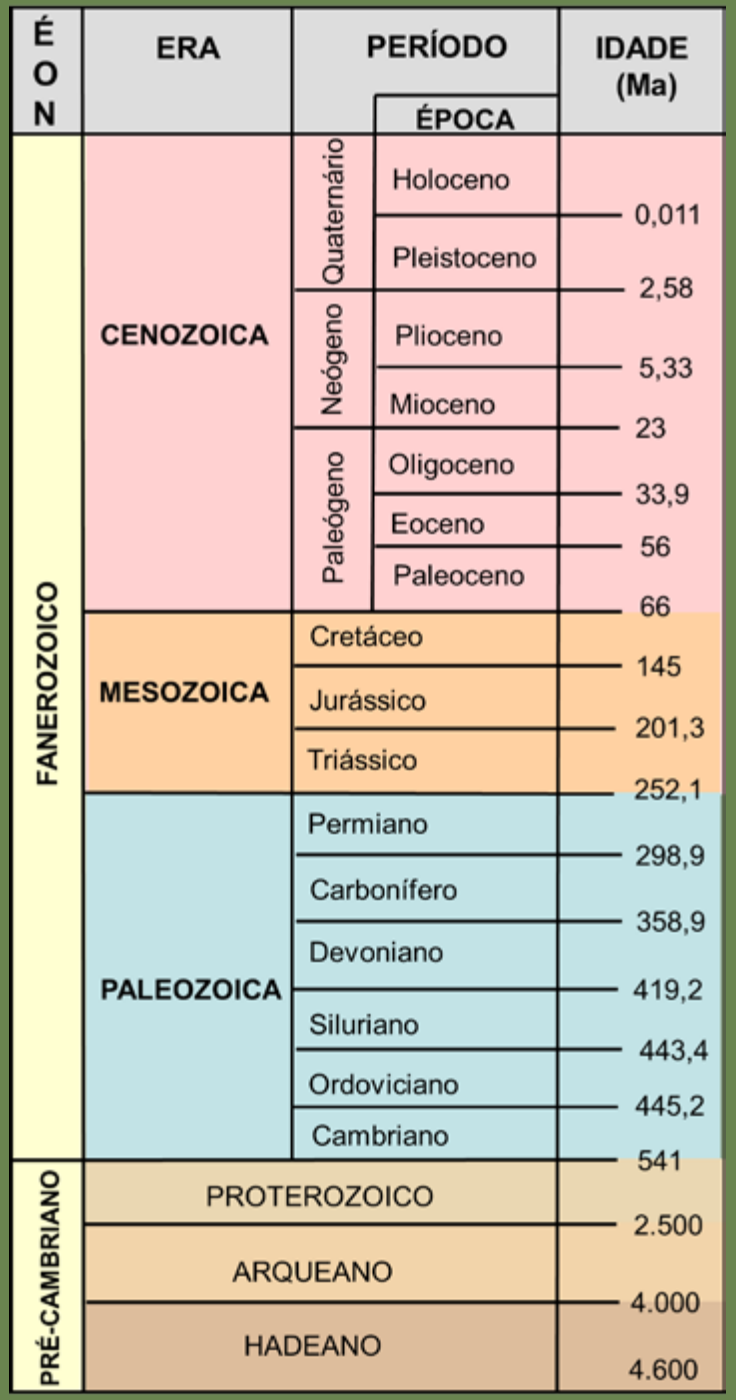
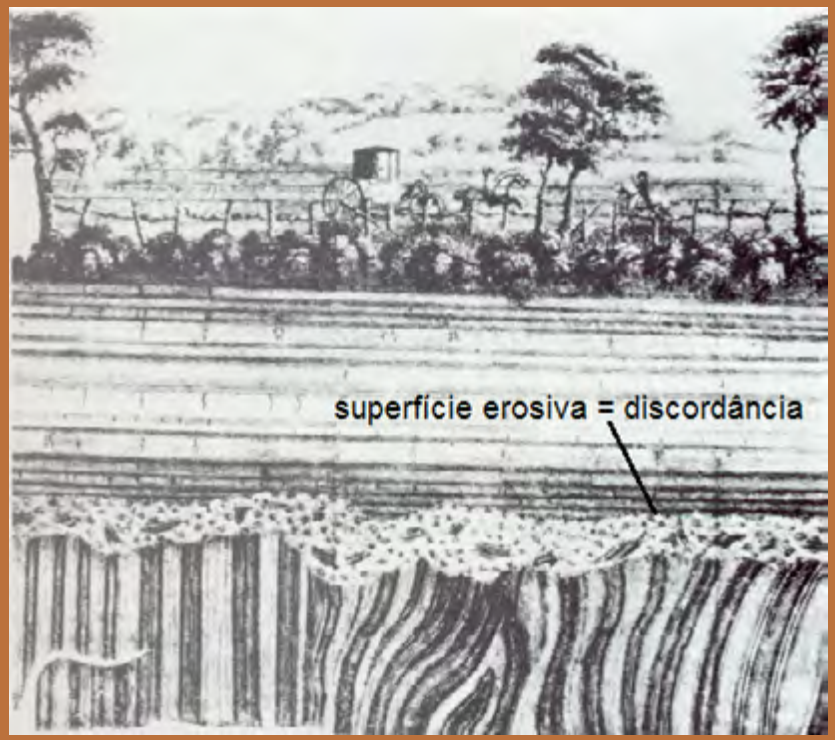


Figura 2. Representação de afloramento em Edimburgo, no sul da Escócia, ilustrado no livro Teoria da Terra (*Theory of Earth*) de James Hutton, 1795. Fonte: Gould (1991).



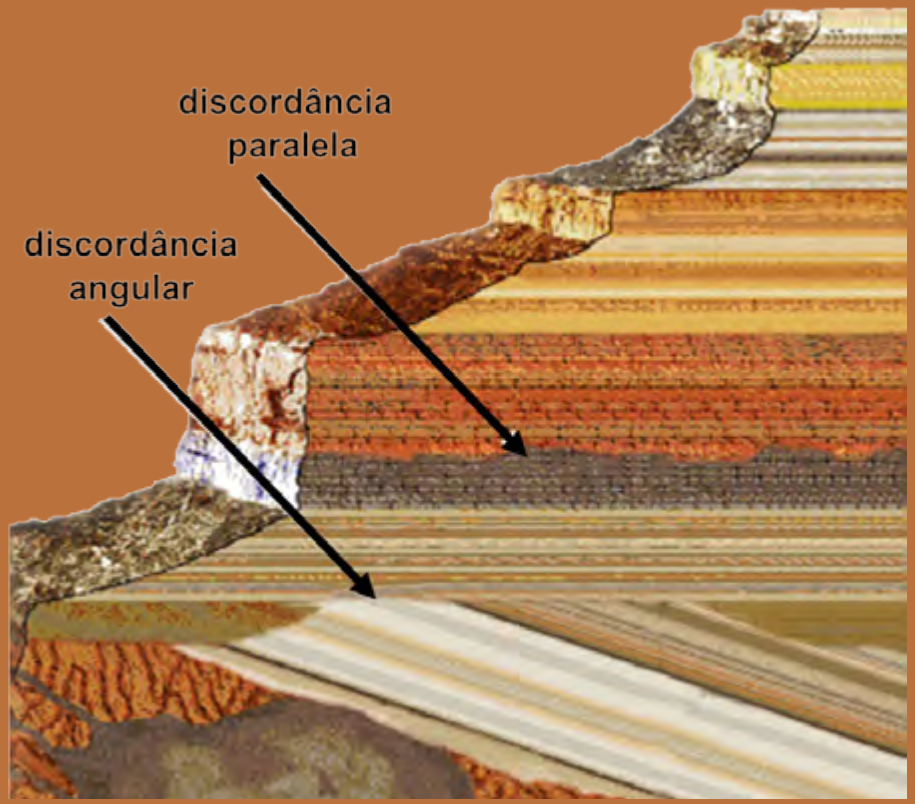


Figura 3. Diagrama mostrando dois tipos de discordâncias. Na discordância angular não ocorre paralelismo entre as camadas, e a superfície de discordância pode ser ou plana ou irregular. A camada inferior pode ser inclinada e a superior horizontal, ou ambas inclinadas, mas com ângulos diferentes. A inclinação pode ser resultado de dobras ou falhas sofridas pelas camadas **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES).** Na discordância paralela, ocorre uma superfície erosiva (irregular) que separa duas sequências de camadas paralelas entre si. Modificado de: http://elearning.stkc.go.th/lms/html/earth_science/LO-canada8/801/3_2en.htm.

Charles Lyell, já no século XIX, baseou-se no princípio do Uniformitarismo para escrever sua obra Princípios da Geologia (*Principles of Geology*, 1830), assumindo que os processos geológicos operaram lenta e gradualmente no passado da Terra, sem a ocorrência de grandes catástrofes. Segundo Lyell, "o presente é a chave para o passado".

OS PRINCÍPIOS DA ESTRATIGRAFIA

O grande *insight* de Hutton sobre a imensidão do tempo geológico teve sua fundamentação nos estudos de Steno (Nicolás Stenon, 1638 – 1686), considerado o "pai da estratigrafia". Steno contribuiu de forma essencial no entendimento de como se dá o empilhamento das camadas de rochas sedimentares. Ele estabeleceu três princípios que até hoje continuam sendo a base da estratigrafia (ramo das geologia que estuda as sequências de camadas de rochas sedimentares e a sua idade, buscando determinar os processos e eventos que as formaram). São eles:

Princípio da Superposição

Em qualquer sucessão de estratos de rochas (que não tenha sofrido deformação), o estrato mais antigo posiciona-se mais abaixo, com os estratos sucessivamente mais jovens, posicionando-se acima **(Figuras 4 e 5)**.

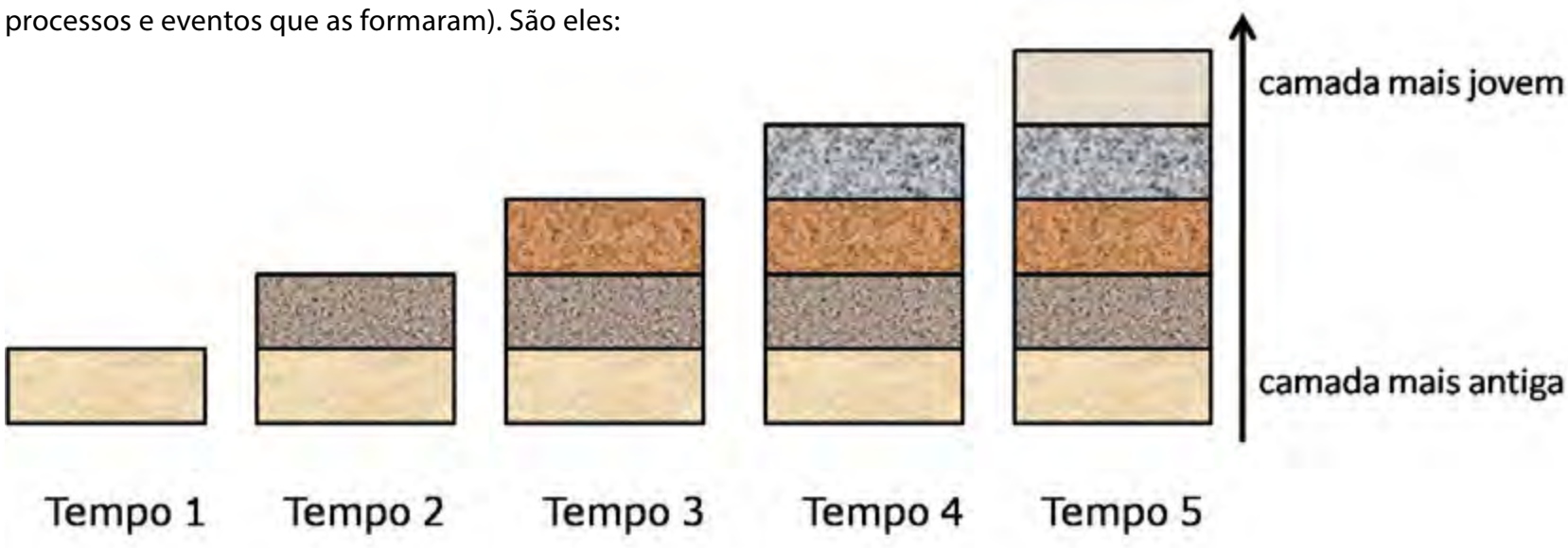


Figura 4. Diagrama ilustrando o Princípio da Superposição.

Princípio da Horizontalidade Original

Devido ao fato de as partículas sedimentares de um fluido acomodarem-se sob a influência da gravidade, a maior parte das estratificações deve ser horizontal; estratos inclinados, portanto, devem ter sofrido perturbação posterior **(Figura 5**).

Figura 5. Afloramento fossilífero da Formação Pimenteira no município de Picos, Piauí, mostrando as camadas depositadas horizontalmente (Princípio da Horizontalidade Original). Conforme o Princípio da Superposição, as camadas da base são mais antigas que as do topo da sequência. Foto: Luiza Ponciano.

Princípio da Continuidade Lateral Original

Estratos, originalmente, se estendem em todas as direções até que sua espessura chegue a zero, ou, então, até encontrarem os limites de sua área original ou bacia de deposição **(Figura 6)**.

Figura 6. Diagrama ilustrando o Princípio da Continuidade Lateral Original. As camadas foram depositadas de forma contínua, umas sobre as outras, de acordo com os Princípios da Superposição e da Horizontalidade Original , e estendendo-se lateralmente. Posteriormente, a erosão modificou a paisagem, restando apenas "testemunhos" da deposição rochosa original. Modificado de: Carneiro *et al.* (2005).

Steno esclareceu como as rochas sedimentares eram depositadas, mas não respondeu como se poderia saber se duas camadas de rocha com a mesma litologia, aflorando em duas áreas geográficas distintas, por exemplo, tinham ou não a mesma idade.

Vamos ilustrar esse fato com a seguinte situação: em uma região no sul do Brasil, um geólogo encontra uma sequência de 2 m de rochas composta por uma camada de calcilutito (calcário fino) sobre uma camada de arenito médio. Este geólogo viaja para o sul da África e lá encontra camadas praticamente idênticas de calcário fino e arenito médio com a mesma espessura de 2 m **(Figura 7)**.

Ele poderia afirmar com certeza que as duas sequências de rochas são contemporâneas, ou seja, foram depositadas em um mesmo tempo e, portanto fazem parte de um mesmo sistema deposicional? A resposta é NÃO! Esse "não" deve-se ao fato de que os mesmos tipos de rochas foram depositados em praticamente todos os tempos da história da Terra. Assim, as rochas da **figura 7** até poderiam ser contemporâneas, se fossem produto de um mesmo evento de deposição de sedimentos que ocorreu

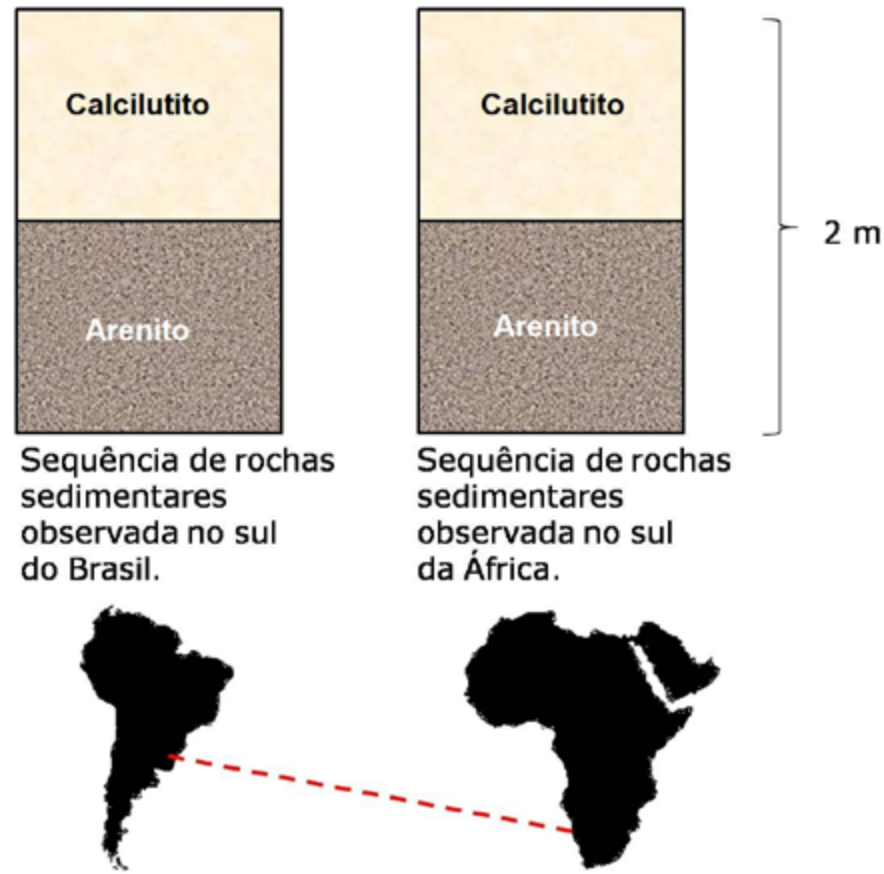


Figura 7. Diagrama mostrando a situação ilustrada no texto: sequências idênticas de rochas sedimentares (calcário e arenito), não necessariamente contemporâneas, em dois distintos continentes.

na época em que América do Sul e África estavam unidas (ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS GRANDES CONTINENTES). Mas, por outro lado, as rochas do Brasil poderiam, por exemplo, ter sido depositadas no período Devoniano, enquanto as rochas, praticamente idênticas, do sul da África, poderiam ter sido depositadas no período Permiano. Neste caso, os dois pacotes de rochas estariam separados por um "abismo" de mais de 60 milhões de anos.

Portanto, correlações temporais entre camadas de rochas não são possíveis de serem feitas com base apenas na litologia (composição mineral, tamanho dos grãos e estratificação). Como, então, resolver essa questão? É aí que os fósseis entram em cena, como vamos ver a seguir.

Mas antes de falarmos nos fósseis, vamos lembrar de dois outros princípios, postulados por James Hutton, que, junto com o conceito das discordâncias e com os princípios de Steno, auxiliaram no entendimento da sequência de empilhamento das rochas. São eles:

Princípio das Relações de Corte ou Intersecção

Uma rocha ígnea intrusiva que corta outra camada de rocha deve ser mais jovem que esta camada de rocha **(Figura 8)**.

Figura 8. Desenho esquemático mostrando o princípio das Relações de Corte ou Intersecção: um corpo de granito (rocha ígnea intrusiva) que penetrou em camadas de rochas sedimentares previamente depositadas (argilito e siltito).

Princípio das Inclusões

Uma rocha que inclui fragmentos de outra rocha deve ser mais jovem que a rocha que originou estes fragmentos **(Figura 9)**.

Para um maior aprofundamento dos princípios estratigráficos de Steno e Hutton, recomenda-se a leitura do texto "A determinação da idade das rochas", de Carneiro *et al.* (2005), publicado na Revista Terrae Didatica.

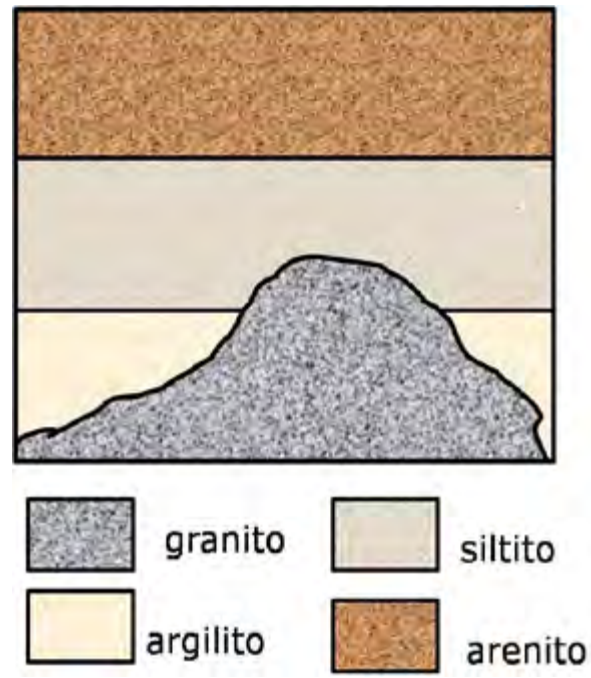


Figura 9. Desenho esquemático mostrando o princípio da Inclusões: uma camada de arenito com inclusões derivadas da camada mais antiga de diabásio.

O USO DOS FÓSSEIS COMO FERRAMENTAS PARA A DATAÇÃO RELATIVA E A CORRELAÇÃO TEMPORAL DAS CAMADAS DE ROCHAS

Na época de Steno e de Hutton, não só as estimativas de idade da Terra eram influenciadas pela Bíblia, como visto anteriormente, mas também os fósseis eram interpretados com base nas escrituras cristãs. De fato, desde a Grécia antiga os relatos envolvendo fósseis estão cercados de lendas, mitos e conotações de cunho religioso (ver artigo **Fósseis: mitos e folclore**, de Fernandes, 2005). Nesse contexto, ainda no século XIX os fósseis eram reconhecidos como restos de seres vivos que foram vitimados pelo grande Dilúvio Universal, configurando-se como "testemunhas-chave" deste evento bíblico.

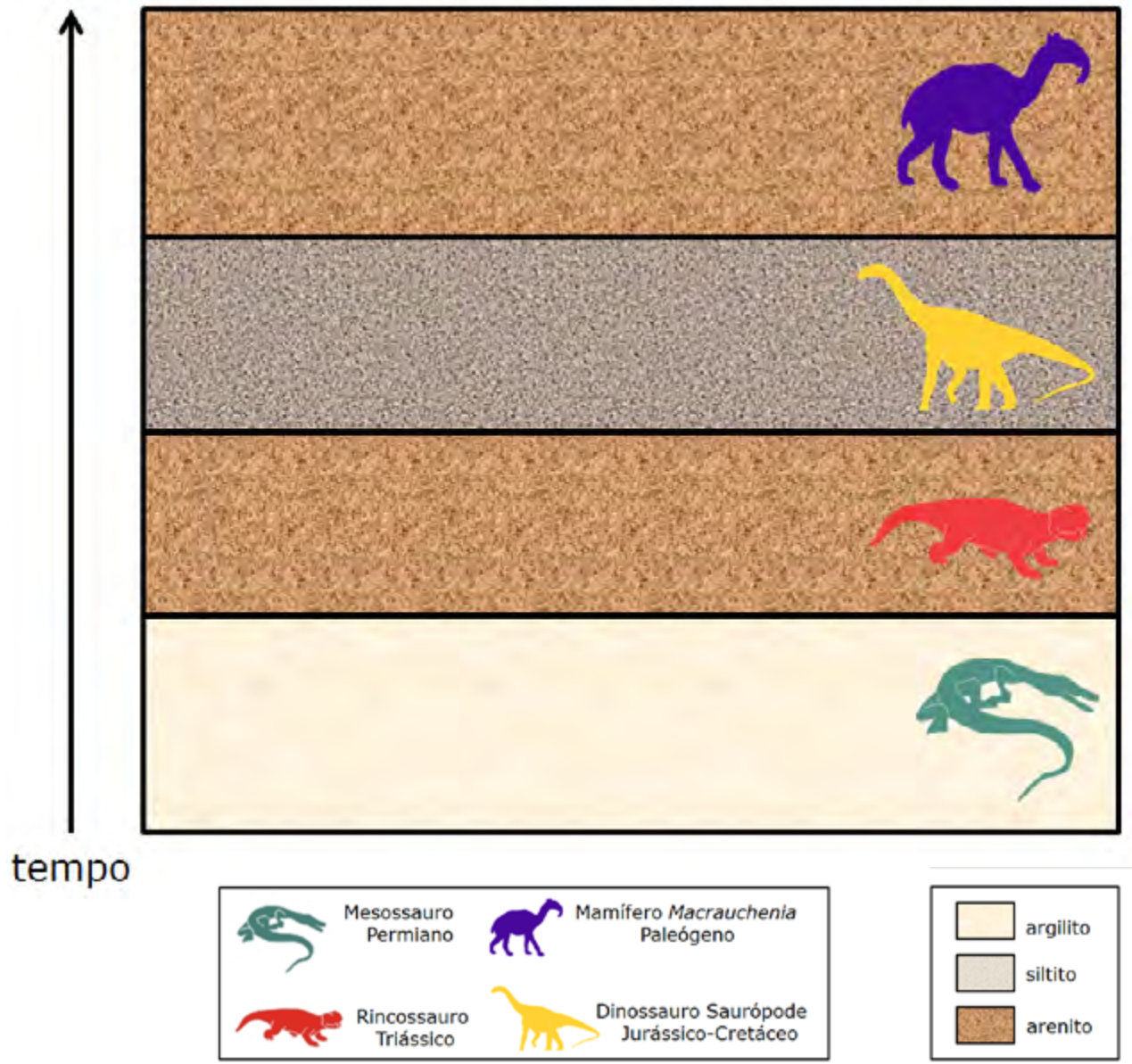
Foi a partir de estudos de alguns cientistas que não se contentavam com essas explicações místicas sobre os fósseis é que esse cenário começou a se modificar. Além dos fósseis passarem a ser entendidos como restos de seres vivos que habitaram a Terra em distintas épocas do Tempo Geológico, a partir dos princípios postulados por Steno e Hutton, foi possível um entendimento de como os fósseis contidos nas rochas sedimentares poderiam ser usados para auxiliar na estratigrafia.

Dois novos princípios, utilizando fósseis como ferramentas, se somaram aos princípios da estratigrafia. Esses princípios foram concebidos a partir dos estudos de Georges Cuvier (1769-1832), um francês paleontólogo/anatomista de vertebrados, e William Smith (1769-1839), um agrimensor inglês.

Cuvier, considerado o "Pai da Anatomia Comparada", enquanto prospectava fósseis de vertebrados nos arredores de Paris (especialmente de elefantes e mastodontes), começou a perceber que cada camada de rochas abrigava um conjunto de fósseis diferente das outras camadas (sobrejacentes e subjacentes). Verificou, também, que geralmente os fósseis das camadas mais inferiores apresentavam características mais primitivas do que os fósseis das camadas mais superiores, os quais, por sua vez, se assemelhavam mais aos animais atuais, e que isso se repetia em outras partes do planeta **(ver capítulo A EVOLUÇÃO SOB A PERSPECTIVA DO REGISTRO FÓSSIL)**. Segundo Cuvier, essa "Sucessão Faunística" era produto de extinções catastróficas que aconteceram de tempos em tempos na história da Terra. Assim, depois de cada evento de extinção, que dizimava a fauna inteira de uma determinada área, novos organismos provenientes de outros lugares ocupavam os ambientes vagos.

O inglês Willian Smith, enquanto realizava seus trabalhos de agrimensor em canais e minas nas propriedades rurais da Inglaterra, percebeu que as mesmas sucessões de rochas sedimentares afloravam em distintas regiões e que cada camada de rocha continha determinados fósseis. Ele percebeu, contemporaneamente a Cuvier, que fósseis ocorriam nas camadas de rocha em uma ordem específica, com os mais antigos posicionando-se nos estratos mais inferiores e, assim, sucessivamente, o que refletia uma sucessão temporal. Com isso, foi estabelecido o **princípio da Sucessão Fóssil** ou **Sucessão Biótica (Figura 10)**. Além disso, Smith observou que os mesmos fósseis podiam ser encontrados em rochas que afloravam em diferentes propriedades. Com isso, ele postulou o **princípio da Correlação Fóssil**, demonstrando que as camadas de rochas encontradas em áreas geograficamente distantes podiam ser correlacionadas pelo seu conteúdo fossilífero **(Figura 11).**

Figura 10. Diagrama esquemático ilustrando o princípio da Sucessão Biótica. A camada de argilito, da base, é a mais antiga e contém, igualmente, o fóssil mais antigo, o mesossauro do Permiano; a camada mais basal de arenito mostra um fóssil de rincossauro, típico do período Triássico; a camada de siltito deve ter uma idade entre 206 Ma e 65 Ma (intervalo correspondente aos períodos Jurássico e Cretáceo) devido à presença de fósseis de dinossauros saurópodes; por fim, a camada de arenito mais jovem, do topo, porta um mamífero do Paleógeno.



Assim, com o auxílio dos fósseis, estavam criadas as bases para um correto empilhamento das camadas de rochas e sua correlação temporal. Esse método é conhecido como **Correlação bioestratigráfica.** William Smith inaugurou um novo ramo da Paleontologia, a **Bioestratigrafia,** o qual se preocupa com a variação temporal e espacial do conteúdo fossilífero nas sucessões de camadas sedimentares, permitindo a sua **Datação Relativa**.

Cabe enfatizar que as correlações temporais (correlações estratigráficas) entre camadas de rocha situadas a longas distâncias são realizadas com a utilização de fósseis (gêneros, espécies) que reúnem uma série de características especiais. Estes são chamados de **fósseis-guia** ou **fósseis-índice**. Além da grande distribuição geográfica (cosmopolitismo), esses fósseis devem apresentar curta amplitude vertical (ter surgido e se extinguido rapidamente), devem ter rápida taxa de dispersão, devem ser facilmente identificáveis e devem ser abundantes. Os melhores fósseis-guia são organismos marinhos, de preferência, de hábito plantônico.

DATAÇÃO ABSOLUTA DAS ROCHAS

Os princípios de datação relativa, através do uso dos fósseis, permitiram, ainda no século XIX, a construção da tabela do tempo geológico. Esta foi primeiramente baseada em afloramentos fossilíferos de rochas sedimentares da Europa, sendo posteriormente estendida para outros continentes. Como já mencionado, os métodos de datação relativa possibilitam um correto empilhamento das ro-

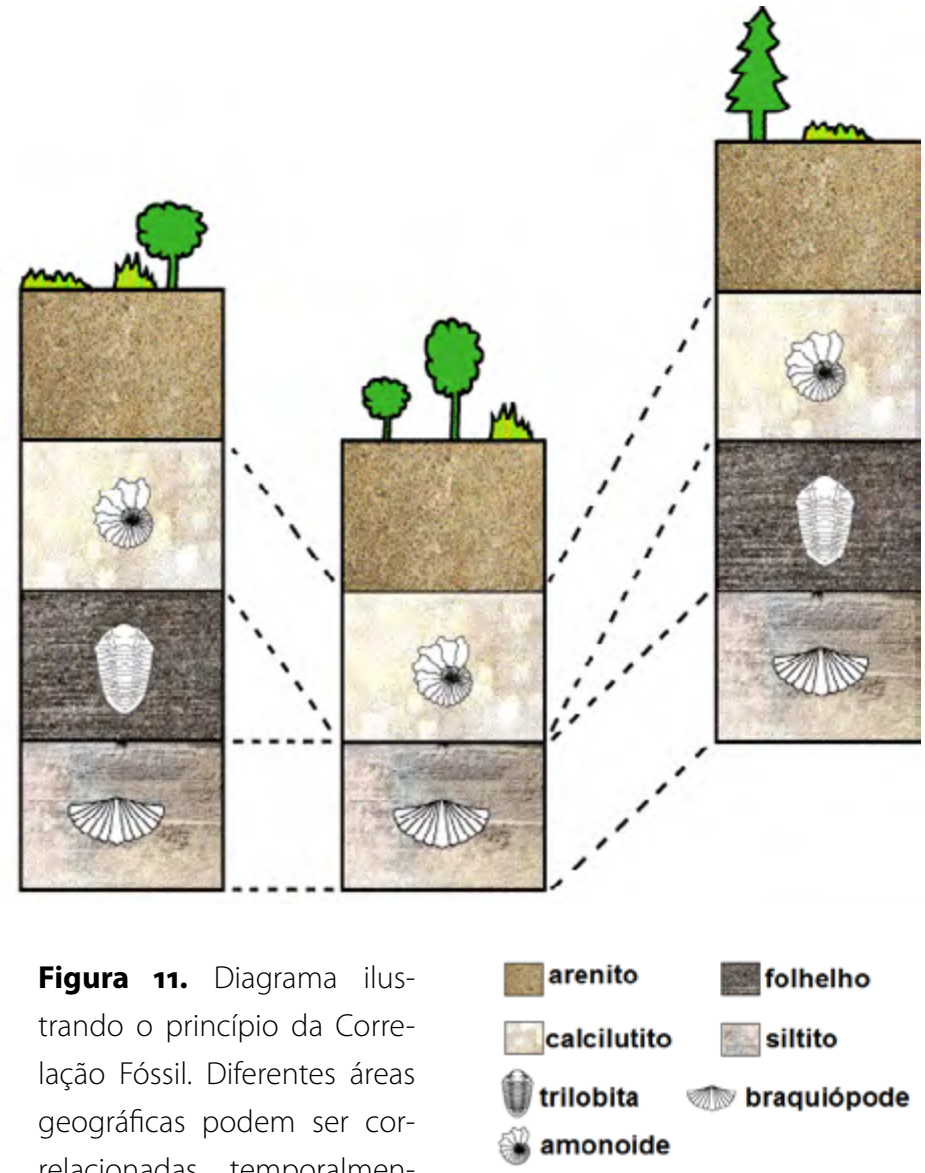


Figura 11. Diagrama ilustrando o princípio da Correlação Fóssil. Diferentes áreas geográficas podem ser correlacionadas temporalmente devido ao fato de compartilharem as mesmas espécies fósseis.

chas no tempo e a correlação de distintos pacotes de rochas, entretanto não fornecem dados para saber a idade absoluta (em números) das rochas.

Foi só no início do século XX que uma nova metodologia emergiu. Com a descoberta da radiatividade, e de que alguns elementos químicos presentes nas rochas emitiam radiação a taxas constantes, foi e de que alguns elementos químicos presentes nas rochas emitiam radiação a taxas constantes foi desenvolvido o método de **Datação Absoluta** das rochas. Para entendermos essa metodologia, vamos ter que compreender alguns conceitos sobre isótopos radiativos.

Isótopos radiativos e meia-vida

Na natureza, existem alguns elementos que apresentam isótopos, ou seja, elementos com o mesmo número atômico (Z), mas com diferentes números de massa (A). Um exemplo é o oxigênio, que possui três isótopos:

Oxigênio 16 (^{16}O): 8 prótons e 8 nêutrons (A = 16)
Oxigênio 17 (^{17}O): 8 prótons e 9 nêutrons (A = 17)
Oxigênio 18 (^{18}O): 8 prótons e 10 nêutrons (A = 18)

No caso do oxigênio, esses isótopos são estáveis. Há, porém, outros elementos que são instáveis na natureza e, devido a isso, têm a tendência a se transformar em outro elemento mais estável. Esses são os chamados isótopos radiativos. Nessa transformação, denominada **decaimento radiativo**, radiação é emitida e calor é liberado. O decaimento radiativo é um processo lento que ocorre a uma taxa constante chamada **meia-vida**.

Um dos isótopos radiativos mais conhecidos é o Carbono 14 (^{14}C). Isótopo do carbono é o Carbono 12 (^{12}C), muito mais abundante. O ^{12}C apresenta 6 prótons e 6 nêutrons, enquanto o ^{14}C apresenta 6 prótons e 8 nêutrons. Como o ^{14}C é instável, ele tem a tendência de se transformar em Nitrogênio 14 (^{14}N). Assim, a cada meia-vida, metade dos átomos originais de ^{14}C presentes em uma amostra vão se transformar em átomos de ^{14}N. A meia-vida do ^{14}C é de 5.730 anos. Isso significa que a cada 5.730 anos metade dos átomos do isótopo original ^{14}C (isótopo-pai) se transformarão em átomos do isótopo-filho (^{14}N) **(Figura 12)**.

Como o ^{14}C pode ser usado na datação de materiais orgânicos antigos, como, por exemplo, os ossos? A explicação é que os vegetais, ao realizarem a fotossíntese, absorvem CO_2. Este CO_2 é composto tanto por átomos de ^{12}C (99%) quanto de ^{14}C. Os animais, que são consumidores na cadeia alimentar, incorporam em seus tecidos parte do Carbono presente nos vegetais, na forma de glicose ($C_6H_{12}O_6$), produzida através da fotossíntese. Ossos são tecidos vivos que acumulam Carbono, seja na forma de ^{12}C quanto de ^{14}C e, portanto, a proporção de ^{14}N em relação ao ^{14}C em um osso antigo, nos fornecerá o número de meias-vidas transcorridas e, por consequência, a idade daquele osso.

A datação por $^{14}C/^{14}N$ é utilizada em materiais não muito antigos, como por exemplo, múmias egípcias com alguns poucos milhares de anos. Materiais mais velhos que 70.000 anos não são passí-

veis de datação por ^{14}C. Por quê? Para responder a essa questão, vamos lançar mão de uma analogia.

Imagine uma festa de aniversário em que é servida uma torta deliciosa. Todos os convidados recebem a sua fatia, restando uma última fatia no prato da torta. Cada convidado, depois de saborear a sua fatia, fica de olho na fatia que restou, mas ninguém tem coragem de comer a fatia inteira, pois não "pega bem". Assim, um dos convidados se enche de coragem e corta metade da fatia, deixando a outra metade no prato. Um segundo convidado vai lá e corta metade da metade da última fatia. Um terceiro convidado corta, então, a metade da metade da metade, e assim por diante. Vai chegar um momento em que não há mais sequer um farelo da torta original no prato, como mostrado na **figura 13**, pois cada fatia 1, 2, 3, 4, 5 e 6 corresponde à metade da espessura da fatia anterior.

Voltando aos isótopos, é exatamente isso que ocorre durante o decaimento radiativo. A cada meia-vida, metade dos átomos originais (isótopos-pais) decai, transformando-se em isótopos-filhos.

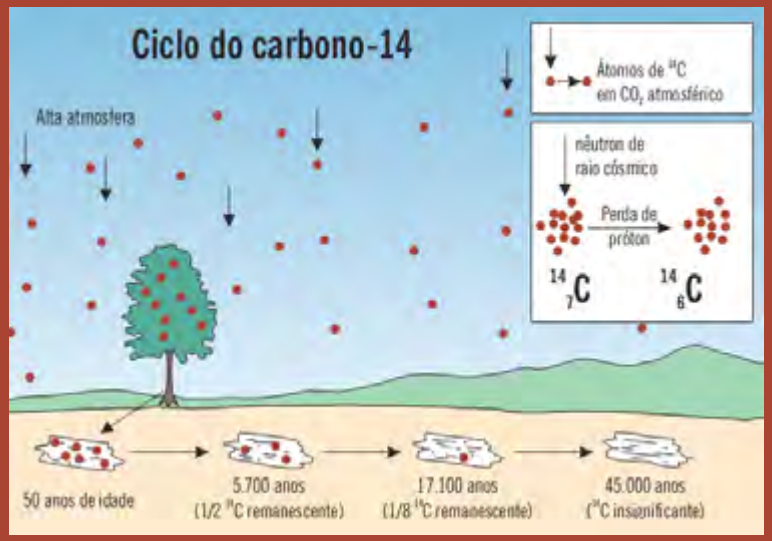


Figura 12. Formação do Carbono 14, através do bombardeio de átomos de nitrogênio por raios cósmicos e seu decaimento radiativo. Fonte: CARNEIRO *et al.* (2005).

Figura 13. Representação esquemática da analogia sobre meia-vida referida no texto. Os números indicam a sequência de fatias cortadas da torta.

A tabela abaixo resume o que aconteceria com uma amostra contendo 1.000 átomos de ^{14}C.

Meia-Vida (5.730 anos)	^{14}C (isótopos-pais)	^{14}N (isótopos-filhos)
Tempo zero	1000	0
1 meia-vida	500	500
2 meias-vidas	250	750
3 meias-vidas	125	875
4 meias-vidas	62,5	937,5
5 meias-vidas	31,25	968, 75
6 meias-vidas	15,75	984,5
7 meias-vidas	7,875	992,375

E assim por diante...

Se representarmos o decaimento radiativo na forma de um gráfico, vamos observar que a redução dos isótopos-pais é diretamente proporcional ao aumento dos isótopos-filhos ao longo do tempo transcorrido (meias-vidas) **(Figura 14)**.

Voltando à analogia da torta, fica mais claro agora, entender porque o ^{14}C não se presta para datação de amostras mais antigas que 70.000 anos. Segundo a tabela acima, em sete meias-vidas somente 7,875 (0,007875%) dos 1000 isótopos-pais permanecem na amostra. Bom, se o ^{14}C, com sua meia-vida de 5.730 anos, não possibilita datação de materiais muito antigos, existem isótopos que permitem isso? A resposta é sim... e não. Há de fato isótopos radiativos com meias-vidas muito superiores à do ^{14}C (ver tabela a seguir).

Todavia, o que acontece é que esses elementos não estão presentes na composição química dos tecidos dos seres vivos e, portanto, não vão estar presentes em um resto orgânico fossilizado. Assim, infelizmente, esta metodologia não serve para datar fósseis. Mas pode ser aplicada na datação de rochas.

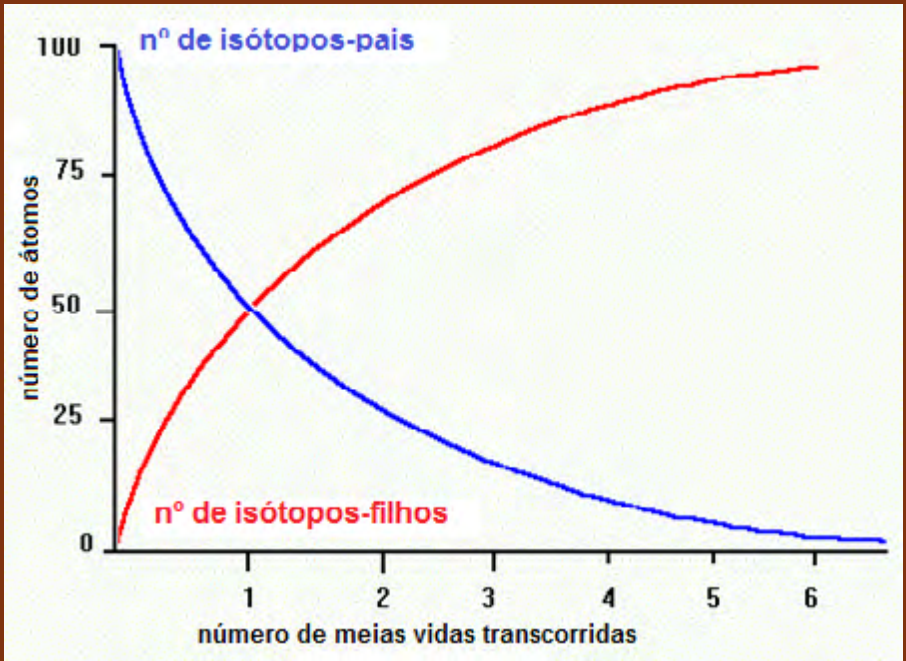


Figura 14. Gráfico ilustrando o decaimento radiativo de isótopos-pais a cada meia-vida, em azul, comparado ao aumento na proporção de seu isótopos-filhos, em vermelho.

Isótopo-pai	Isótopo-filho	Meia-Vida em anos
Urânio-238	Chumbo-206	4,5 bilhões
Urânio-235	Chumbo-206	704 milhões
Tório-232	Chumbo-208	14 bilhões
Rubídio-87	Estrôncio-87	48,8 bilhões
Potássio-40	Argônio-40	1,25 bilhões

A datação absoluta das rochas baseia-se na premissa de que uma rocha é um "sistema fechado", cuja composição química não sofre alterações por influência de fatores externos. Sendo assim, qualquer alteração química que ocorrer na rocha será devida ao decaimento radiativo dos isótopos instáveis presentes nessa rocha desde o momento de sua cristalização. Isso é válido para rochas ígneas, a partir de sua cristalização, e para rochas metamórficas depois de sua recristalização **(ver capítulo O CICLO DAS ROCHAS)**. As rochas sedimentares, formadas por partículas dos outros tipos de rocha (ígneas e metamórficas) ou, ainda por partículas de outras rochas sedimentares e restos esqueletais de organismos, não podem ser datadas pelos tradicionais métodos baseados em isótopos radiativos. Isso se deve ao fato de que é impossível saber quando determinado isótopo foi incorporado à rocha sedimentar.

A datação absoluta das rochas é feita por um equipamento denominado Espectrômetro de Massa. Foi com esta metodologia que as rochas mais antigas preservadas na Terra foram datadas. São zircões de 4,4 bilhões de anos (Ga) que ocorrem na Austrália (Conglomerado de Black Hills). Cristais de Zircônio são formados por resfriamento de rochas ígneas. Na formação dos cristais, parte do material presente no momento da cristalização fica ali retido. A datação absoluta se dá pelo método $^{238}U/^{206}P$ (ver texto "**A Terra esfriou mais cedo?**" de J. Valley, publicado na revista *Scientific American* Brasil). Já a idade de 4,6 Ga inferida para a Terra (Patterson, 1956) é baseada em meteoritos que atingiram a Terra na época de sua formação (Fairchild *et al*. 2000).

INTEGRANDO PRINCÍPIOS E MÉTODOS DE DATAÇÃO

Se a tabela do tempo geológico é baseada em pacotes de rochas sedimentares fossilíferas, que não são passíveis de datação por métodos de isótopos radiativos, então, como a datação absoluta auxiliou no refinamento das idades dos Éons, Eras, Períodos, etc.? Bem, em muitos locais onde afloram rochas sedimentares, ocorrem, também, rochas ígneas, como, por exemplo, cinzas vulcânicas, intrusões de granito, derrames de basalto, etc., que podem ser datadas em termos absolutos.

Assim, mesmo não sendo possível quantificar em números a idade das rochas sedimentares aflorantes na superfície terrestre, pode-se de tempos em tempos obter as idades absolutas de rochas ígneas, que vão limitar temporalmente as rochas sedimentares dentro de determinado intervalo.

Na **figura 15**, a intrusão de granito foi datada por um espectrômetro de massa, em 180 milhões de anos (Ma), a camada de diabásio em 150 Ma, e a camada de cinza vulcânica, foi datada em 100 Ma de anos. Assim, podemos saber que a camada de argilito, na base da sequência, é mais antiga que 180 Ma (porque foi intrudida pelo granito). A camada mais inferior de arenito grosso é mais jovem que 180 Ma por conter inclusões de granito (Princípio das Inclusões) e mais antiga que 150 Ma (porque foi

cortada pelo diabásio). Este mesmo intervalo de tempo é inferido para a camada mais superior de argilito. A camada intermediária de arenito grosso é mais jovem que 150 Ma (pois apresenta inclusões de basalto) e mais antiga que 100 Ma (por ter sido depositada antes da camada de cinza vulcânica). A fina camada de arenito grosso, acima da camada de cinza vulcânica, é mais jovem que 100 Ma. Também sabemos que a camada de arenito fino, acima da fina camada de arenito grosso, também é mais jovem que 100 Ma.

Esse exemplo nos permite entender como o "casamento" entre os métodos de datação relativa e os métodos de datação absoluta permitiu o atual nível de refinamento da tabela do tempo geológico. Este mesmo procedimento é usado para se datar os fósseis inseridos nas camadas de rochas sedimentares.

Com isso, o trilobita inserido na camada inferior de arenito grosso, bem como o braquiópode da camada de argilito, teriam uma idade entre 180 e 150 Ma; o amonoide seria mais jovem que 150 Ma, porém mais antigo que 100 Ma, pois está abaixo da camada de cinza vulcânica. Por fim, o equinodermo do arenito fino seria mais jovem que 100 Ma.

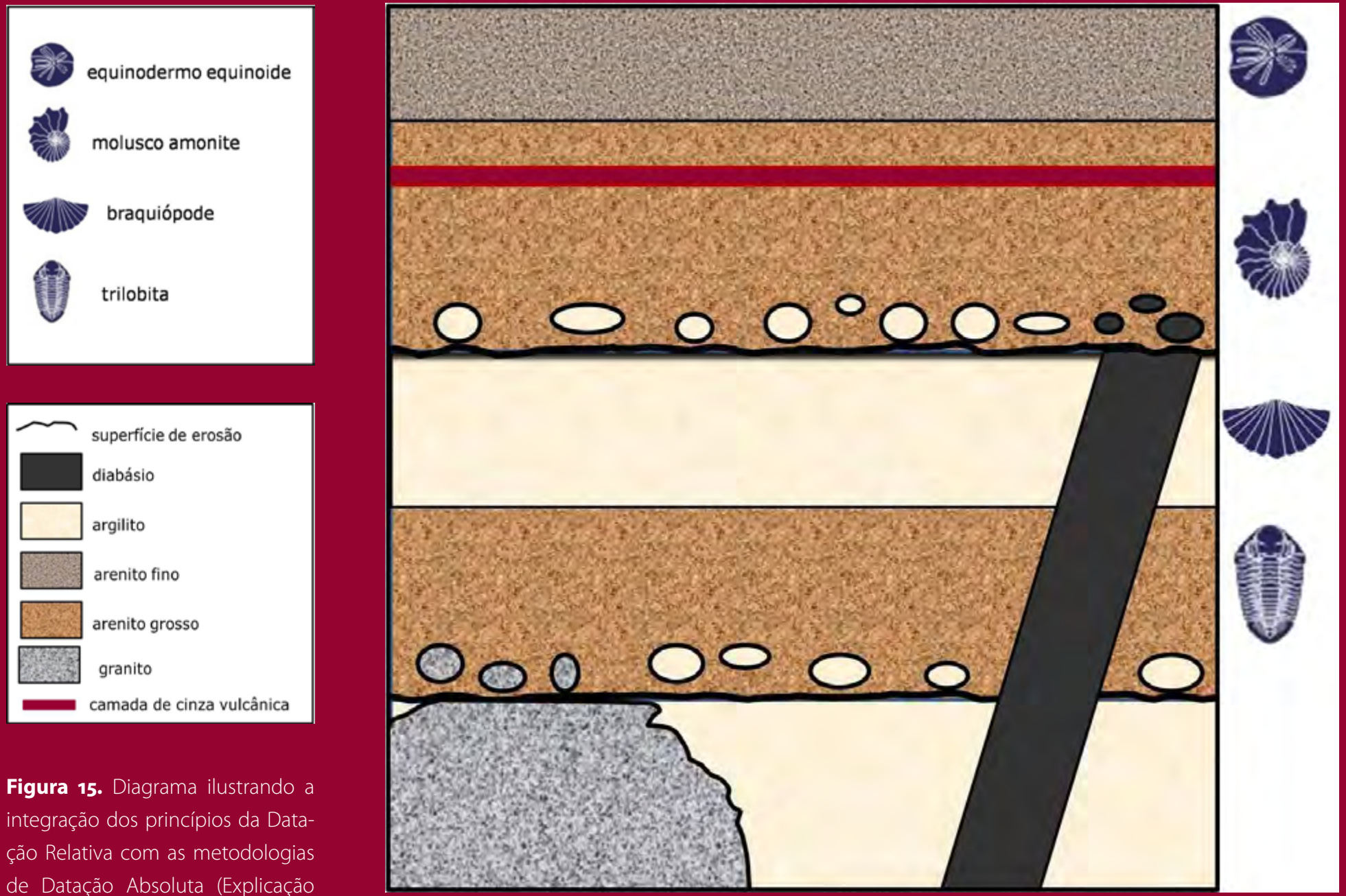


Figura 15. Diagrama ilustrando a integração dos princípios da Datação Relativa com as metodologias de Datação Absoluta (Explicação no texto).

REFERÊNCIAS

CARNEIRO, C. D. R.; MIZUSAKI, A. M. P. & ALMEIDA, F. F. M. 2005. A determinação da idade das rochas. Terrae Didatica 1(1):6-35.

DOTT, R. H. & PROTHERO, D. R. 1994. Evolution of the Earth. McGraw-Hill, 569 p.

FAIRCHILD, T. R.; TEIXEIRA, W. & BABINSKI, M. 2000. Em busca do passado do planeta: tempo geológico. In: W. M. TEIXEIRA; M. M. TOLEDO; T. R. FAIRCHILD & F. TAIOLI (eds.), Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, p. 320-326.

FERNANDES, A. C. S. 2005. Fósseis: mitos e folclore. Anu. Inst. Geocienc. 28(1): 101-115.

GOULD, S. J. 2001. Lance de dados. Rio de Janeiro: Record, 332p.

GOULD, S. J. 1991. Seta do Tempo, Ciclo do Tempo: mito e metáfora na descoberta do tempo geológico. São Paulo: Companhia das Letras, 221p.

GRADSTEIN, F. M. & OGG, J. G. 2004. Geologic Time Scale – why, how, and where next! Lethaia 37: 175-181.

PATTERSON, C. 1956. Age of meteorites and the Earth. Geochimica et Cosmochimica Acta 10(4): 230-237.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Aplicanado os Princípios Básicos da Estratigrafia
Princípios da Estratigrafia em Blocodiagramas
Datação absoluta de rochas
Os fósseis e a datação relativa
Integrando métodos de datação
Tabela do Tempo Geológico em Escala
Calendário do Tempo Geológico
A idade da Terra
Jogo Vida em camadas
Jogo Navegator 100
Jogo Corrida Paleontológica

O Cambriano foi caracterizado por uma "explosão de vida", onde são registrados vários grupos de animais que têm representantes viventes até hoje, e outros grupos sem vinculação com qualquer animal conhecido. O registro de animais com partes duras mineralizadas se torna abundante no Cambriano, como por exemplo, moluscos e braquiópodes. Os mares do Cambriano eram hábitats para trilobitas, graptozoários, braquiópodes, moluscos e arqueocitacídeos. Algas calcárias também proliferavam. Importantes faunas do Cambriano são as encontradas na Província de Chengjiang, na China (que contem os primeiros vertebrados fósseis) e no Folhelho de Burgess, nas Montanhas Rochosas do Canadá. **Volte para o texto**

Ordoviciano (484 - 443 Ma)

No Ordoviciano, houve um aumento considerável na biodiversidade, com a formação de cadeias alimentares mais complexas, devido à maior diversificação das estratégias alimentares dos organismos e a um teor mais rico de oxigênio nos mares. Os primeiros corais (rugosos e tabulados) apareceram no registro fóssil. Comunidades marinhas típicas do Ordoviciano eram formadas por moluscos cefalópodes e gastrópodes, braquiópodes, crinoides, corais e graptólitos. Algas proliferavam nos mares e os trilobitas ainda eram abundantes nesta época. No Ordoviciano são registrados os vertebrados, ostracodermes, conhecidos como "peixes" sem mandíbula. O final do Ordoviciano é marcado por intensa glaciação que foi responsável pela extinção de muitas espécies habitantes de mares rasos. **Volte para o texto**

Siluriano (442- 419 Ma)

Os organismos que sobreviveram à extinção do Ordoviciano adaptaram-se às condições climáticas mais frias do início do Siluriano. Ao longo do período, as condições tornaram-se mais amenas, o que provocou um descongelamento de grandes massas glaciais. Com isso, houve um aumento no nível dos mares. No final do Siluriano, as comunidades voltam a atingir o grau de complexidade similar àquela do Ordoviciano. Os primeiros recifes de coral. Trilobitas não eram mais tão abundantes, mas crinoides e graptólitos proliferaram nos mares. Os maiores predadores do Siluriano eram os moluscos cefalópodes nautiloides e os euripterídeos, escorpiões marinhos que podiam atingir até 2 m. Os "peixes" ostracodermes diversificaram-se e os peixes ósseos e cartilaginosos surgiram neste período. Os primeiros fósseis de plantas avasculares são registrados em ambiente continental, juntamente com fósseis de artrópodes, o que deu início à colonização do ambiente terrestre. **Volte para o texto**

Devoniano (418 - 358 Ma)

Os mares devonianos eram habitados por trilobitas, braquiópodes, euripterídeos, equinodermos e corais. Os moluscos cefalópodes nautiloides começaram a ser substituídos pelos cefalópodes amonoides, com suas conchas enroladas. Nos mares, todos os grupos de "peixes" conviviam: ostracodermes, placodermes, acantódios, peixes ósseos e peixes cartilaginosos. Ambientes de água doce também exibiam abundante fauna de peixes. Foi neste período que, a partir de um grupo de peixes ósseos com nadadeiras lobadas, os sarcopterígios, que surgiram os primeiros tetrápodes. Na terra, as primeiras plantas vasculares e, também, as primeiras plantas com sementes surgiram, atingindo alguns metros de altura. Os artrópodes passavam por franca expansão. As cadeias alimentares no ambiente terrestre também se tornaram complexas. Ao final do Devoniano, ocorreu um evento de extinção que afetou principalmente as comunidades marinhas. Vários grupos de peixes foram eliminados. **Volte para o texto**

Carbonífero (357 - 299 Ma)

Os maiores depósitos de carvão do Hemisfério Norte provêm deste período, originados das exuberantes florestas de clima úmido e tropical que cobriam os continentes. Na parte sul (Gondwana), ainda reinava um clima muito frio, com intensa glaciação. Invertebrados como braquiópodes, briozoários, moluscos cefalópodes amonoides, gastrópodes, bivalves e crinoides eram abundantes nos mares. Os trilobitas já estavam em declínio nesta época. Dentre os peixes, os ósseos e os cartilaginosos dominavam os mares. Na terra, habitando as grandes florestas havia uma rica fauna de artrópodes, que eram fonte alimentar dos primeiros tetrápodes terrestres, os anfíbios. Estes eram bastante diversificados, com formas atingindo cerca de 2 m. Ao final do Carbonífero surgiram os primeiros tetrápodes amniotas, animais que não mais dependiam da água para sua reprodução. Sua fecundação passou a ser interna e os embriões passaram a ser protegidos por um ovo com casca e por um envoltório chamado âmnio, que conferia maior proteção contra a desidratação. Assim, os tetrápodes puderam se dispersar mais amplamente ao longo das massas de terra. **Volte para o texto**

Permiano (298 - 252 Ma)

No Permiano, a glaciação do hemisfério sul chegou ao fim, o que gerou um melhoramento climático. Foi no Permiano que todas as massas de terra começaram a se unir e formaram o supercontinente Pangeia. O choque das placas continentais gerou uma série de eventos climáticos, como o soerguimento de montanhas e mudanças no regime de circulação dos ventos, o que fez com que as regiões mais internas da Pangeia sofressem intensa aridização. Nas médias e altas latitudes da parte sul, regiões com clima mais temperado, desenvolveu-se a "Flora *Glossopteris*", característica do período. As gimnospermas iniciaram sua ascensão no Permiano. Os aminotas espalharam-se por todos os continentes e passaram, também, a explorar ambientes aquáticos, como o fizeram os mesossauros. A diversificação dos amniotas se deu em duas grandes linhagens: a linhagem Diapsida, que inclui os répteis e as aves, e a linhagem Synapsida, que inclui grupos extintos como pelicossauros, dicinodontes, cinodontes, e que hoje é representada apenas pelos mamíferos. Os pelicossauros, alguns com suas "velas" dorsais, eram os predadores que dominavam os ecossistemas terrestres do Permiano. Ao final do período ocorreu o maior evento de extinção em massa da história da Terra, que dizimou 95% das espécies marinhas, entre elas todas as espécies de trilobitas, corais rugosos e tabulados. Na terra, os pelicossauros, outros grupos de sinápsidos e muitos anfíbios foram extintos. **Volte para o texto**

Triássico (251 - 201 Ma)

O Triássico foi um período de transição, onde as terras e os mares foram recolonizados, depois da grande extinção permiana. Durante todo o período, a Pangeia se manteve unida, o que conferiu um cosmopolitismo às faunas terrestres, pois, devido à continuidade das massas de terra, não havia muitas barreiras à dispersão. O clima manteve-se uniforme, quente e seco. Estas condições climáticas ocasionaram mudanças florísticas. Na parte sul da Pangeia, a "Flora *Glossopteris*" do Permiano foi substituída pela "Flora *Dicroidium*", caracterizada por plantas com cutículas mais espessas. As gimnospermas se desenvolveram em cicadáceas e ginkgos e, no fim do período, surgiram as coníferas. Muitos novos grupos de tetrápodes também surgiram no Triássico, como as tartarugas, os crocodilos, os pterossauros, os dinossauros, os ictiossauros, os plesiossauros e os mamíferos. Nos mares, tubarões e peixes ósseos eram abundantes. Dentre os invertebrados, surgiram os escleractíneos, que são os atuais corais construtores de recifes. Moluscos cefalópodes amonoides e belemnoides eram bastante comuns, além de moluscos bivalves, gastrópodes e equinodermos. **Volte para o texto**

Jurássico (200 - 145 Ma)

Os mares jurássicos eram repletos de peixes e répteis marinhos, como os ictiossauros e os plesiossauros. Dentre os invertebrados, se destacavam esponjas, corais, briozoários, moluscos gastrópodes, bivalves e grandes moluscos cefalópodes amonoides, bem como belemnoides. Os ares eram dominados pelos pterossauros, mas na metade do período as aves também passaram a ocupar os céus. No ambiente terrestre, as gimnospermas eram as plantas mais bem representadas com cicas, ginkgos e coníferas. Uma grande variedade de artrópodes, como insetos, aranhas e escorpiões, estavam presentes. Crocodilos eram abundantes e os dinossauros eram os "senhores da terra" exibindo grande diversificação entre as formas herbívoras – ornitísquios e saurópodes – e formas carnívoras – os terópodes. Os mamíferos, em sua maioria insetívoros e de hábitos noturnos, eram animais de pequeno porte e compunham as faunas de microvertebrados. O Pangeia iniciou sua fragmentação no Jurássico. **Volte para o texto**

Cretáceo (145 - 66 Ma)

Nos mares cretáceos, havia abundância de esponjas, moluscos cefalópodes amonoides, equinodermos, como os ouriços, e crustáceos; recifes eram formados, principalmente, por bivalves rudistas, muito semelhantes aos extintos corais rugosos, além dos corais escleractíneos. Os braquiópodes declinaram em diversidade. Os moluscos gastrópodes modernos, os neogastrópodes, surgiram neste período. Peixes ósseos modernos (teleósteos) e tubarões passaram por intensa irradiação. Os ictiossauros estavam em declínio, mas os mosassauros (lagartos marinhos) eram predadores vorazes nos mares. Plesiossauros de pescoços muito longos são também registrados. É no Cretáceo que ocorre a abertura do oceano Atlântico, devido à separação entre a América do Sul e a África. No ambiente continental, surgiram as angiospermas, primeiras plantas com flor, que passaram a conviver com as bem estabelecidas gimnospermas. Muitos grupos de insetos com representantes atuais surgiram neste período, desenvolvendo estreitas relações ecológicas com as angiospermas. Dentre os tetrápodes terrestres abundavam as tartarugas, os crocodilos, lagartos e anfíbios anuros. Os três grupos de mamíferos atuais – monotremos, marsupiais e placentários – têm sua origem no Cretáceo. Novas famílias de dinossauros surgiram, como os ceratopsídeos e, convivendo com as aves, estavam várias espécies de dinossauros terópodes com penas. Formas gigantes de pterossauros se desenvolveram, apesar de o grupo estar em declínio. As aves iniciaram uma franca irradiação adaptativa neste período.

O final do Cretáceo é marcado pelo evento de extinção em massa que eliminou os dinossauros não-avianos, os répteis marinhos, os pterossauros, entre outras espécies marinhas.

Volte para o texto

Paleógeno (66 - 23 Ma)

O Paleógeno é dividido em três épocas: Paleoceno, Eoceno e Oligoceno. Os mares do Paleógeno eram habitados por moluscos gastrópodes e bivalves, lulas, ouriços-do-mar, tubarões e peixes ósseos. Os foraminíferos eram abundantes. O início do Paleógeno é caracterizado como um tempo em que a Terra apresentava uma série de nichos vagos, antes ocupados pelos animais extintos no Cretáceo. Muitos desses nichos, relacionados aos dinossauros, foram ocupados pelos mamíferos que, a partir disso, sofreram intensa irradiação. Os continentes, que no Cretáceo passaram por franca deriva, atingiram uma configuração muito semelhante à atual. Entretanto, as Américas estavam separadas, o que ocasionou o desenvolvimento de uma fauna peculiar de mamíferos na América do Sul, especialmente marsupiais. No Paleoceno, as plantas e os insetos eram similares aos atuais, mas os mamíferos ainda eram animais, na sua maioria, pequenos. No Eoceno, enquanto os mamíferos evoluíam em terra, nos mares surgiram as primeiras baleias. Os mamíferos ungulados (artiodáctilos e perissodáctilos), aparentados às baleias, começaram a ficar abundantes na Europa e América do Norte. As aves modernas surgiram nessa época. Aves terrestres carnívoras atingiam mais de 2 m. Ao final do Eoceno, vários grupos de mamíferos foram extintos e, no Oligoceno, novas formas evoluíram. Estas incluem mastodontes, tatus, preguiças gigantes, camelos, cavalos, tigres dentes de sabre, lobos, ursos, entre outros. Muitas formas de gramíneas, surgidas no Paleoceno, se desenvolveram no Oligoceno.

Volte para o texto

Neógeno (26 - 2,5 Ma)

O Neógeno é dividido em duas épocas: Mioceno e Plioceno. No Mioceno, os ungulados perissodáctilos e artiodáctilos passaram por rápida evolução. A África, que estava isolada, juntou-se à Ásia, o que permitiu uma série de migrações de animais. O Plioceno é marcado por uma aridização e um resfriamento global que facilitaram ainda mais a expansão das gramíneas e das savanas. Mamíferos ungulados pastadores passaram a dominar a paisagens das savanas. A ponte entre as Américas do Norte e do Sul foi estabelecida no Plioceno, o que gerou o "Grande Intercâmbio Americano" de faunas e a dispersão de floras entre os dois continentes. Geleiras acumularam-se nos pólos e avançaram para mais baixas latitudes.

Volte para o texto

Pleistoceno (2,58 – 0,011 Ma)

O Pleistoceno é a primeira das duas épocas que compõem o Quaternário. As comunidades do Pleistoceno já eram bem semelhantes às atuais. Muitas formas características do Pleistoceno ainda sobrevivem hoje, dentre elas, coníferas, angiospermas, insetos, moluscos, aves e mamíferos. A mega-fauna de mamíferos caracteriza esta época, conhecida como a Era do Gelo porque foi marcada por diversos eventos de glaciação. Preguiças gigantes, mamutes, mastodontes e tigres de dentes-de-sabre são alguns exemplos de mamíferos da megafauna. Durante esta época, havia uma alternância climática, predominantemente nas zonas temperadas, com períodos caracterizados por capas de gelo (glaciais), intercalados com períodos de temperaturas mais amenas (interglaciais). Microfósseis pleistocênicos, como diatomáceas, foraminíferos, e pólens são abundantes, fornecendo importantes dados para reconstruções ambientais. A extinção dos mega-mamíferos ao final do Pleistoceno é tema de grandes debates. Uma das hipóteses mais difundidas assume que os animais foram extintos por caça indiscriminada levada a cabo pelos humanos (*overkill*). As populações de Homo sapiens estavam em franca ascensão e dados no registro fóssil indicam que a chegada dos humanos nos vários continentes, com exceção da África, coincide com a época da extinção dos mega-mamíferos. Outras hipóteses aventam que doenças e mesmo eventos climáticos, por si só, tenham vitimado os mega-mamíferos pleistocênicos.

O Holoceno, época do Quaternário em que vivemos, é caracterizada pelo fim das glaciações.

Volte para o texto

VOLTE AO SUMÁRIO

6

EVOLUÇÃO SOB A PERSPECTIVA DO REGISTRO FÓSSIL

Tiago Raugust

Estado do conhecimento atual: a Terra tem cerca de 4,56 bilhões de anos. Esta amplitude temporal é imprescindível para acomodar a ideia contemporânea de que o nosso planeta teve condições suficientes para que os processos evolutivos, tanto no âmbito geológico (ex: deriva de continentes, criação de montanhas e vales, movimentação de geleiras, formação de amplos estratos de rochas, etc.) como biológico (ex: evolução das espécies pelo surgimento de novidades evolutivas que foram fixadas por seleção natural ou deriva gênica), tomassem seu rumo.

Todavia, a noção de que o nosso planeta teria um tempo profundo desde sua gênese demorou a ser consolidada. Na própria época da publicação da primeira edição da Origem das espécies de Charles Darwin (1859) – obra na qual constam as bases da teoria evolutiva moderna – a principal fonte de informações sobre a idade da Terra advinha de interpretações literais das escrituras judaico-cristãs. Nessa concepção, o dogma que se tinha até as primeiras décadas do século XIX era o de que o nosso planeta seria bem mais jovem, tendo cerca de seis mil anos. Um clássico exemplo do resultado desta metodologia documenta-se na obra Os Anais do Mundo (*The Annals of the World*) (1658) feito pelo Acerbispo James Ussher (1581-1656). Nesse tratado sobre a cronologia bíblica, Ussher **(Figura 1)** concluiu que o primeiro dia da Criação teria ocorrido em 23 de outubro do ano de 4.004 a.C. Esta tentativa de datar a

história geológica da Terra mostrou-se uma tarefa difícil para Ussher, já que a bíblia cristã é constituida por uma compilação de diversas fontes ao longo de séculos, tornando praticamente impossível de se efetivar um estudo cronológico inequívoco. Para atenuar este problema, Ussher sempre que possível vinculava os eventos das escrituras cristãs com algum marco conhecido na história. Exemplo disto é que o próprio nascimento de Cristo teve de ser adiantado neste estudo para o ano de 5 a.C., com base na correlação dos relatos do historiador romano Titus Flavius Josephus sobre a morte do imperador Herodes I (que teria ocorrido por volta de 4 a.C.). Nesta mesma linha de propostas, que buscavam explicar a diversidade terrestre com base em argumentos teológicos, já havia trabalhos mais elaborados, como no caso do publicado por William Paley **(Figura 2)**. Em sua obra *Teologia Natural* (*Natural Theology*) (1802) Paley dedicou-se a estabelecer uma explicação para o desígnio divino usando como exemplo a situação de um viajante que, ao se deparar em seu caminho com um relógio no chão, concluiria que esse objeto fora construído por algum arquiteto inteligente. Do mesmo modo, a diversidade existente na natureza bem como as leis naturais que a regem deveriam ser frutos de um idealizador.

Dentro desta perspectiva de uma Terra jovem, era possível admitir certa permanência das

Figura 1. Acerbispo James Ussher (1581-1656). Fonte: http://goo.gl/tV9sCS

Figura 2. William Paley (1743-1805). Fonte: http://goo.gl/isakD6

formas vivas, criadas no mesmo momento que o mundo e eventualmente extintas por alguma catástrofe, como o Dilúvio (BARROS, 2003). Os fósseis que até então tinham explicações sobrenaturais para sua origem e, em muitos casos, serviam como fontes na geração de mitos folclóricos (**FERNANDES**, 2005), começaram e ser utilizados por muitos naturalistas (sendo estes literalistas das escrituras judaico-cristãs) como base científica para a corroboração do evento do Dilúvio. Por exemplo, as conchas marinhas fossilizadas observadas nas grandes altitudes dos Alpes italianos, teriam chegado até lá trazidas pelo Dilúvio e diversos animais de grandes proporções, como os dinossauros, teriam sido extintos, provavelmente por não caberem na arca de Noé.

De fato, no âmbito da História Natural, foram necessários séculos até que surgissem métodos de pesquisa apropriados para um correto estudo dos fósseis (FARIA, 2006). O trabalho que "inaugurou" essa fase de estudos foi o intitulado Introdução a um discurso sobre um corpo sólido incluído de forma natural dentro de outro corpo sólido (*De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, 1669) proposto pelo padre e naturalista dinamarquês Nicolau Steno (Niels Steensen, 1638-1686) **(Figura 3)**, no qual o autor investigou os processos responsáveis pela **fossilização dos restos orgânicos**. Para ele, a história da Terra encontrava-se gravada nas rochas. Através da análise dos registros geológicos, Steno estabeleceu os princípios da geologia estratigráfica, propondo que a Terra deveria ser muito mais antiga do que se imaginava.

Já a noção de que um "tempo profundo" seria fundamental para a gênese e desenvolvimento da Terra, tem como marco a obra *Teoria da Terra* (*Theory of Earth*), di-

Figura 3. Nicolau Steno (Niels Steensen, 1638-1686). Fonte: http://goo.gl/KXsPQQ.

Figura 4. James Hutton (1726-1797). Fonte: http://goo.gl/6IRYPO.

vulgada em 1788 por James Hutton **(Figura 4)**. Baseado em observações de campo, Hutton propôs o princípio do uniformitarismo, o qual sustentava que os mesmos processos geológicos que ocorriam no passado longínquo da Terra operavam no presente (FUTUYMA, 1993) **(ver o capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**. Ele concebia que a Terra incluía em sua história múltiplos eventos de deposição e soerguimento, trazendo à tona a ideia da vastidão cronológica para a sucessão desses processos (IANNUZZI & SOARES, 2010). Desta forma, a visão de "tempo profundo" começou a ser mais refinada e palpável.

Mesmo sabendo-se que deveria existir alguma correspondência entre determinados fósseis e estratos de rocha, até aquele momento não se conheciam trabalhos que aplicavam este conhecimento na prática. Nesse ponto, William Smith **(Figura 5)** inovou ao utilizá-lo na confecção do primeiro mapa geológico europeu. Para a elaboração desse mapa de 1801, publicado de forma completa em 1816, Smith recorreu a conchas fósseis de moluscos para correlacionar as camadas geológicas daquela região, uma vez que muitas delas continham fósseis exclusivos. Assim, conseguiu mapear uma área muito mais extensa do que os mapas geológicos tradicionais (baseados apenas no conteúdo litológico de formações principalmente contínuas) cobriam até então. Logo, este trabalho vem a ser o inaugurador do que hoje conhecemos sobre a atividade prática de **Correlação bioestratigráfica** ou **Bioestratigrafia**, tendo sua importância ainda mais ampliada na publicação de CUVIER & BRONGNIART (1808).

Num estudo de 1808, ao avaliarem o empilhamento dos estratos de rocha de uma determinada seção da Bacia Sedimentar de Paris, Georges Cuvier (1769-1832) – considerado o pai da anatomia comparada **(Figura 6)** – em colaboração com o mineralogista francês Alexandre Brongniart (1770-1847), notou que, naquela região, o empilhamento das camadas de rochas seguia uma sequência cronológica em que as mais antigas estavam mais abaixo, enquanto que as mais recentes estavam posicionadas mais acima. Somado a isto, diversos grupos fósseis, de acordo com sua distribuição nos estratos, eram substituídos por outros em estratos de rochas superiores (mais recentes). Esta percepção de que muitas associações eram específicas de determinados níveis estratigráficos, sendo substituídas por outras associações em pacotes de rochas superiores é o que conhecemos hoje por "Sucessão Biótica" **ver o capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO**. Outra conclusão obtida através desta pesquisa feita em Montmartre, na Bacia de Paris, foi a de que as diferenças nas composições litológicas dos estratos seriam decorrência de diferentes catástrofes, como enchentes e regressões marinhas. Consequentemente, isto se refletia na presença de grupos específicos de fósseis que desapareciam (se extinguiam) no término de cada evento. Ou seja, as faunas iam sendo substituídas ao longo dos estratos por eventos catastróficos.

Pelo que se sabe, a Teoria das Catástrofes já teria sido defendida um pouco antes por Cuvier em sua obra Relatório sobre as espécies de elefantes vivos e fósseis (*Mémoire sur les espèces d'éléphants vivants et fossiles*) de 1796. Nesse trabalho, ao comparar fósseis de proboscídeos (mamutes e mastodontes) da Sibéria e da América do Norte com elefantes viventes da Índia e da África, ele demonstrou que o fóssil norte-americano era distinto do siberiano, sendo ambos extintos e diferentes dos elefantes viventes. O caso do mamute siberiano ter sido extinto em um ambiente no qual esse animal apresentava um elenco de estruturas adaptadas àquela paisagem era uma forte evidência de

que alguma catástrofe teria abatido esses animais. Naquela época a ideia de que alguma espécie inteira pudesse ter sido extinta apresentava diversos contra-argumentos. O mais comum era o de que o suposto animal identificado apenas na forma fóssil na verdade não estaria extinto, mas ainda poderia estar habitando alguma parte do Globo intocada pelo homem (FARIA, 2010). O próprio Lamarck era um dos naturalistas que não dava crédito ao conceito de extinção das espécies, advogando que os ambientes desconhecidos pelo homem possivelmente serviriam de abrigo para os animais supostamente extintos, como consta na seguinte passagem:

"Existem ainda muitas porções da superfície do globo que não penetramos, outras tantas nas quais observadores capazes ainda não cruzaram exceto por casualidade, e outras tantas ainda, como as diferentes partes das profundezas dos mares, para as quais temos poucos meios de identificar os animais que lá habitam, e estes diferentes lugares bem poderiam estar escondendo as espécies que nos são desconhecidas." (LAMARCK, 1809, p.76, tradução do autor).

Esta ideia inovadora de que a Terra teria passado ao longo das eras por diversas catástrofes em lugares específicos, onde as espécies sobreviventes recolonizariam os locais afetados através da migração, foi abordada de modo mais enfático por Cuvier na obra Investigações sobre as ossadas fósseis de quadrúpedes, onde se restabelece os caracteres de várias espécies de animais, que as revoluções do Globo parecem ter destruído (*Recherches sur les ossemens fossiles de quadrupèdes, où l'on rétablit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du Globe paroissent avoir détruites*), de 1812. É importante observar que mesmo não acreditando na evolução das espécies, um posicionamento comum em sua época, Cuvier não recorria a explicações criacionistas para defesa de sua hipótese. Ou seja, Cuvier não apoiava o fenômeno das gerações espontâneas após cada evento de extinção, tampouco a proposta de que a última das catástrofes que teria assolado a Terra fosse o dilúvio bíblico. Tais ideias são equi-

Figura 5. William Smith (1769 - 1839).
Fonte: http://goo.gl/vjRtJl.

Figura 6. Georges Cuvier (1769-1832).
Fonte: http://goo.gl/FL6JZk.

vocadamente atribuídas a ele até hoje, pois em sua época, os adeptos do criacionismo encontraram nos argumentos de Cuvier um suporte teórico para defesa de suas concepções (SEPÚLVEDA & EL-HANI, 2008; FARIAS, 2010).

Logo, mesmo lhe sendo atribuído o título de inaugurador da Paleontologia de Vertebrados, como um programa de pesquisa científica que veio inclusive ampliar a classificação lineana aos fósseis (MARGULIS, 2001; BARROS, 2003), Cuvier, que teve toda sua obra galgada em um rigor científico incontestável, não entrando em discussões que tratavam temas religiosos como se fossem científicos, acabou por estabelecer esta escola com base em premissas fixistas (FARIAS, 2010).

Lamarckismo

Apesar de o paradigma na história da ciência ter se mantido fixista ao longo do século XVIII, alguns naturalistas, eventualmente, se arriscavam em imaginar que os seres vivos pudessem ter tido alguma transformação ao longo das eras. Entre estes estava Georges Louis Buffon (1707-1788) que em 1766, expressou a possibilidade de que diferentes espécies tivessem surgido por variação, a partir de ancestrais comuns, mas simultaneamente, apresentou evidência contrária a esta posição (FUTUYMA, 1993). O avô de Darwin, Erasmus Darwin (1731-1802), em sua obra Zoonomia (1795), aproximou-se das conclusões de Lamarck, antecipando-as em diversos aspectos, como no caso da admissão da herança dos caracteres adquiridos (CARMO *et al.*, 2009).

Todavia, Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829), *Chevalier* de Lamarck **(Figura 7)**, foi o primeiro naturalista a colocar o problema da evolução das espécies como foco de sua obra (FERREIRA, 2007). Em seu livro Filosofia zoológica (*Philosophie Zoologique*), de 1809, propôs que as espécies progridem influenciadas pelo ambiente, de modo gradual, em direção a uma maior complexidade e perfeição. Segundo ele, o **uso ou o desuso** constante de um órgão poderia fazer com que o mesmo se hipertrofiasse ou desaparecesse, e o resultado desse processo seria transferido para a descendência pela **herança dos caracteres adquiridos**. Na realidade, tais ideias são anteriores a Lamarck. Presentes desde a Antiguidade, ele mesmo nunca chegou a alegar que alguma dessas propostas fosse de sua autoria (FERREIRA, 2007; MARTINS, 2007). Contudo Lamarck ofereceu uma enormidade de exemplos e hipóteses que tentavam confirmar estas teorias, o que lhe favoreceu historicamente a atribuição de ambas. Um dos casos tradicionalmente citados para explicar esse mecanismo evolutivo consta nesta passagem em que Lamarck usa como exemplo o caso da evolução do pescoço das girafas:

"É interessante observar o resultado do hábito na forma peculiar e tamanho da girafa (Camelo pardalis): esse animal, o maior dos mamíferos, é conhecido por viver no interior da África em lugares onde o solo é quase sempre árido e estéril, então ele ***se obrigou a buscar alimento nas folhas das árvores e fazer constantes esforços*** *para alcançá-los. A partir deste* ***hábito mantido por muito tempo*** *em toda a sua raça, resultou que as pernas da frente do animal tornaram-se maiores que suas patas traseiras, e seu pescoço ficou alongado, a tal ponto que a girafa, quando fica em pé sobre as patas traseiras, alcança uma altura de seis metros (cerca de 20 pés). Entre as aves, as avestruzes, que não têm poder de voo, e são levantadas sobre as pernas muito longas, provavelmente devem sua forma singular a circunstâncias análogas."* (LAMARCK, 1809, p. 210-211, tradução e grifos do autor).

A percepção de que era necessário tempo em abundância para que esse mecanismo se desenvolvesse também está presente na obra de Lamarck.

*"**Tempo e um ambiente favorável** são, como eu já disse, dois métodos principais da natureza de trazer todas as suas produções de sua existência, por sua vez, não têm limites e podem ser utilizados em qualquer medida."* (LAMARCK, 1809, p. 196-197, tradução e grifo do autor).

No esquema de Lamarck, haveria uma criação original da vida, e a partir de então, novas formas poderiam surgir de maneira simples por **abiogênese** teoria que defendia a formação de organismos vivos a partir de matéria não-viva, também conhecida como Geração Espontânea. Depois da origem, cada espécie evoluiria independentemente para tipos cada vez mais complexos (ROSE, 2000). A razão para esta transformação encontrava-se na adaptação das espécies ao ambiente. Desse modo, as ideias de Lamarck, conhecidas como **Lamarckismo**, forneciam uma explicação lógica à evolução orgânica em correspondência com a evolução da Terra (BLANC, 1994).

Entretanto, ao contrário de Cuvier, Lamarck não admitia que as espécies fossem extintas. Lamarck era um deísta e isto se manifestava no seu discurso científico. A hipótese de extinção das espécies contrariava o conceito de um mundo racionalmente ordenado e perfeito, fruto da criação de um Ser supremo. Para vencer esse dilema, Lamarck, então, propunha que as espécies não se extinguiam, mas transformavam-se (BLANC, 1994)! Portanto, mesmo sendo uma proposta transformista, ou seja, que não acreditava na imutabilidade das espécies, também era considerada como uma alternativa ao esquema criacionista (ROSE, 2000), sendo tomada como "tábua de salvação" dessa corrente filosófica após o darwinismo impor a noção de evolução (BLANC, 1994).

Figura 7. Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829). Fonte: http://charliuss.wordpress.com/2012/08/07/what-darwin-didnt-know/.

O Lamarckismo foi duramente desestimulado por naturalistas de sua época, entre eles Cuvier, que atacava Lamarck com base na defesa de que o registro fóssil não demonstrava a evolução gradual com todas as séries de transformações intermediárias entre ancestrais e descendentes apregoada por Lamarck, como podemos ver no seguinte trecho:

"[...] se as espécies tivessem mudado gradualmente, nos deveríamos ter encontrado vestígios dessas modificações graduais, bem como certas estruturas intermediárias entre o Palaeotherium e as espécies atuais, contudo, até o momento, isso absolutamente não ocorreu. *Por que as profundezas da Terra não preservaram os monumentos de tão curiosa genealogia, a não ser que seja porque as espécies anteriores eram tão imutáveis como as nossas, ou pelo menos porque a catástrofe que as destruiu não lhes deu tempo para desenvolver suas variações?"* (CUVIER, 1825, p. 49, tradução e grifo do autor).

Atualmente diversos princípios do Lamarckismo, entre eles a herança dos caracteres adquiridos não são aceitos, pois apenas as mudanças no nível genético podem ser herdadas pelos descendentes (IANNUZZI & SOARES, 2010). Contudo esta teoria tem passado atualmente por diversas reformulações recebendo novas interpretações através de estudos recentes sobre a influência do ambiente na mudança genética dos indivíduos, estando em uma fase de remodelação científica.

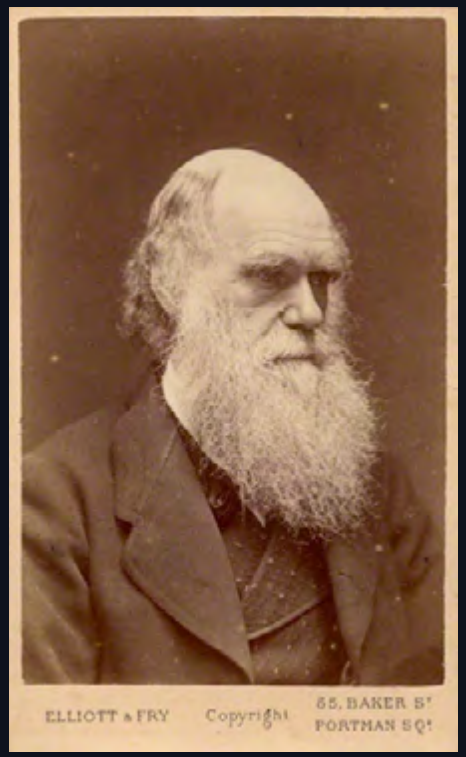


Figura 8. Charles Darwin (1809-1882). Fonte: http://goo.gl/vaPbv8.

Figura 9. Viagem do navio inglês H. M. S. Beagle, que durou de 27 de dezembro de 1831 a 2 de outubro de 1836. Fonte: http://goo.gl/1sc5va (modificada).

Darwinismo

Charles Darwin **(Figura 8)** adquiriu a noção de evolução biológica com base na análise dos fósseis e da distribuição geográfica de alguns animais, observações feitas por ocasião de sua viagem ao redor do mundo, que durou de 27 de dezembro de 1831 a 2 de outubro de 1836, a bordo do navio inglês H. M. S. Beagle, na qualidade de naturalista **(Figura 9)**. Nesta viagem, que tinha como principal objetivo a produção cartográfica da América do Sul, Darwin teve a oportunidade de explorar por dias as localidades onde o navio ancorava. Fazia observações sobre o hábito de vida dos organismos em seu meio natural, coletava e catalogava espécies viventes (muitos deles abatidos por sua mão) e fósseis que eram enviados para coleções em museus ingleses. Sem contar que ele formulava hipóteses sobre a gênese das feições geomorfológicas que encontrava.

Durante a viagem, Darwin teria, pela primeira vez, adquirido sua inclinação gradualista através da leitura do primeiro volume de Princípios de Geologia (*Principles of Geology*) (1830) de Charles Lyell **(Figura 10)** (ROSE, 2000), considerado o geólogo mais influente de sua época, que advogava que as feições geográficas da Terra teriam se desenvolvido de modo lento e gradual, sujeitas a longos proces-

Figura 10. Charles Lyell (1797-1875).
Fonte: http://goo.gl/MY8jGh.

Figura 11. Robert Fitzroy (1805-1865).
Fonte: http://goo.gl/vARxYr.

sos de erosão e deposição. Esta obra teria sido presenteada a Darwin pelo capitão do navio, Robert Fitzroy **(Figura 11)**, enquanto os outros volumes (de 1832, sendo e o terceiro e último de 1833) foram mandados a Darwin diretamente para a Inglaterra após a viagem (RUSE, 2000).

Esta expedição representou um grande laboratório na formação de Darwin como um influente naturalista. A maior parte do material recolhido veio da América do Sul. Exemplo dessa coleta encontra-se na passagem abaixo, registrada em seu diário de bordo, no dia 5 de outubro de 1833, ao atravessar o Rio Paraná para a aldeia de Santa Fé Bajada, na Argentina:

"[...] me dediquei a examinar a geologia, que é muito interessante. Na base das falésias encontrei dentes de tubarão e conchas de espécies marítimas extintas, mas havia outras camadas, como áreas solidificadas de antigos pântanos e de terra avermelhada dos pampas, onde, nas formações calcárias, havia ossos de quadrúpedes terrestres (...). No depósito dos pampas, localizado em Bajada, encontrei a estrutura óssea de um animal semelhante a um crocodilo, cujo interior, tão logo a terra foi removida, era semelhante a um caldeirão. Achei, ainda, dentes de Toxodon e de mastodonte, e mais um de um cavalo, no mesmo estado de decomposição". (DARWIN, 2009, p. 80-81, grifo do autor).

Ao avaliar que esses fósseis da América do Sul seriam semelhantes aos encontrados na América do Norte, em uma mesma época do passado geológico, Darwin, de certa forma, entrava em conflito com a interpretação literalista de que Deus teria criado cada espécie perfeitamente adaptada ao seu ambiente particular em um mundo imutável.

Esses fósseis, igualmente, constituíram a base de sua reputação científica. Em 1836, Fitzroy e Darwin publicaram um diário de bordo, descrevendo a viagem do *Beagle*, sendo um *best seller* de sua época (ROSE, 2000). Contudo, Darwin estava empenhado em um projeto muito maior, pois antes mesmo da publicação de seu próprio diário de bordo, em um volume separado no ano de 1939, ele já tinha consolidado em sua mente a ideia de que os seres vivos se modificavam com o tempo. O avanço desse pensamento veio já em 1838, ao ler a obra Um ensaio sobre o princípio da população (*An Essay on the Principle of Population*) (1803) do economista Thomas Robert Malthus (1765-1834), o qual proferia que enquanto as populações humanas cresciam em progressão geométrica, a oferta de alimento crescia em progressão aritmética. Desta forma, Darwin assumiu que deveria existir uma intensa "luta pela vida" (competição) onde somente os indivíduos mais aptos (portadores de caracteres favoráveis naquele instante) seriam selecionados ao longo do tempo, transmitindo suas características ao longo das gerações. A esta teoria, ele chamou de **seleção natural** (IANNUZI & SOARES, 2010).

Em 1842, Darwin escreveu um resumo de 35 páginas sobre sua teoria evolutiva e, novamente, em 1844, ampliou seu esboço anterior para 230 páginas, deixando instruções com a sua esposa para que esses dois manuscritos fossem publicados, caso ele viesse a falecer antes de escrever a sua obra principal (GOULD, 1992).

Coincidentemente, também em 1844, o jornalista escocês conhecido como Robert Chambers **(Figura 12)**, publicou anonimamente a obra Vestígios da história natural da Criação (*Vestiges of the natural history of the creation*), que fornecia premissas evolutivas recorrendo a ideias lamarckistas (FUTUYMA, 1993). Esse livro foi amplamente vendido na Inglaterra, mas oferecia uma mistura de biologia e química muitíssimo depauperada para explicar os processos biológicos, sendo duramente atacado por cientistas da época. Escreveu

Adam Sedgwick (que havia sido mentor de Darwin em Cambridge, mas opositor da noção de evolução das espécies): *"Eu acho que o autor é alguma mulher"* (ZIMMER, 2004).

Estas reações impactaram profundamente Darwin e ele voltou ao seu "esconderijo científico" (ZIMMER, 2004), possivelmente pela hostilidade que os trabalhos de cunho evolutivo que Chambers e Lamarck tinham encontrado (FUTUYMA, 1993).

Outro fato relacionável à demora de Darwin é que ele daria à biologia uma base inteiramente livre de componentes religiosos (ROSE, 2000), e certamente estava ciente das implicações filosóficas de sua teoria, tanto que evitava qualquer manifestação pública sobre elas (GOULD, 1992).

Mesmo assim, Darwin retornou em 1850 a escrever o que seria a sua grande obra sobre seleção natural. Contudo, em junho de 1858, recebeu um manuscrito intitulado Da tendência das variedades de se afastarem indefinidamente do tipo original (*On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type*) de Alfred Russel Wallace **(Figura 13)** (CARMO *et al.*, 2009), o qual concebera, independentemente, a mesma ideia de seleção natural que Darwin vinha trabalhando (FUTUYMA, 1993). Apesar de Wallace não ter uti-

Figura 12. Robert Chambers (1802-1871). Fonte: http://goo.gl/UHY7Pk.

Figura 13. Alfred Russel Wallace (1823-1913). Fonte: http://goo.gl/Wn2Lpn.

lizado o termo seleção natural, referiu-se a um princípio cuja conotação é a mesma da proposta por Darwin (CARMO & MARTINS, 2006). Darwin ficou impressionado com a coincidente ideia de Wallace, chegando a expressar esta surpresa em uma carta escrita ao seu amigo Lyell, em junho de 1958 *"Se Wallace dispusesse do esboço do manuscrito que escrevi em 1842, não poderia ter feito um resumo melhor! Até seus termos figuram agora como títulos de meus capítulos. "* (BURKHARDT, 2000, p. 274). Além disso, Wallace teria, do mesmo modo que Darwin, se inspirado na obra de Thomas R. Malthus (CARMO *et al.*, 2009) na elaboração deste mecanismo. No outro mês, ambos comunicaram conjuntamente seus resultados à *Linnean Society* de Londres e logo divulgaram seus artigos em separado na revista dessa mesma Sociedade. Darwin, então, em 24 de novembro de 1859, publicou a primeira edição da sua obra Sobre a origem das espécies por meio da seleção natural ou a preservação de raças favorecidas na luta pela vida (*On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*), onde ele apresentava sua visão sobre a transformação dos organismos lançando mão de diversas fontes de informações (*e.g.* registro fóssil, biogeografia, anatomia e embriologia comparada, modificações em animais sob domesticação, etc.) para embasamento teórico (IANNUZZI & SOARES, 2010). Cumpre ressaltar que o relacionamento entre Darwin e Wallace após a publicação do Origem das espécies se estabeleceu de modo amistoso. No trecho abaixo extraído de uma carta de Wallace enviada a Darwin após a publicação do Origem das espécies podemos inclusive observar o reconhecimento de Wallace ao trabalho de Darwin.

"No que diz respeito à própria teoria da "Seleção Natural", sempre sustentarei que ela é, na verdade, sua, e apenas e tão somente sua. Você a elaborou em detalhes nos quais eu jamais havia pensado, anos antes de eu ter qualquer vislumbre a respeito do assunto [...] Meu mérito é apenas o de ter sido o meio que o induziu a escrever e publicar imediatamente ..." (BURKHARDT *et al.*, 2009, p. 135).

Em Origem das Espécies, Darwin fundamentou os argumentos que o levaram a concluir que a seleção natural seria o principal mecanismo responsável pela evolução da vida (FONSECA, 2008), e atuaria de modo a favorecer os organismos com variações mais favoráveis em um ambiente específico. Sendo assim, um ambiente que não foi destruído e permaneceu relativamente estável, com poucas mudanças ao longo do tempo geológico, poderia abrigar organismos viventes que igualmente apresentariam pouca mudança morfológica, denominados *fósseis vivos*. **(ver capítulo INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA)**

"Essas formas anômalas poderiam ser chamadas de ***fósseis vivos****, tendo-se preservado até os dias de hoje pelo fato de habitarem áreas confinadas, e dessa forma terem sido expostas a uma competição menos severa e variada."* (DARWIN, 2004; p. 173, grifo do autor).

Diferentemente do pensamento de Lamarck, o esquema biológico de Darwin não admitia a geração espontânea. Além disso, as extinções causadas por catástrofes, que eram concebidas no esquema de Cuvier, não eram admitidas por Darwin.

"Uma vez que todas as formas de vida atuais são descendentes diretos das que viveram bem antes da era Siluriana, podemos estar certos de que ***a sucessão regular das gerações nunca foi interrompida, e que nenhum cataclismo devastou a Terra inteira****. Por isso, podemos antever com confiança um futuro seguro, cuja extensão é tão imensurável quanto a do passado. E uma vez que a seleção natural atua apenas em prol de cada ser, tudo o que cada qual adquiriu, no que se refere ao corpo, ou o que se refere à mente, tenderá a evoluir para*

Figura 14. August Weismann (1834-1914). Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:August_Weismann.jpg.

Figura 15. Francis Galton (1822-1911). Fonte: http://www.npg.org.uk/collections/search/portraitLarge/mw02406/Sir-Francis-Galton?LinkID=mp01715&search=sas&sText=-Francis+Galton+&role=sit&rNo=1.

alcançar a perfeição". (DARWIN, 2004; p. 581, grifo do autor).

A seleção natural explicava como as alterações na forma e funções biológicas eram mantidas ou eliminadas, mas não tinha uma resposta satisfatória para a origem destas variações, ou o mecanismo pelo qual estas características seriam transmitidas aos descendentes. Desse modo, Darwin recorreu a algumas alternativas, entre elas a ideia lamarckista sobre a herança dos caracteres adquiridos pelo uso ou desuso, como demonstrado na passagem abaixo:

"As toupeiras, assim como outros roedores que vivem sob a terra, possuem olhos rudimentares e, em alguns casos, totalmente recobertos por uma membrana dotada de pelos. Isso se deve a uma ***redução gradual, provocada pelo desuso****, e possivelmente auxiliada pela seleção natural".* (DARWIN, 2004; p. 206, grifo do autor).

Curiosamente, apesar de Darwin demonstrar certo desprezo pelas ideias de Lamarck, acabou adotando-as integralmente, inclusive adicionando a hipótese de que as características perdidas por amputação seriam igualmente transmitidas à descendência (MARTINS, 2007). Nesse sentido, em 1889**,** o famoso experimento do biólogo alemão August Weismann **(Figura 14)** – que amputou as caudas de camundongos por várias gerações, e verificou que as caudas nunca desapareciam, ou encurtavam nos descendentes –, teria lançado

uma forte crítica negativa ao desdobramento teórico da teoria darwiniana, e não à obra de Lamarck. Os trabalhos de Weismann desencadearam fortes discussões e, a partir de 1892, Weismann passou a defender que o único mecanismo que atuava na evolução das espécies seria a seleção natural, tendo esta abordagem ficado conhecida como **Neodarwinismo** (MARTINS, 2010).

Somado a isto, para explicar o mecanismo pelo qual os caracteres adquiridos ou perdidos pelo uso ou desuso eram transmitidos aos descendentes, Darwin, em 1868, publicou a obra As variações de animais e plantas sob domesticação (*The Variation of animals and plants under domestication*) onde apresentou sua hipótese "provisória" denominada pangênese, a qual admitia que as diferentes partes do corpo expeliam gêmulas que se dirigiam para os órgãos sexuais, reunindo-se nos gametas e sendo transmitidas através das gerações (POLIZELLO, 2008). Entretanto, esta hipótese recebeu diversas críticas, como a do seu próprio primo Francis Galton **(Figura 15)** que ao fazer experimentos com transfusões de sangue em coelhos da raça *silvergray* percebeu que a pangênese tinha problemas.

Contudo, as críticas à teoria evolutiva de Darwin não se restringiam às propostas sobre a origem da variabilidade dos organismos, mas também alcançavam considerações sobre o registro fóssil. Tendo em vista que Darwin via a evolução como um processo lento e gradual, em que cada passo intermediário seria adaptativo, era de se esperar que todas estas transições fossem verificadas de alguma forma no registro fóssil. Entretanto, ao invés disso, as novas espécies, em geral, apareciam de modo relativamente abrupto. Por um tempo, aliás, a meta da paleontologia pareceu ser o delineamento cada vez mais refinado da evolução gradual através dos achados fósseis. Foi nessa época inclusive que surgiu o jargão "em busca do elo perdido", pois qualquer forma transicional encontrada representaria uma confirmação de que a evolução gradual de fato teria sido um fenômeno presente na história da vida na Terra. Essencialmente esta crítica sobre a ausência de intermediários no registro fóssil era a mesma que Lamarck teria sofrido por Cuvier. A escapatória encontrada por Darwin se baseou no argumento de que o registro fóssil seria imperfeito. Alegou que a própria dinâmica dos eventos geológicos da crosta terrestre daria conta de apagar partes da história da evolução da vida, registrando apenas alguns de seus instantes. Ou seja, o registro fóssil segundo Darwin é pontual, registrando somente momentos da história lenta e gradual da vida na Terra, não preservando desse modo todos os paços intermediários. A citação de Darwin a seguir sintetiza tais argumentos:

"A nobre ciência da Geologia deixa a desejar em virtude da extrema imperfeição de seus registros. A crosta terrestre, com seus resíduos soterrados, não deve ser considerada um museu bem suprido, mas uma pobre coleção feita ao acaso e em raras ocasiões. (DARWIN, 2004; p. 579).

Por outro lado, a teoria evolutiva darwiniana também trouxe grande contribuição às ciências naturais. Dentro da perspectiva evolutiva advogada por Darwin, os organismos seriam produtos de uma história de descendência com modificação lenta e gradual, a partir de ancestrais comuns (IANNUZZI & SOARES, 2010). Sendo assim, Darwin criticava o sistema de classificação tradicional das espécies que era fixista (sistema de Linneu). Argumentava que apenas características homólogas, ou seja, que possuem uma mesma origem comum, é que deveriam ser utilizadas pelos sistematas, a fim de se obter um retrato mais acurado da evolução.

"Devemos entender por que um caráter análogo ou adaptativo, mesmo sendo muito importante para o bem-estar do indivíduo, é inútil para o sistemata." (DARWIN, 2004; p. 521).

Darwin compreendia que dois eventos poderiam ocorrer após a formação de novas espécies como:

Irradiação adaptativa – Uma população ou espécie tende a dispersar-se, ocupando o maior número de hábitats possível. Como as condições ambientais são diferentes para cada hábitat, a seleção natural atua de modo condizente com estes ambientes fazendo com que as populações, ao longo do tempo, se diferenciem umas das outras. Dessa maneira, uma única espécie pode dar origem a uma grande variedade de espécies, cada qual adaptada a certo conjunto de condições de vida. Ou seja, seres que possuem uma mesma origem evolutiva são dotados de estruturas homólogas, podendo ser estas semelhantes ou não.

Convergência adaptativa – Organismos de diferentes origens, num mesmo ambiente, sendo submetidos a pressões de seleção semelhantes, acabam sendo selecionados por apresentarem soluções anatômicas que se adequam a determinado ambiente (acabam se assemelhando). Este fenômeno é responsável por gerar estruturas análogas, ou seja, que não possuem uma história evolutiva comum, apesar de serem semelhantes.

TEORIA SINTÉTICA DA EVOLUÇÃO

Darwin despertou muita admiração, mas também recebeu muitas críticas, as quais repousavam principalmente sobre a origem da variabilidade dos organismos. Esta lacuna na teoria darwinista só viria a ser contemplada graças ao redescobrimento dos trabalhos sobre hereditariedade de Gregor Mendel **(Figura 16)**, no primeiro quarto do século XX. Gregor Johann Mendel (1822-1884) tornou-se amplamente conhecido postumamente como o "pai da genética" em virtude do seu trabalho Experiências sobre hibridização de plantas (*Versuche über Pflanzenhybriden*, 1865) com ervilhas (BATISTETI *et al.*, 2010). Mendel percebeu que as características eram determinadas por pares de fatores (genes) vindos de seus progenitores por meio da reprodução sexuada. Contudo, na época da publicação de seu trabalho, suas ideias ficaram praticamente no limbo até a sua redescoberta em 1900 pelos biólogos Hugo de Vries, Carl Correns e Erich Tschermak. Houve então um impulso no conhecimento científico sobre os genes e suas propriedades, tanto que, entre 1900 e 1925, diversos biólogos consolidaram a teoria cromossômica da hereditariedade.

Deste modo, nascia a necessidade de se sumarizar os conhecimentos advindos das diversas áreas da biologia evolutiva que se avolumavam até então. Esta **nova síntese** da biologia evolutiva foi batizada então de **Teoria Sintética da Evolução** por Julian Huxley em 1942 com sua obra Evolução: a síntese moderna (*Evolution: The Modern Synthesis*). Por sua vez, a data oficial de inauguração desta nova escola se deu de 2 a 4 de janeiro de 1947, em Princeton, numa conferência internacional que reuniu geneticistas (R. Fisher, J.B.S Haldane, S.Wright, H.J. Muller, entre outros), naturalistas (E. Mayr, G.L. Stebbins, E.B. Ford) e paleontólogos (G.G. Simpsons, A.S. Romer), a qual oficializou a fundação da Teoria Sintética (BLANC, 1994).

Basicamente, a Teoria Sintética representou uma integração entre as diferentes disciplinas da área biológica sendo uma síntese entre o darwinismo clássico e o mendelismo (ARAÚJO, 2006a). Esta "síntese evolutiva" via na mutação a fonte de geração da variabilidade gênica. Outros fatores como recombinação e migração atuariam de modo a aumentar a variabilidade gerada pelas mutações. Já a deriva gênica, seleção natural e também a migração constituiriam fatores de redução da variabilidade gênica **(Figura 17)**. A seguir são apresentados brevemente esses fatores evolutivos:

Figura 16. Gregor Johann Mendel (1822-1884).
Fonte: http://de.academic.ru/pictures/dewiki/71/Gregor_Mendel_Monk.jpg.

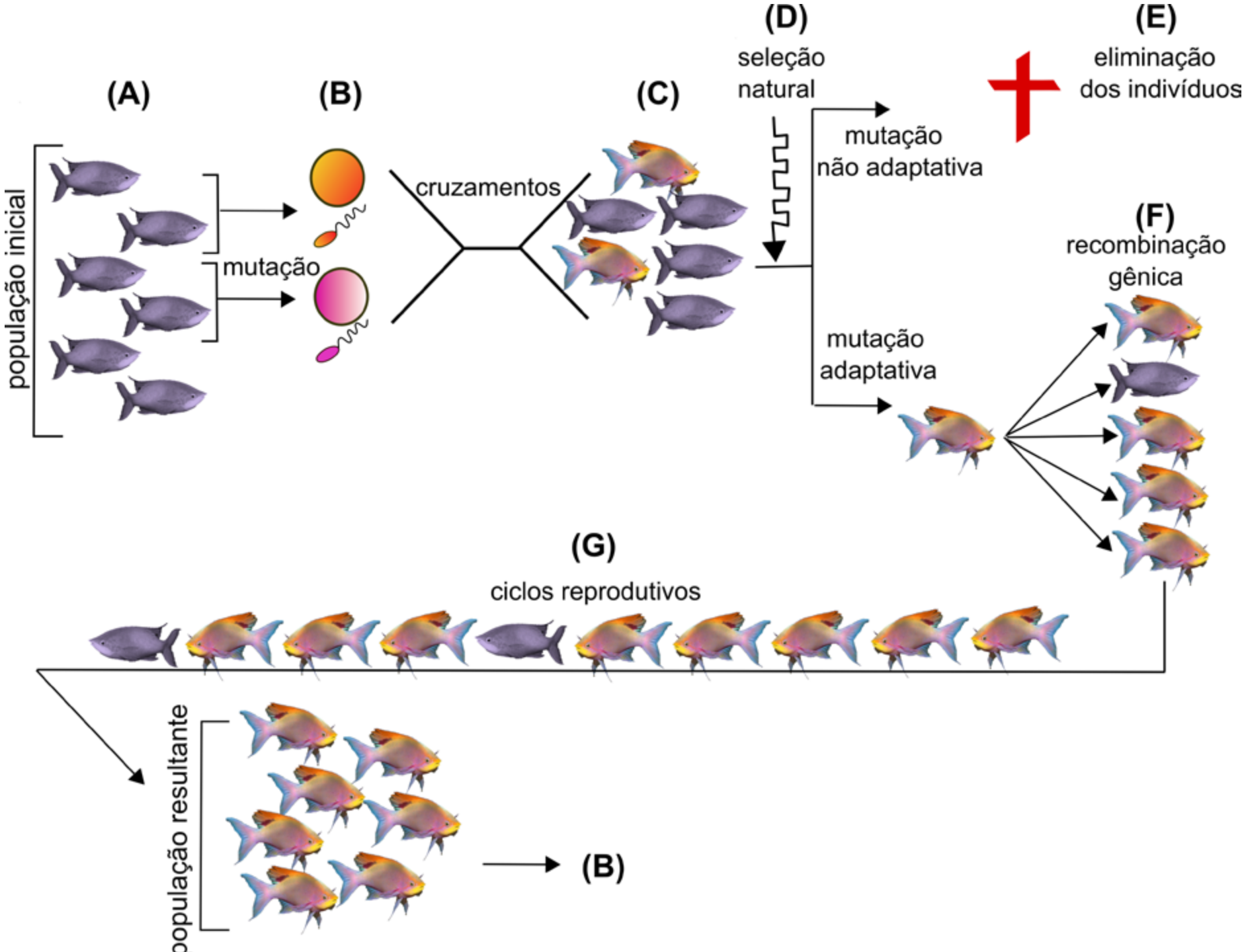

(A)
(B)
(C)
(D)
seleção natural
(E)
eliminação dos indivíduos
população inicial
mutação
cruzamentos
mutação não adaptativa
(F)
recombinação gênica
mutação adaptativa
(G)
ciclos reprodutivos
população resultante
(B)

Figura 17 (Página anterior). Modos de atuação dos principais mecanismos propostos pela Teoria Sintética. (B) mutação gênica; (D) seleção natural; (F) recombinação gênica. Em (A) é demonstrada uma população hipotética com um conjunto gênico homogêneo que sofrerá em (B) mutações gênicas responsáveis pelo surgimento de novas características. Em (C) há o cruzamento entre indivíduos com e sem mutação por meio de reprodução sexuada; segregação de genes na descendência (recombinação gênica) originando alguns indivíduos mutantes. (D) Seleção natural agindo sobre a população resultante de modo a selecionar indivíduos quanto à sua adaptação ao meio. (E) indivíduos mal adaptados (com "mutações não adaptativas") morrem sem deixar descendentes férteis ou deixam menos descendentes que serão eliminados nas gerações subsequentes. (F) indivíduos bem adaptados (com "mutações adaptativas") cruzam com outros indivíduos (recombinação gênica), originando indivíduos férteis que perpetuarão as novas características dentro da população. (G) Através de sucessivos ciclos reprodutivos ocorre a manutenção da variabilidade genética, principalmente por meio de cruzamentos (recombinação gênica) e seleção natural; outros fatores como deriva genética e migrações podem atuar secundariamente. (H) População resultante dos eventos evolutivos e manutenção dos processos evolutivos. Modificado de Iannuzzi & Soares, 2010.

Mutação

É a "matéria-prima" da evolução que ocorre em todos os seres vivos, pois é a fonte de geração da variação genotípica dos organismos. Essa mutação pode ser gênica ou cromossômica.

Recombinação gênica

É um processo que ocorre somente em seres de reprodução sexuada e que reorganiza os genes já existentes nos cromossomos. Logo, mesmo sendo a mutação a única fonte geradora de um novo alelo, é por meio da recombinação que os alelos da população se combinam em novos arranjos nos indivíduos, dando origem a vários tipos de gametas que se unirão na fecundação. Ou seja, a variabilidade gênica é aumentada, tanto pela segregação independente dos cromossomos, como pela permutação (*crossing over*), sem adição de novos genes comuns.

Deriva genética

Como o próprio nome já diz, são mudanças ao acaso na frequência de alelos ou genótipos em uma determinada população por ocasião de eventos aleatórios. Eventos desse tipo podem ocorrer quando uma parte da população funda uma nova noutro local (efeito do fundador) ou quando a população sofre uma redução dramática do seu tamanho (gargalo de garrafa). Nesse sentido, a seleção natural tem um papel secundário, pois a deriva acaba alterando as frequências gênicas de uma determinada população de modo não intencional, sem que haja um favorecimento da preservação de uma característica específica.

Seleção Natural

A seleção natural decorre das adversidades que a natureza impõe aos seus indivíduos, tal como ação de predadores e parasitas, competição, disputa por recursos energéticos e reprodutivos, etc. Desse modo, ela acaba filtrando e favorecendo aqueles seres que apresentam aptidões para sobreviver e se reproduzir frente a estas restrições imediatas. Trata-se do principal fator evolutivo que age sobre as populações, de modo a diminuir a variabilidade gênica, pois somente alguns genótipos serão selecionados. Em comparação com o evento de deriva, podemos dizer que a seleção natural é um evento preditivo, já que elimina os seres portadores de variações desfavoráveis **(Figura 18)**.

Migração

A entrada e saída de indivíduos de uma população podem alterar o seu conjunto gênico original. Os imigrantes trazem novos genes às populações e através desse fluxo gênico, com o tempo, as diferenças genéticas entre elas tendem a diminuir reduzindo a variabilidade gênica total das populações envolvidas (IANNUZZI & SOARES, 2010).

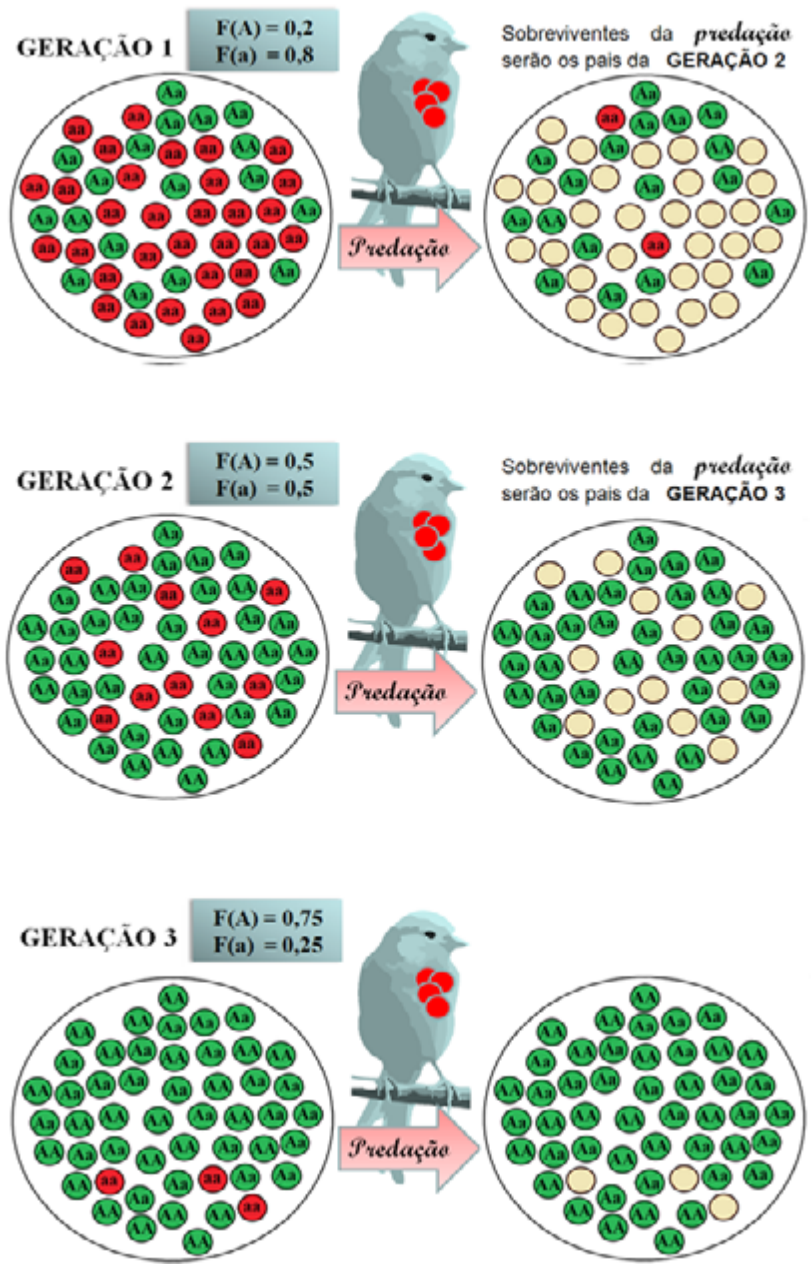


Figura 18. A seleção natural ao atuar sobre específicos genótipos pode alterar as frequências genéticas das populações caso não ocorra uma resposta evolutiva da população submetida a esta pressão seletiva (ex: mimetismo). A Figura demonstra como as frequências dos alelos **A** e **a** são alterados ao longo de três gerações pela seleção de um predador que tem especificidade alimentar por indivíduos de genótipo **aa**. Modificado de AMABIS e MARTHO (1994).

A Teoria Sintética também marcou um momento em que se agregou uma concepção hiperselecionista e adaptativa ao fenômeno evolutivo, pois cada estágio intermediário seria adaptativo. Nos anos 1960, a ideia de que todas as características de um organismo têm um sentido adaptativo ganhou força, constituindo o que alguns chamam de "ultradarwinismo". Tal concepção assumia a seleção natural como a única fonte efetiva de evolução. Julian Huxley escreveu, em 1956: *"A descoberta do princípio da seleção natural tornou a evolução compreensível; junto à descoberta da genética moderna, tornou insustentável qualquer outra explicação para a evolução (...). Não somente é um fator eficaz e efetivo da evolução, como é o único fator efetivo."* (BLANC, 1994, p.95). Essa corrente, em particular, suscitaria mais tarde o nascimento da sociobiologia, que teve início oficialmente em 1975, com a obra *Sociobiology*, de Edward O. Wilson.

Ainda nos anos 1960 surgia uma tendência antagônica ao ultradarwinismo. Motoo Kimura foi o primeiro biólogo evolucionista a dizer que havia outra força evolutiva que poderia ser mais significativa que a seleção natural, trazendo um problema denominado "Teoria da Neutralidade". De acordo com esta teoria, Kimura demonstrou, em 1968, na revista *Nature,* em um trabalho de três páginas intitulado de "Taxa evolutiva a nível molecular" *(Evolutionary rate at the molecular level)* (ARAÚJO, 2006b) que a maioria das nossas características gênicas são repetitivas (polimorfismos) e neutras em relação à seleção natural; sendo assim, a deriva genética, no que se refere aos polimorfismos neutros, teria maior importância que a seleção natural, mesmo em grandes populações. A teoria de Kimura ajudou a esclarecer observações que a síntese moderna não era capaz de explicar como o elevado nível de polimorfismo genético. Dessa forma, solicitando uma reconsideração por parte da teoria neodarwinista, que estava dominada pela visão pan-selecionista de que a evolução era determinada quase que exclusivamente pela seleção natural (BLANC, 1994), Kimura abriu caminho para a Teoria do Equilíbrio Pontuado, discutida a seguir.

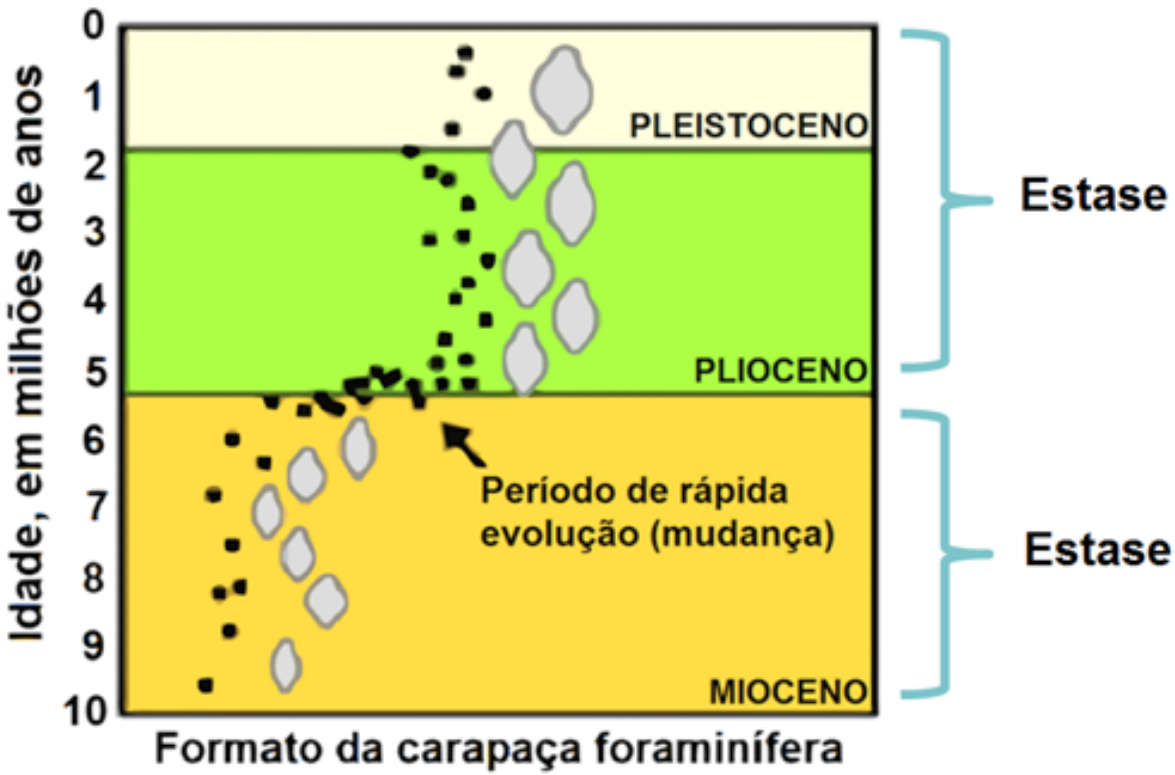
EQUILÍBRIO PONTUADO (PONTUALISMO)

Em novembro de 1971, no estado de Washington, Niles Eldredge **(Figura 19)**, do Museu Americano de História Natural, e o paleontólogo Stephen Jay Gould **(Figura 20)**, da Universidade de Harvard, desafiaram a interpretação rígida do gradualismo filético defendida tanto pelos darwinistas clássicos quanto pelos adeptos da Teoria Sintética, através da publicação, em forma de um capítulo de livro, dedicado a um simpósio organizado pela *Geological Society of America* (ARAÚJO, 2006). Esse trabalho foi expandido em uma publicação de 1972, denominada Equilíbrio Pontuado: uma alternativa ao gradualismo filético (*Punctuated equilibria: An alternative to phyletic gradualism*), na qual os autores argumentaram que, por mais incompleto que pudesse ser o registro fóssil, esse representaria um retrato acurado do ritmo de mudança evolutiva em que as espécies permaneciam relativamente as mesmas por longos períodos, o que eles chamaram de **estase evolutiva**, e quando vinha a transformação, ela ocorria rapidamente (em alguns milhares de anos) **(Figura 21)**.

Figura 19. Niles Eldredge (1943 -). Fonte: http://goo.gl/m6Mwbo.

Figura 20. Stephen Jay Gould (1941-2002). Fonte: http://goo.gl/YmNDxF.

Figura 21. Durante a estase ocorrem pequenas mudanças não direcionais nos organismos [aqui exemplificados por mudanças na morfologia da concha de foraminíferos (organismos protozoários)], decorrentes dos processos microevolutivos, sem desviar-se da média das características das populações. Estes momentos de poucas mudanças são seguidos por fases de "rápida especiação", o que compreende cerca de 1% ou menos do período de estase (tempo total de existência da espécie). Imagem cordialmente cedida por *University of California Museum of Paleontology's Understanding Evolution* website www.evolution.berkeley.edu (modificada).



A teoria do **Equilíbrio Pontuado** – também conhecida por Teoria da Saltação (Saltacionista) ou Teoria do Pontualismo (Pontuísmo) –, requer que a especiação satisfaça duas condições fundamentais:

- que ocorra rapidamente;
- que produza uma mudança morfológica significativa, ou seja, um grau de mudança necessário à produção de um gênero ou, ao menos, algo avançado nesse sentido.

O período de estase é o momento em que ocorrem pequenas alterações na frequência dos alelos genéticos devido a processos microevolutivos, mas sempre em torno da mediana, sem definir uma direção adaptativa. Isto é, as alterações nas frequências alélicas não interferem em mudanças significativas na forma dos indivíduos (IANNUZZI & SOARES, 2010). Sob esta perspectiva, uma nova espécie não surge de forma gradual em grandes números populacionais, mas sim por mudanças abruptas, que ocorrem em pequenas amostragens populacionais, denominados **isolados periféricos**.

Segundo IANNUZZI & SOARES (2004, p. 105), alguns autores estimam que a duração das fases de "rápida especiação" compreenda da cerca de 1% ou menos do período de estase, dentro do tempo total de existência da espécie. Contudo, FREIRE-MAIA (1988), relata que os "saltos" evolutivos do tipo pontuado, que podem levar dezenas (ou centenas!) de milhares de anos, tornam difícil uma definição clara da diferença entre um "salto" (pontuação) e uma taquitelia (gradualismo rápido).

Para explicar os eventos que se sucedem na formação de novas espécies (especiação), Gould e Eldredge recorreram ao modelo de especiação **alopátrica** **(ver capítulo PALEOBIOGEOGRAFIA: A DINÂMICA DA TERRA E DA VIDA)** dos isolados periféricos (efeito fundador). Segundo esta visão, novas espécies surgem quando uma população local torna-se isolada, na margem de distribuição da espécie progenitora. Se ocorrerem barreiras de isolamento reprodutivo, esses isolados periféricos constituirão uma nova espécie. Por sua vez, no caso da população da espécie ancestral, podem ocorrer três possibilidades: esta pode continuar existindo; pode retrair-se (diminuir de tamanho); ou pode extinguir-se **(Figura 22)**.

Como consequência da especiação alopátrica, as novas espécies fósseis não se originam no mesmo local onde viveram seus ancestrais. Desta forma, os hiatos morfológicos são vistos como o resultado lógico dos eventos de especiação. Em outras palavras, esta quebra marca a migração da espécie descendente de uma área perifericamente isolada, na qual se desenvolveu, para a área da espécie ancestral. Logo, é extremamente improvável que se possa verificar um processo de especiação somente acompanhando-se a ocorrência vertical (estratigráfica) de uma espécie num perfil geológico!

Para os autores, portanto, a estase e a quebra morfológica são dados evolutivos reais. As mudanças bruscas não são devidas a imperfeições do registro geológico. O registro fica, assim, na maior parte das ocorrências, isento da "culpabilidade" que o gradualismo filético lhe impunha.

GOULD & ELDREDGE (1977) voltaram a discutir a teoria do Equilíbrio Pontuado como resposta às diversas críticas que receberam dos adeptos da Teoria Sintética. Os autores fizeram questão de ressaltar que o pontualismo não derruba a Teoria Sintética mas, sim, traz uma nova interpretação mostrando que o processo evolutivo mais comum é o Equilíbrio Pontuado e não a evolução lenta e gradual.

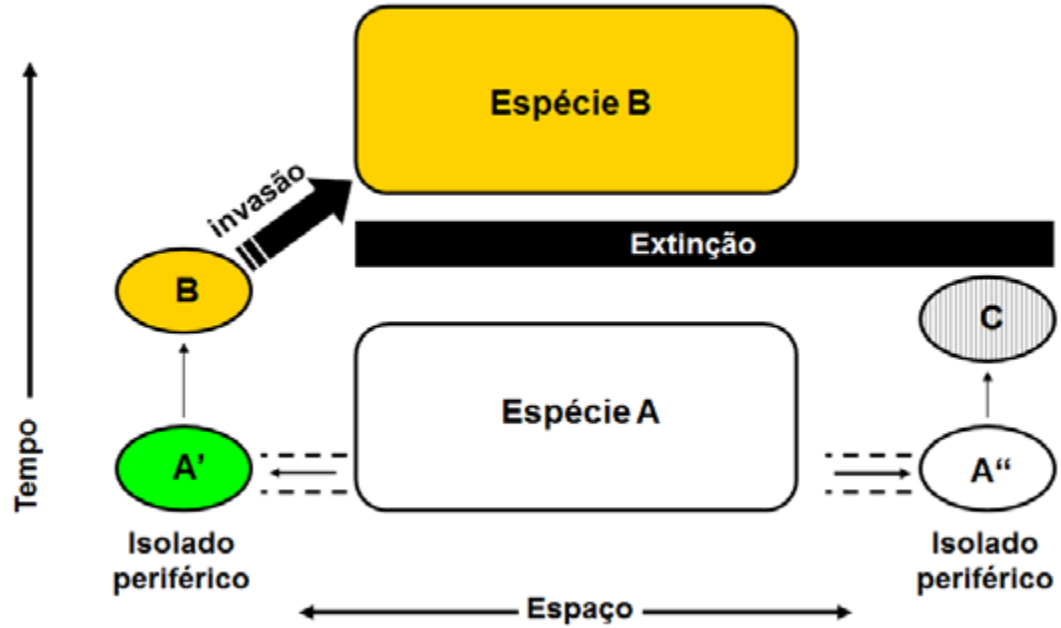


Figura 22. Espécies descendentes a partir de pequenas populações isoladas, denominadas **isolados periféricos**, devem aparecer rapidamente na coluna estratigráfica, não mostrando intergradações com a espécie ancestral. Assim, em qualquer seção local contendo a espécie ancestral, o registro fóssil para a origem da espécie descendente deve constituir-se em uma quebra morfológica acentuada entre as duas formas (pontuação). Modificado de IANNUZI & SOARES (2010).

O NASCIMENTO DE UM DEBATE: MICROEVOLUÇÃO *VERSUS* MACROEVOLUÇÃO

Após o trabalho de Eldredge & Gould, uma polêmica surgida ainda nos primórdios da concepção da Teoria Sintética, na década de 1940, voltou à tona: qual seria o processo evolutivo predominante na história da Terra? Macroevolução ou microevolução?

Como vimos, o modelo microevolutivo, advogado pelos adeptos do darwinismo, postula que a evolução se dá pelo acúmulo lento e gradual de alterações norteadas pela seleção natural, e que as mudanças macroevolutivas são compostas por um encadeamento taquitélico de eventos microevolutivos. Contudo, a partir da análise do registro fóssil que demonstrava descontinuidades marcantes, alguns autores começaram a postular modelos macroevolutivos (ou seja, grandes mudanças na forma dos organismos ocorriam rapidamente em "saltos") que se confrontavam com a visão paradigmática desse gradualismo darwiniano. Os macroevolucionistas defendiam que era impossível compreender a macroevolução baseando-se simplesmente nos processos de acúmulo gradual de micromutações. Entre esses pioneiros da macroevolução destaca-se Richard Benedict Goldschmidt **(Figura 23)** que em sua obra A base material para a evolução (*The Material Basis of Evolution*) (1940) cunhou o termo **mutação sistêmica**. Esta seria uma mutação de grande magnitude – provavelmente relacionada a alguma alteração no ritmo de desenvolvimento dos organismos (ontogenético), principalmente no que se refere ao desenvolvimento embrionário – capaz de fazer as grandes novidades evolutivas. Esses seres pioneiros, engendrados por estas grandes mutações, ficaram conhecidos como "monstros esperançosos" (FREIRE-MAIA, 1988). Outro nome de expressão na macroevolução foi o do paleontólogo George Simpson, que publicou a obra Tempo e Modo em Evolução (*Tempo and Mode in Evolution*), na qual propôs o mecanismo de **evolução quântica**. Segundo Simpson, a origem dos grandes grupos sistemáticos estaria relacionada a mutações em grande escala, capazes de gerar expressivas mudanças morfológicas fixadas por deriva genética (BARBERENA, 1984).

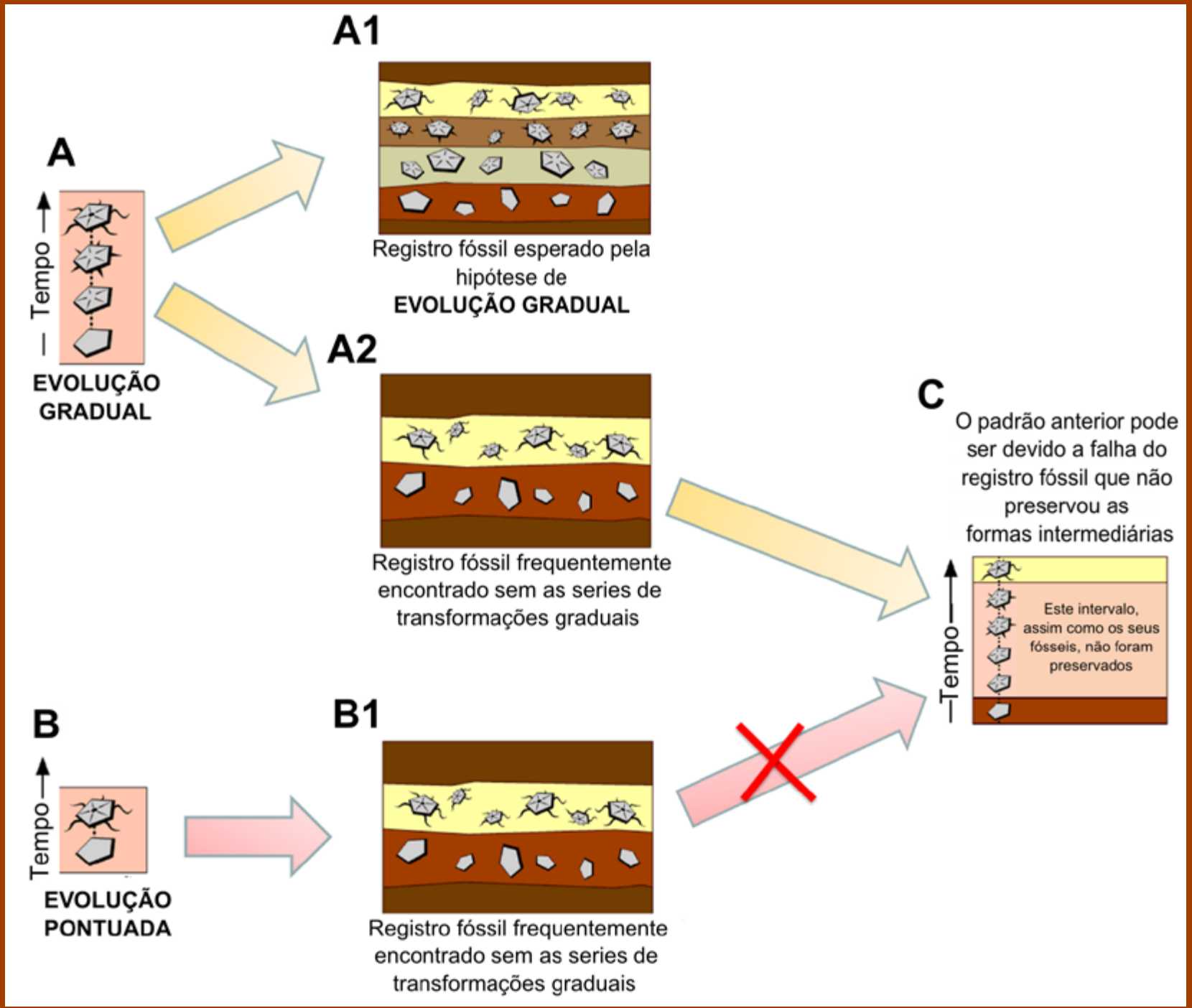
Apesar de ter alcançado expressão no meio científico, o estudo dos processos macroevolutivos foi perdendo visibilidade com a morte de seus defensores. O gradualismo permaneceu, então, como a principal diretriz dos processos evolutivos, pelo menos até a década de 1970, quando o Equilíbrio Pontuado abriu novamente o caminho para se rediscutir macroevolução.

Basicamente o modelo microevolutivo via a evolução como resultado de seleção natural lenta e gradual de algumas características que poderiam ir se acumulando ao longo do tempo. Criou-se, desse modo, uma concepção hiperselecionista e adaptativa, já que cada estágio intermediário seria adaptativo.

Contudo, os adeptos do Equilíbrio Pontuado levantaram diversas críticas ao gradualismo, entre elas a de que a seleção natural só seria efetiva, de fato, em grandes populações, pois em pequenos grupos a deriva genética seria mais eficaz. O outro argumento levantado pelos saltacionistas residia na análise do registro fóssil, já que segundo a visão gradualista seria esperado encontrar todas as séries graduais de transformações das espécies no registro que, de fato, não eram frequentes. Os gradualistas defendiam-se utilizando o mesmo argumento originalmente utilizado por Darwin de que o registro fóssil é episódico e registrava apenas momentos pontuais da evolução **(Figura 24)**.

Figura 23. Richard B. Goldschmidt (1878 - 1958). Fonte: http://goo.gl/6vYonz.

Figura 24 (Página seguinte). Em **A,** está representada a evolução gradual de um animal hipotético com todas as suas séries de transformações ao longo do tempo. Já em **A1** o registro fóssil que se esperaria encontrar de acordo com a evolução gradual, conforme a documentação de todas as formas transicionais. Em **A2** está representado o padrão frequentemente encontrado pelos paleontólogos, sem as formas intermediárias de transformação. Em **C** a justificativa encontrada pelos gradualistas de que as séries transicionais não são encontradas devido às falhas do registro fóssil. Alternativamente temos representado em **B** a hipótese de evolução pontual (saltacionista) defendida pelos adeptos do Equilíbrio Pontuado em que não existem formas intermediárias. Em **B1** é apresentada a mesma situação ilustrada em **A2** onde, neste caso, o registro fóssil mostra que há saltos na evolução, não se recorrendo ao argumento de falha do registro fóssil representado em **C**. Imagem cordialmente cedida por *University of California Museum of Paleontology's Understanding Evolution* website www.evolution.berkeley.edu, (modificada).


A1
A
Tempo
EVOLUÇÃO GRADUAL
Registro fóssil esperado pela hipótese de EVOLUÇÃO GRADUAL
A2
Registro fóssil frequentemente encontrado sem as series de transformações graduais
C
O padrão anterior pode ser devido a falha do registro fóssil que não preservou as formas intermediárias
Tempo
Este intervalo, assim como os seus fósseis, não foram preservados
B
Tempo
EVOLUÇÃO PONTUADA
B1
Registro fóssil frequentemente encontrado sem as series de transformações graduais

Os gradualistas igualmente criticavam o modelo de especiação saltacionista, pois para mostrar no registro dos fósseis que a mudança rápida é acompanhada por especiação, seria necessário mostrar que uma forma ancestral não alterada persistiria simpatricamente com seu descendente modificado. Ademais, segundo os gradualistas, não procederia a crítica dos pontuístas de que a genética não prevê a ocorrência de estase, sendo que a seleção estabilizadora explicaria esse processo (FUTUYMA, 1993).

Hoje, depois de mais de 40 anos de debate, desde o surgimento da Teoria do Equilíbrio Pontuado, cada vez mais os cientistas reconhecem que tanto eventos microevolutivos como macroevolutivos tiveram o seu papel na história evolutiva dos organismos. Inclusive parece que esse ritmo de mudança muitas vezes varia conforme o grupo taxonômico.

Muitos dos "elos perdidos" e das séries intermediárias foram encontrados, graças à intensificação das pesquisas com os fósseis, demonstrando um padrão gradualista de evolução. Por exemplo, tanto a passagem de peixe para tetrápode, como a evolução dos cetáceos – grupo que inclui as baleias com barbatanas (= misticetos), e as que possuem dentes (= odontocetos) – a partir de mamíferos terrestres, apresentam diversas séries intermediárias de transformação documentadas no registro fóssil **(Figura 25)**. Inclusive estas descobertas têm sido utilizadas pela escola gradualista para embasar a ideia de que o padrão gradual de transformação dos organismos teria sido o mais frequente na história da evolução biológica, reforçando o argumento de que seria apenas uma questão de tempo para que os demais casos em que o registro fóssil não tem um padrão gradual demonstrem os tais "elos perdidos".

Em contrapartida, os adeptos do Equilíbrio Pontuado mantêm a posição de que existem muitas sequencias sedimentares fossilíferas com padrão saltacionista. Advogam que em termos de hipótese evolutiva, é difícil explicar, mesmo que teoricamente, todos os tipos de formas transicionais. Por exemplo, como seria o elo perdido entre um táxon com plano corporal de simetria radial e outro de simetria bilateral? Ou como seria uma forma transicional entre um tetrápode típico e uma tartaruga (testudíneo)?Ademais, **(Figura 26)**, que tipo de ambientes esses táxons ocupariam, ou qual seriam os papeis ecológicos que esses organismos desempenhariam nesses ambientes hipotéticos?

Essas questões são levantadas por adeptos da teoria do Equilíbrio Pontuado, sendo que muitas delas têm encontrado respostas nos estudos de uma escola denominada "Biologia Evolutiva do Desenvolvimento" (vulgo Evo-Devo).

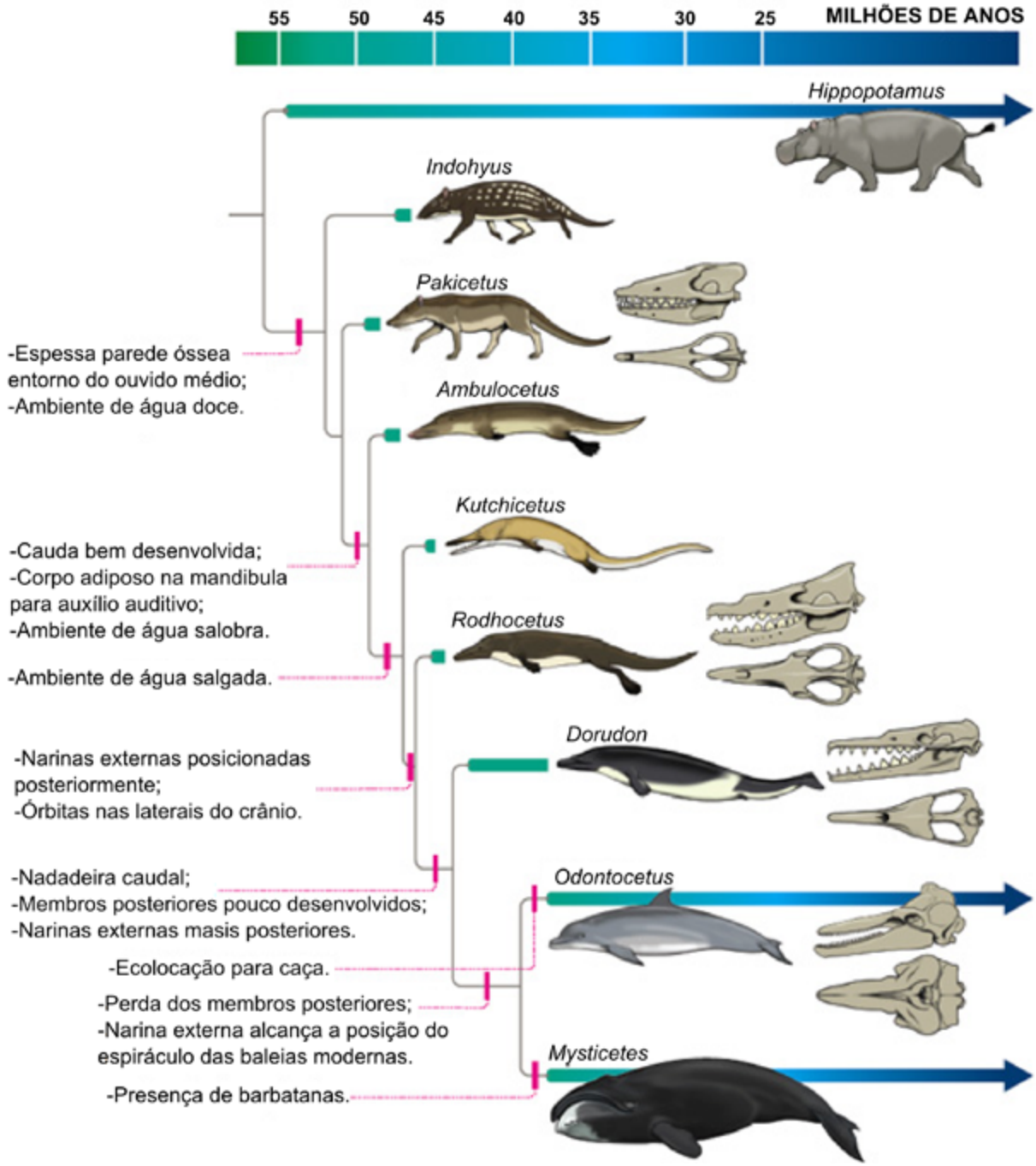


Figura 25. Hipótese evolutiva para a evolução das baleias a partir de ancestrais continentais. Baleias compartilham um ancestral-comum com os hipopótamos; a partir desse ancestral-comum, ambos os grupos começaram a divergir há cerca de 55 milhões de anos. A história evolutiva dos cetáceos se inicia há 50 milhões de anos, a partir de um ancestral terrestre (ex: ***Indohyus***). Na verdade nenhum dos representantes deste diagrama filogenético demonstra uma relação de ancestralidade direta, por isso cada um foi posicionado em um ramo separado, mas, de modo geral, os passos evolutivos de transformação a partir de mamíferos continentais ancestrais até as baleias atuais mostram um padrão gradual de evolução. Em alguns ramos foram colocadas importantes novidades evolutivas que se mantiveram dentro da linhagem evolutiva dos cetáceos. Imagem cordialmente cedida por *University of California Museum of Paleontology's Understanding Evolution website* www.evolution.berkeley.edu, (modificada).

Para saber mais consulte http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/cacadores-de-fosseis/nova-hipotese-para-a-origem-das-baleias

AS NOVIDADES EVOLUTIVAS (EVO-DEVO)

O que moldou cada forma animal, além da sua história evolutiva, foram também os processos que atuaram sobre sua embriogênese (o desenvolvimento de um estado embrionário) (CARROLL, 2006). A Biologia do Desenvolvimento é justamente a escola da biologia que estuda comparativamente o desenvolvimento dos estados ontogenéticos dos organismos na tentativa de compreender como esses processos evoluíram e interferiram em suas histórias evolutivas.

Na realidade, esta escola não é nenhuma novidade. O próprio Darwin, em A origem das espécies (1959) e em A descendência do homem e a seleção em relação ao sexo (*The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex,* 1871), bem como Thomas Huxley na sua obra Evidências quanto ao lugar do homem na natureza (*Evidence as to Man´s Place in Nature,* 1863), basearam-se extensivamente nos conhecimentos da embriologia. Contudo, durante cerca de 100 anos após a publicação destas obras não houve progresso significativo na compreensão dos mistérios do desenvolvimento. Por permanecer

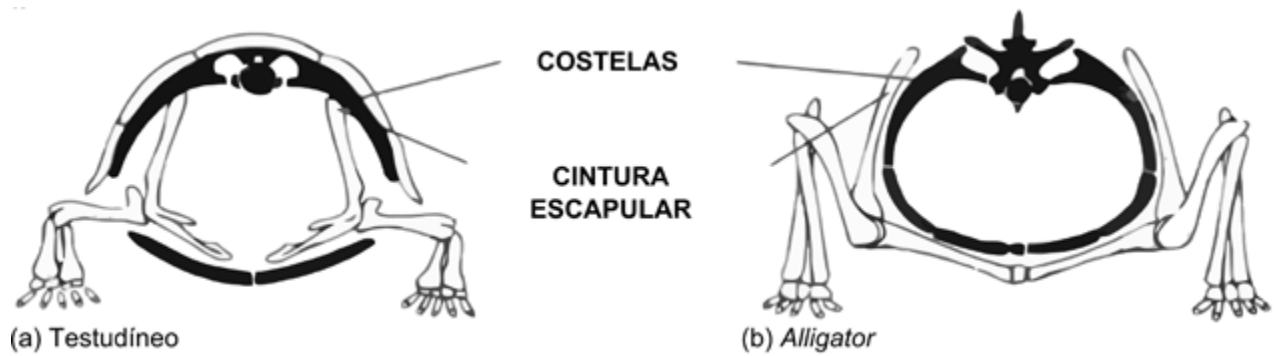


Figura 26. Estampa demonstrando a diferença anatômica do esqueleto de um testudíneo (a) e de um tetrápode típico, exemplificado aqui por um crocodiliano (b). Ambas as estampas representam a vista anterior do esqueleto axial desses táxons. O esqueleto testudíneo (a), ao contrário de um tetrápode típico do qual se diferenciou, apresenta seus ossos das cinturas escapulares e pélvicas internalizados ao conjunto de costelas do tronco. Por sua vez, o esqueleto de um tetrápode típico possui os ossos das cinturas escapulares e pélvicas posicionados externamente ao conjunto de costelas truncais. Os macromutacionistas relatam ser difícil imaginar séries intermediárias nesta mudança de arquitetura anatômica. Todavia, modelos recentes com base em estudos comparativos do desenvolvimento embriológico dos testudíneos com outros amniotas, somados a análise do registro fóssil deste grupo, também tem proposto modelos para uma evolução mais gradual da arquitetura do esqueleto pós-craniano dos testudíneos (e.g., NAGASHIMA *et al.*, 2009) Modificado de Kardong (2011).

estagnada tanto tempo, a embriologia não chegou a participar da Teoria Sintética proposta na década de 1940 (CARROLL, 2006). Até esse momento histórico, pouco se sabia sobre como as formas anatômicas se alteravam, visto que a síntese moderna tratava a embriologia como uma caixa-preta, que de algum modo convertia informações genéticas em animais tridimensionais funcionais.

Entretanto tal panorama começou a se alterar na década de 1970, quando passaram a ecoar vozes que conciliavam a embriologia e a biologia evolutiva, inaugurando, assim, a Biologia Evolutiva do Desenvolvimento, conhecida como "Evo-Devo". Em 1977, a obra Ontogenia e filogenia (*Ontogeny and Phylogeny)* de Stephen J. Gould nos lembrou da importância da heterocronia (*"mudanças evolutivas no tempo de desenvolvimento de caracteres de um organismo"* – FUTUYMA, 1993), como um mecanismo de mudança evolutiva e reativou a discussão sobre a maneira como a modificação da embriogênese pode influenciar a evolução. Outra contribuição fundamental consistiu na descoberta dos genes homeobox (*Hox*) (LEWIS, 1978; GEHRING, 1985, 1998), o que submeteu a disciplina da biologia do desenvolvimento à genética molecular, tendo os genes como os mais importantes mecanismos de desenvolvimento evolucionário (HALL, 2003).

A partir desse concílio entre a Biologia do Desenvolvimento com a Evolução pôde-se definir duas generalizações importantes em relação ao desenvolvimento dos organismos (WOLPERT *et al.*, 2008).

A primeira postula que as características mais gerais de um táxon (isto é, aquelas compartilhadas por todos os membros de um grupo) normalmente aparecem em estados mais iniciais do desenvolvimento embrionário do que as mais especializadas, tendo surgido também antes na evolução. Nos vertebrados, um exemplo dessa característica é a notocorda, que é comum a todos eles, sendo encontrada também em outros embriões de cordados não vertebrados.

A outra conclusão gerada pela "Evo-Devo" é a de que a evolução raramente inventa uma estrutura nova a partir do nada; todas as estruturas são variações de uma concepção antiga decorrente de alterações do controle gênico sobre o desenvolvimento dos organismos (CARROLL, 2006). Uma das descobertas que mais contribuiu na elucidação das alterações que ocorrem sobre este controle genético foi a dos genes homeóticos. Esses genes são assim chamados porque, quando mutados, resultam em uma **homeose** (uma grande mutação resultante da transformação de todo um segmento ou estrutura em outro segmento ou estrutura relacionada, como no caso da transformação de uma antena em apêndice locomotor). O primeiro homeótico mutante que foi obtido a partir de experiências com mosca-da-fruta (*Drosophila melanogaster*) foi denominado *Bithorax* por Calvin Bridges, em 1915. Essa é uma mutação espontânea que faz com que as pequenas asas posteriores das moscas fiquem semelhantes às grandes asas anteriores. Mais tarde, LEWIS (1978) mostrou que aquele homeótico mutante *Bithorax* era parte de um cluster de genes conhecidos como genes *Hox*. A outra parte desse gene *Hox* foi identificada nas moscas como complexo *Antennapedia*, que quando mutado faz com que antenas transformem-se em patas.

Esses genes atuam no controle das rotas de desenvolvimento de cada segmento de um organismo. Em outras palavras, eles controlam outros genes e esse controle ocorre ao longo de todo o desenvolvimento, para manter o padrão de expressão gênica. O mais interessante disso é que genes homólogos dos genes homeóticos

de *Drosophila* foram subsequentemente descobertos em outros animais, inclusive em vertebrados **(Figura 27)** (WOLPERT *et alii*, 2008).

Como podemos observar na **Figura 27**, apesar do volume de duplicações gênicas na evolução dos vertebrados ter sido significativo – em que diversos genes homólogos de um vertebrado correspondem a um único gene de inseto – podemos dizer que o complexo gênico de vertebrados e insetos apresentam, de modo geral, um conjunto semelhante de proteínas a sua disposição para as suas funções-chave na construção de seus corpos. Qualquer mudança que neles ocorram provocam grandes mudanças evolutivas nos corpos dos organismos.

Parte desse conhecimento de que a evolução reaproveita estruturas proveio também da análise do desenvolvimento embrionário dos organismos, onde é possível ver o embrião passar por estágios possivelmente semelhantes ao que podem ter ocorrido durante sua história evolutiva. A este fenômeno de reaproveitamento de estruturas para uma nova função, denominamos de **exaptação**, termo que se refere a caracteres que foram primordialmente moldados pela seleção natural para uma determinada função, mas que foram posteriormente cooptados para um novo uso.

Um interessante exemplo de exaptação é a pena das aves. Os modelos atuais esboçam que inicialmente estas estruturas teriam a função de isolamento térmico em dinossauros plumosos ancestrais de aves, sendo posteriormente exaptado para o voo, acarretando na seleção de outras mudanças geradas nas características das penas, bem como de estruturas esqueléticas e padrões neuromotores específicos relacionados ao voo (SEPULVEDA & EL-HANI, 2008).

Existem outros exemplos de exaptação conhecidos. Entre estes se encontra a história do surgimento dos nossos ossos, que em sua origem não sustentavam ou protegiam os organismos, mas seriam mais importantes no armazenamento de íons minerais. A deposição de fosfatos de cálcio em tecidos corporais nos primeiros vertebrados teria surgido e se fixado para o armazenamento de íons necessários para as atividades metabólicas desses organismos (ou seja, funcionaria como um sistema tamponante que equilibraria a acidez dos fluidos corporais, aumentada pelo metabolismo ácido). Além disso, esses elementos eram raros nos ambientes por eles habitados (marinhos). Outro exemplo de exaptação diz respeito aos ossículos do ouvido médio (martelo, bigorna e estribo) de mamíferos que são modificações de certos elementos mandibulares dos répteis. Contudo a história evolutiva destes elementos parece ser ainda mais antiga, já que se tem por hipótese (através da análise do desenvolvimento dos vertebrados) que estes elementos apresentam homologia com partes dos arcos branquiais dos peixes (FUTUYMA, 1993). Em relação às penas, a "Evo-Devo" tem demonstrado que cada estágio pelo qual uma pena se desenvolve em uma ave moderna se baseou numa inovação evolutiva. Isto tem servido de modelo na compreensão das séries de transformações pelas quais as penas passaram ao longo de milhares de anos, tendo esta hipótese recebido corroboração de descobertas paleontológicas. Diversos fósseis de dinossauros emplumados têm sido encontrados portando penas

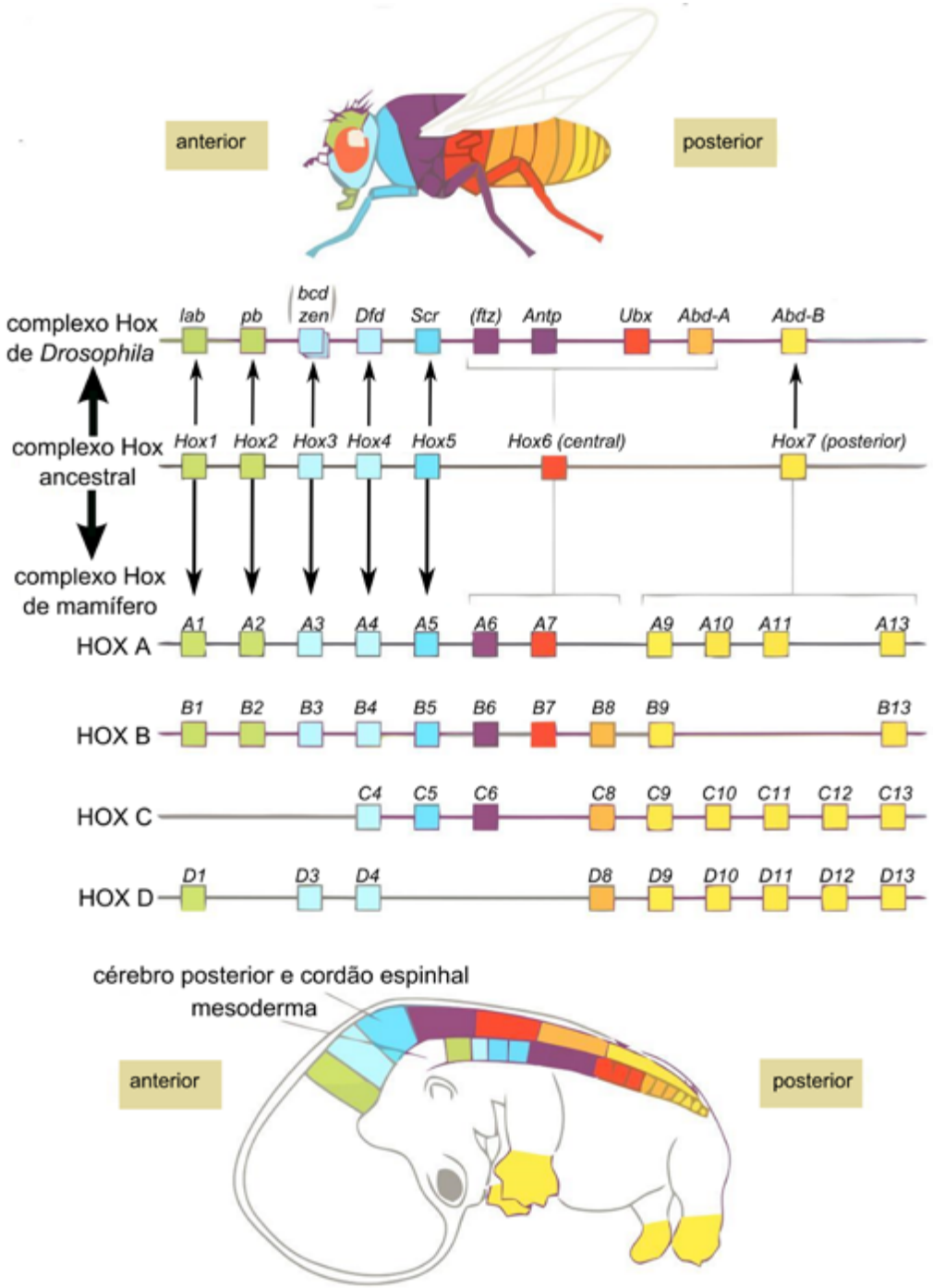


Figura 27. O complexo ***Hox*** de um inseto e de um vertebrado (aqui exemplificado por um mamífero) comparados e relacionados às regiões do corpo. Cada um dos quatro complexos ***Hox*** de mamíferos (diferentes cores) é, grosseiramente falando, um equivalente a um complexo de insetos (ou seja, o ***Antennapedia*** mais o ***Bithorax***), sugerindo que todos os quatro complexos dos mamíferos se originaram por duplicação de um complexo primordial único e que preservaram a mesma organização básica. O paralelismo não é perfeito já que, aparentemente, alguns genes individuais foram duplicados, outros perdidos, e ainda com alguns cooptados para diferentes propósitos (genes em parênteses na linha de cima) desde que os complexos divergiram.

Fonte: WOLPERT *et al.*, 2008. (modificado).

de acordo com os estágios previstos por esta teoria (PRUM & BRUSH, 2004).

Tais exemplos estão sendo associados à similaridade dos programas gênicos de diversos grupos de organismos. Isto tem reforçado a ideia de uma origem comum de todos os seres vivos, que é o cerne da biologia atual.

Desse modo, percebe-se que o estudo na área da biologia evolutiva não está estagnado, mas sim cheio de conflitos e questões controversas ainda sem respostas. Apesar de muitas das evidências elucidadas pela "Evo-Devo" terem corroborado um padrão de evolução gradual (por exemplo: a evolução dos membros em tetrápodes continentais a partir de nadadeiras; a evolução dos cetáceos a partir de tetrápodes continentais; a evolução das penas em aves a partir de dinossauros terópodes **(ver capítulo SIM, NÓS TEMOS DINOSSAUROS ... E MUITOS!)**, ela demonstrou que são necessárias pequenas mudanças no programa do desenvolvimento gênico dos organismos para que grandes alterações no plano corporal dos animais surjam, o que se aplica mais a um modelo Saltacionista do Equilíbrio Pontuado.

Por fim, tendo em vista as discussões dos modelos e um número cada vez maior de descobertas fósseis, paradigmas já estabelecidos podem vir a serem mais bem compreendidos ou novos modelos explicativos ainda podem surgir como resultado desta tentativa de compreender como os processos evolutivos se desenvolveram.

REFERÊNCIAS

AMABIS, J. M. & MARTHO, G. R. 1994. Biologia das Populações 3. São Paulo: Moderna, 511 p.

ARAÚJO, A. M. 2006. Está em curso o desenvolvimento de um novo paradigma teórico para a evolução biológica? In: L. P. MARTINS; A. C. REGNER, & P. LORENZANO (eds.). Ciências da vida: estudos filosóficos e históricos. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC), p. 1-27.

BARBERENA, M. C. 1984. Microevolução e Macroevolução: a perspectiva da paleontologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 33, Anais, Rio de Janeiro: SBG v.1, p. 465-476.

BARROS, H. L. 2003. A recepção do darwinismo no Brasil. In: H.M.B. DOMINGUES, et al. (org.). Fiocruz – Coleção História e Saúde, 192p.

BATISTETI, C. B.; ARAÚJO, E. S. N & CALUZI, J. J. 2010. Filosofia e História da Biologia 5(1), p. 35-53.

BLANC, M. 1994. Os herdeiros de Darwin. 1ª ed., Página Aberta Ltda., 296 p.

BURKHARDT, F. 2000. As cartas de Charles Darwin, uma seleta, 1825-1859. São Paulo: Editora UNESP, 340 p.

BURKHARDT, F.; EVANS, S. & PEARN, A. 2009. A evolução: cartas seletas de Charles Darwin, 1860-1870. São Paulo: Editora UNESP, 352p.

CARROLL, S. B. 2006. Infinitas formas de grande beleza: como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o nosso planeta. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 303 p.

CARMO, V. A. & MARTINS, L. A. 2006. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace e a seleção natural: um estudo comparativo. Filosofia e História da Biologia 1: 335-350.

CARMO, V. A.: BIZZO, N. & MARTINS, L. A. 2009. Alfred Russel Wallace e o princípio da seleção natural. Filosofia e História da Biologia 4: 209-233.

CUVIER, G. 1825. Discours sur les révolutions de la surface du Globe et sur les changemens qu'elles ont produits dans le règne animal. 3ª ed, Paris e Amsterdam. Disponível em http://www.mala.bc.ca/~johnstoi/cuvier/cuvier-f.htm.

DARWIN, C. 1971. The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex. 1st ed, London:- John Murray.

DARWIN, C. 2009. A origem das espécies. São Paulo: Martin Claret Ltda.

DOBZHANSKY, T. G. 1937. Genetics and the origin of species. 1ed, New York: Columbia University Press.

ELDREDGE, N. & GOULD, S. J. 1972. Punctuated equilibria: An alternative to phyletic gradualism. In: T. J. M. SCHOPF (Ed.). Models in Paleobiology. San Francisco: Freeman, p. 82-115.

FARIA, F. F. A. 2006. O despontar de um paradigma na Paleontologia. Filosofia e História da Biologia (1):125-136.

FARIA, F. F. A. 2010. Georges Cuvier e a instauração da paleontologia como ciência. Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas da UFSC, Tese de doutorado, 295 p.

FERREIRA, M. A. 2007. Transformismo e extinção: de Lamarck a Darwin. Faculdade de filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Filosofia. USP, Tese de doutorado. 152p.

FREIRE-MAIA, N. 1988. Teoria da Evolução: de Darwin à teoria sintética. Editora Itatiaia/ Ed¬itora da Universidade de São Paulo, Coleção o homem e a ciência, v.2, 416p.

FUTUYMA, D. J. 1993. Biologia evolutiva. 2ª. ed., Ribeirão Preto: Ed. Sociedade Brasileira de Genética/CNPq, FUNPEC, 631 p.

GEHRING, W. J. 1985. The homeobox: A key to the understanding of development? Cell 40: 3-5.

GEHRING, W. J. 1988. Master Control Genes in Development and Evolution: The homeobox story. New Haven, Yale University Press.

GOULD, S. J. 1992. Darwin e os grandes enigmas da vida. 2ª ed., Rio de Janeiro: Martins Fontes, 274p.

GOULD, S. J. 1977. Ontogeny and Phylogeny. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 1977.

GOULD, S. J & ELDREDGE, N. 1977. Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered. Paleobiology 3:115-151.

HALL, B. K. 2003. Evo-Devo: evolutionary developmental mechanisms. Int. J. Dev. Biol. 47: 491-495.

IANNUZZI, R. & SOARES, M. B. Teorias Evolutivas. 2010. In: I.S. CARVALHO (ed.). Paleontologia. 3. ed., Rio de Janeiro: Interciência, 756 p.

KARDONG, K. V. 2011. Vertebrados - Anatomia Comparada, Função e Evolução. São Paulo: Roca, 928 p.

LAMARCK, J-B. 1809. Philosophie Zoologique.

LEWIS, E. B. 1978. A gene complex controlling segmentation in Drosophila. Nature 276: 565-570.

MARGULIS, L. 2011. O planeta simbiótico: uma nova perspectiva da evolução. Rio de Janeiro: Rocco, 284 p.

MARTINS, L. A-C. P. 2007. A teoria da progressão dos animais, de Lamarck. Rio de Janeiro: Booklink; São Paulo, FAPESP; Campinas, GHTC. Scientiarum Historia et Theoria, vol. 1.

MARTINS, R. de A. 2010. August Weismann, Charles Brown-Séquard e a controvérsia sobre herança de caracteres adquiridos no final do século XIX. Filosofia e História da Biologia 3: 41-54.

POLIZELLO, A. 2008. Modelos microscópicos de herança no século XIX: a teoria das estirpes de Francis Galton. Filosofia e História da Biologia 5:141-176.

PRUM, R, & BRUSH, A. H. 2004. Wich came first, the feather or the bird? Scientific American, Special Edition, 14(2): 72-81.

ROSE, M. R. 2000. O espectro de Darwin: a teoria da evolução e suas implicações no mundo moderno. Jorge Zahar, 264 p.

RUSE, M. 2000. Darwin and the Philosophers: Epistemological Factors in the development and reception of the theory of the origin of species. In: R. CREATH & J. MAIENSHEIN (eds.) Studies in Philosophy and Biology. Cambridge: Cambridge University Press.

SEPULVEDA, C. & EL-HANI, C. N. 2008. Adaptacionismo versus exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução? Ciência e Ambiente 36:93-124.

WOLPERT, L. et al. 2008. Princípios de Biologia do Desenvolvimento. 3ª ed., Porto Alegre: Artmed Ed. 576 p.

ZIMMER, K. 2004. O livro de ouro da evolução: o triunfo de uma ideia. 3ª ed., Rio de Janeiro: Ediouro, 598 p.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Jogo A viagem do Beagle

Seleção Natural com Biscoitos

Equilíbrio Pontuado em ação

VOLTE AO SUMÁRIO

7

EXTINÇÃO: A OUTRA FACE DA EVOLUÇÃO

Cesar Leandro Schultz

Imagine que você está numa corrida, da qual participam diferentes tipos de veículos. É uma corrida de obstáculos, mas nenhum participante sabe qual é o percurso da prova, nem tampouco quais são os obstáculos ou sequer onde eles estão! A única regra é seguir em frente ou ficar pelo caminho. Durante o percurso, peças podem ser acrescentadas, modificadas ou retiradas do seu veículo, mas você não tem controle sobre estas mudanças. Você faz parte de uma equipe e pode cooperar com seus colegas de time para superar outras equipes (por exemplo, na disputa pelos melhores roteiros ou para garantir o suprimento de combustível para a equipe), mas também terá que disputar com os membros da sua própria equipe (pelos melhores mecânicos ou para garantir o seu suprimento de combustível). A corrida não termina nunca, você apenas segue em frente e transmite o seu veículo para o seu sucessor (se não ficar pelo caminho, devido aos obstáculos).

Parece loucura? Pois é isso que acontece com todos os organismos vivos do planeta. As condições ambientais da Terra mudam o tempo todo e ninguém sabe exatamente como, quando ou quais mudanças vão ocorrer. Aconteça o que acontecer (mudanças climáticas, separação ou colisão entre continentes, queda de asteroides etc.), a Vida tem que seguir em frente. Para as espécies, isto significa adaptar-se às novas con-

dições ou ficar pelo caminho (= Extinção). Animais e plantas competem entre si o tempo todo por território, por parceiros e por alimento. Durante esta eterna "luta", genes são transmitidos de uma geração para outra, os quais podem gerar mudanças na fisiologia e/ou na morfologia dos organismos (= Evolução) **(ver capítulo EVOLUÇÃO SOB A PERSPECTIVA DO REGISTRO FÓSSIL)**, mas nada garante que estas mudanças serão úteis quando vier o próximo obstáculo. Por um ou outro motivo, algumas espécies superam os obstáculos e seguem em frente, enquanto outras ficam pelo caminho (isto é, se extinguem).

GRANDES E "PEQUENAS" EXTINÇÕES

Evolução e Extinção, portanto, são duas faces de uma mesma moeda e fazem parte do "dia a dia" da vida do Planeta. Observando uma Carta Cronoestratigráfica como a da **figura 1**, vemos que o Tempo Geológico está ali dividido em diversos intervalos. Dentre estes, as Eras (Paleozoica, Mesozoica e Cenozoica) são divididas em Períodos (do Cambriano ao Quaternário) e estes, por sua vez, são divididos em Épocas, as quais são divididas em Idades **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**. Mas qual foi o critério usado para estabelecer estas divisões? Pois foram justamente as mudanças de fauna e flora que se observa ao longo do registro fossilífero. Ou seja, cada uma destas divisões é marcada por uma grande extinção, mas é o tamanho relativo entre estas extinções que define o grau da divisão (Era, Período, Época, Idade). Assim sendo, fica claro que as extinções não são todas iguais e que as maiores de todas são aquelas que definem as mudanças entre as Eras, depois as dos Períodos, etc. Destas grandes extinções, a mais conhecida de todos é a que define o fim da era Mesozoica e o início da Era Cenozoica (entre os períodos Cretáceo e Terciário), porque foi a extinção que dizimou os dinossauros. Entretanto, a maior de todas as extinções não foi esta, e sim aquela que limita as Eras Paleozoica e Mesozoica (entre os períodos Permiano e Triássico). Outra coisa que se pode notar, observando a carta, é que não existe uma periodicidade entre os episódios de grandes extinções (ou seja, as divisões nunca têm o mesmo tamanho). Isto nos indica que não existe uma regra temporal para prever de quanto em quanto tempo uma grande extinção pode ocorrer nem qual vai ser a sua magnitude. Estudando as extinções do passado, os especialistas identificam e quantificam os grupos que foram mais (ou menos) afetados e tentam estabelecer as circunstâncias (geológicas, geográficas, astronômicas, etc.) que possam ter levado às causas de cada um destes eventos, ou seja, por que – e como – ocorreu uma extinção naquele momento.

Este exemplo demonstra como Evolução e Extinção são duas faces de uma mesma moeda. Os organismos – e a Terra – mudam o tempo todo (a isto se denomina Evolução), mas às vezes estas mudanças acabam levando alguns (ou vários) organismos a um beco sem saída (e a isto chamamos de Extinção). Essa história começou com o surgimento da Vida na Terra e continuará enquanto a Vida conseguir superar os obstáculos que surgirem à sua frente neste - ou em outro - planeta (por que não?).

Mas que tipos de fenômenos podem fazer com que uma espécie (ou várias) desapareça(m) totalmente? Por que algumas espécies se extin-

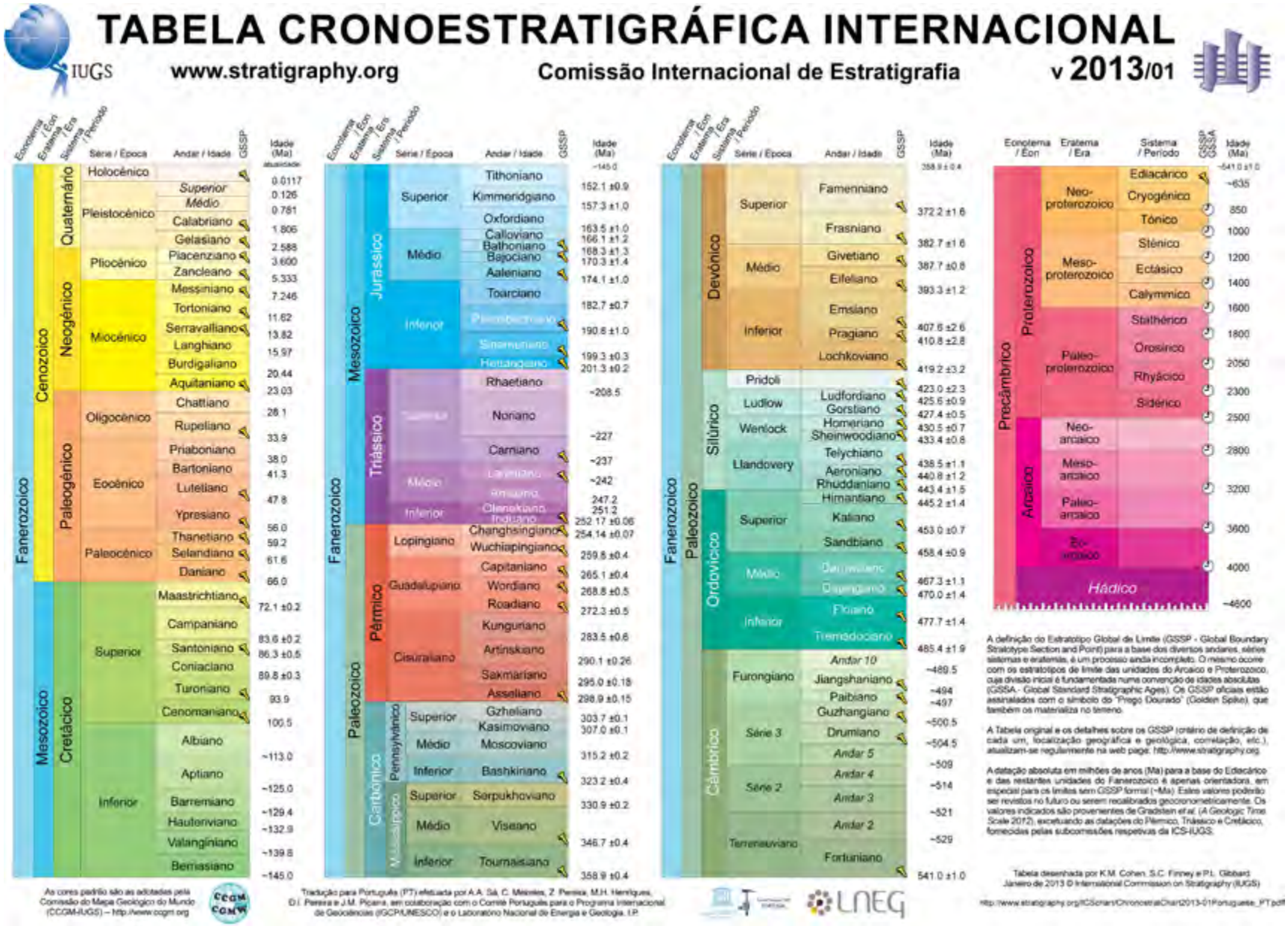


Figura 1. Carta Cronoestratigráfica Global **(clique aqui para visitar o site da ICS).**

guem e outras não? Por que o registro fóssil mostra que as extinções afetaram, às vezes, algumas poucas espécies (ou mesmo uma única), e noutras mais da metade da vida do planeta foi exterminada num único episódio?

Esta diferença de escala entre as extinções tem sido justamente o critério mais usado para separá-las em dois grupos. Num primeiro caso, estariam aquelas extinções que afetam apenas uma espécie (ou um pequeno grupo delas), enquanto que o outro extremo seria representado pelos eventos que causam o desaparecimento de um grande número de espécies em um curto intervalo de tempo. Estas últimas são chamadas Extinções em Massa.

EXTINÇÕES DE MENOR ESCALA

Pseudo-Extinção ou Extinção Filética

Quanto tempo dura uma espécie? Uma espécie permanece sempre igual e se extingue quando todos os seus indivíduos desaparecem, ou ela pode mudar e se transformar em outra? Um dos pressupostos evolucionistas é justamente o fato de que as espécies não são estáticas e imutáveis ao longo do tempo. Ao contrário, como demonstrou Charles Darwin, as interações dos organismos entre si e com o meio que os cerca geram pressões seletivas que eliminam alguns e favorecem outros através das gerações. A consequência disso é que, paulatinamente, os indivíduos de uma determinada espécie podem chegar a se tornar tão diferentes daqueles de outras gerações passadas que seria difícil, se pudessem ser colocados lado a lado, alguém considerar que todos ainda pertencessem a uma mesma espécie.

Este tipo de processo, em que os descendentes de uma população original se modificam progressivamente ao longo do tempo, é chamado de anagênese ou gradualismo filético. Quando as mudanças chegam a um ponto onde as diferenças entre a população original e os descendentes passam a gerar dúvida se ambas ainda podem ser consideradas a mesma espécie, pode ser definido um limite, a partir do qual passa a existir uma nova espécie (enquanto a espécie original passa a ser considerada extinta). Este processo é chamado **extinção filética** ou **pseudo-extinção**.

Tomemos como exemplo as mudanças sofridas pelo popular "Fusca" ao longo dos seus quase oitenta anos de existência **(Figura 2)**. Colocando os modelos em sequência, observa-se que foram se acumulando pequenas mudanças de um para outro (foram mais de 2500 até hoje!), mas é possível reconhecer em todos eles que se trata ainda de um Fusca. Entretanto, se comparássemos apenas o primeiro indivíduo da sequência com o último, será que alguém ainda consideraria que se trata do mesmo carro?

E se uma equipe de arqueólogos, num futuro distante, encontrasse, em locais diferentes, os restos de apenas um exemplar da primeira e um da última série produzida? Todas as informações referentes às mudanças intermediárias teriam sido perdidas e as pessoas teriam apenas um e outro exemplar para comparar. Assim acontece também com os fósseis. Enquanto a Vida prossegue num fluxo contínuo, o Registro Fóssil é descontínuo. As camadas sedimentares

Figura 2. "Anagênese" do Fusca. O modelo de 1936 e o de 2003, são ainda o mesmo carro? Fonte: http://kalangosfuscaclube.blogspot.com.br/2011/08/evolucao-do-fusca_3709.html.

onde os restos dos organismos são preservados não se depositam de maneira contínua e sim de modo episódico e irregular ao longo do tempo **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**. Assim, mesmo que uma espécie vá mudando progressivamente ao longo do tempo (tal como o nosso Fusca da **figura 2**), nunca vão ser preservados todos os passos referentes a cada mudança.

Mas vamos supor que isto fosse possível, isto é, que todos – ou pelo menos uma grande parte dos – passos evolutivos da transformação de uma espécie fossem preservados na forma de fósseis **(Figura 3)**. É razoavelmente fácil aceitar que o primeiro e o último espécime são suficientemente diferentes entre si para serem duas espécies, mas, numa sequência contínua, qual seria o "ponto de corte"? Isto é, onde terminaria uma espécie e começaria outra?

Figura 3. Variação morfológica (gradualismo filético) observada em fósseis de uma mesma espécie de gastrópode. As idades das conchas variam entre 10 e 3 milhões de anos. Fonte: http://www.don-lindsay-archive.org/creation/snails.html. A figura original encontra-se em *Life, The Science of Biology, Second Edition, Purves and Orians, Sinauer Associates* 1987, p. 1041.

Considerando novamente os nossos Fuscas, digamos que uma comissão de engenheiros mecânicos se reunisse para avaliar a série histórica dos modelos, colocando-os lado a lado, e decidisse que, tecnicamente, não seria mais possível considerar todos como sendo "o mesmo carro", em função das milhares modificações introduzidas entre o primeiro e o último modelo. A partir de que ponto eles considerariam que existia "um novo carro"? Qual seria a característica mais importante introduzida nos modelos (por exemplo: carburador x injeção eletrônica / motor gasolina x flex / tração traseira x dianteira / refrigeração a ar x a água?) que seria a determinante para estabelecer este limite?

Como se vê, já é difícil decidir, neste exemplo teórico usando carros, qual seria o ponto exato em que teríamos essa mudança de um tipo para o outro. Imagine então a tarefa de um paleontólogo, que dispõe apenas de uns poucos fósseis, cada um deles representando apenas uma entre as milhares de gerações envolvidas neste contínuo processo de mudança. Assim sendo, delimitar o momento em que uma espécie atinge um "limite máximo de mudanças" que a faria deixar de existir (= Extinção Filética ou Pseudo-Extinção) para que uma outra surgisse dali em diante é totalmente arbitrário, pois se baseia apenas nas eventuais diferenças morfológicas encontradas nas partes que foram preservadas dos espécimes fósseis. Em outras palavras, uma grande parte da informação sobre os organismos originais se perde de qualquer maneira, pois apenas uma fração do mesmo se preserva.

Com base neste processo contínuo de mudança, costuma-se estimar que as espécies tendem a durar, em média, entre um e dois milhões de anos, tempo após o qual os indivíduos já estariam tão diferentes da forma original que deveriam passar a ser considerados um novo táxon. Entretanto, segundo Kemp (1999), estes números valem apenas para espécies com altas taxas de evolução, em épocas de substituição (*turnover*) de espécies (ex: mamíferos, aves, trilobitas, amonites). O intervalo estimado em taxas "normais" variaria entre 3 e 15 milhões de anos, chegando ao extremo de 20 Ma em foraminíferos e diatomáceas **(ver capítulo A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS)**. De qualquer modo, tanto um número quanto o outro são decisões arbitrárias, tomadas por pessoas, baseadas em diferentes critérios pessoais.

Extinções decorrentes das interações entre os organismos vivos

Existem várias situações teóricas em que a simples interação entre os organismos, no dia a dia e ao longo dos séculos e milênios, poderia levar à extinção de uma ou mais espécies (sem ser uma Pseudo-Extinção). Este tipo de extinção é denominado extinção de fundo (*background extinction*), na comparação com os casos excepcionais das grandes extinções (ou extinções de massa) que veremos adiante.

Um exemplo seria o surgimento de algum predador particularmente eficiente e que não dependesse fundamentalmente de uma determinada presa para se alimentar (condição que tenderia a estabelecer um equilíbrio entre as populações de predador e presa, ou levaria à extinção de ambos). Dentre as várias opções de presas, ele poderia eliminar totalmente uma delas, sem que isso colocasse em risco a sua pró-

pria sobrevivência. Este tipo de extinção pode ser bem exemplificado pela ação do *Homo sapiens* desde o seu surgimento, que já levou (e continua a levar) várias espécies de animais e plantas à **extinção**.

Outro modelo seria o surgimento de uma espécie mais eficiente, que passasse a competir com outra por uma determinada área e seus recursos. Imagine duas áreas isoladas entre si que desenvolvem, ao longo do tempo, suas respectivas cadeias alimentares, com espécies totalmente diferentes de predadores e suas respectivas presas em cada uma delas. Se, num dado momento, esse isolamento for quebrado e passar a existir a interação entre as populações das duas áreas, teremos a formação de uma nova cadeia alimentar, mas onde houver a competição entre duas delas por um mesmo recurso provavelmente uma delas será extinta. Isto não é apenas um modelo teórico, mas aconteceu de fato, e por várias vezes ao longo da história, devido à deriva dos continentes **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES)**, bem como em escalas menores, dentro de um mesmo continente ou no fundo dos oceanos. No leito dos oceanos, esta situação pode ocorrer pela aproximação de duas placas continentais, cada uma com sua respectiva biota, ou por mudanças na circulação das correntes marinhas. Já no contexto terrestre, um exemplo clássico é o momento da união entre as Américas do Sul e do Norte, através da "ponte" formada pela recém-emersa América Central, ao final do Plioceno (5,3 a 1,6 Ma atrás) **(Figura 4)**.

A interação de faunas e floras que se segue, em casos como este, não envolve apenas a competição direta por território e alimento entre espécies similares dos dois lados, mas também tem um importante componente invisível, representado pela guerra microscópica entre os diferentes tipos de pragas, parasitas e/ou microorganismos transmissores de doenças trazidos de ambas as regiões. Ou seja, a uma espécie não basta ser "melhor" (em atributos físicos ou mentais) que outra numa competição; tão ou mais importante do que isto é ter a capacidade de resistir melhor às doenças trazidas pelas outras populações.

Para saber mais, leia:
Box 1 – ***Patógenos: as leis dos pequenos conquistadores***

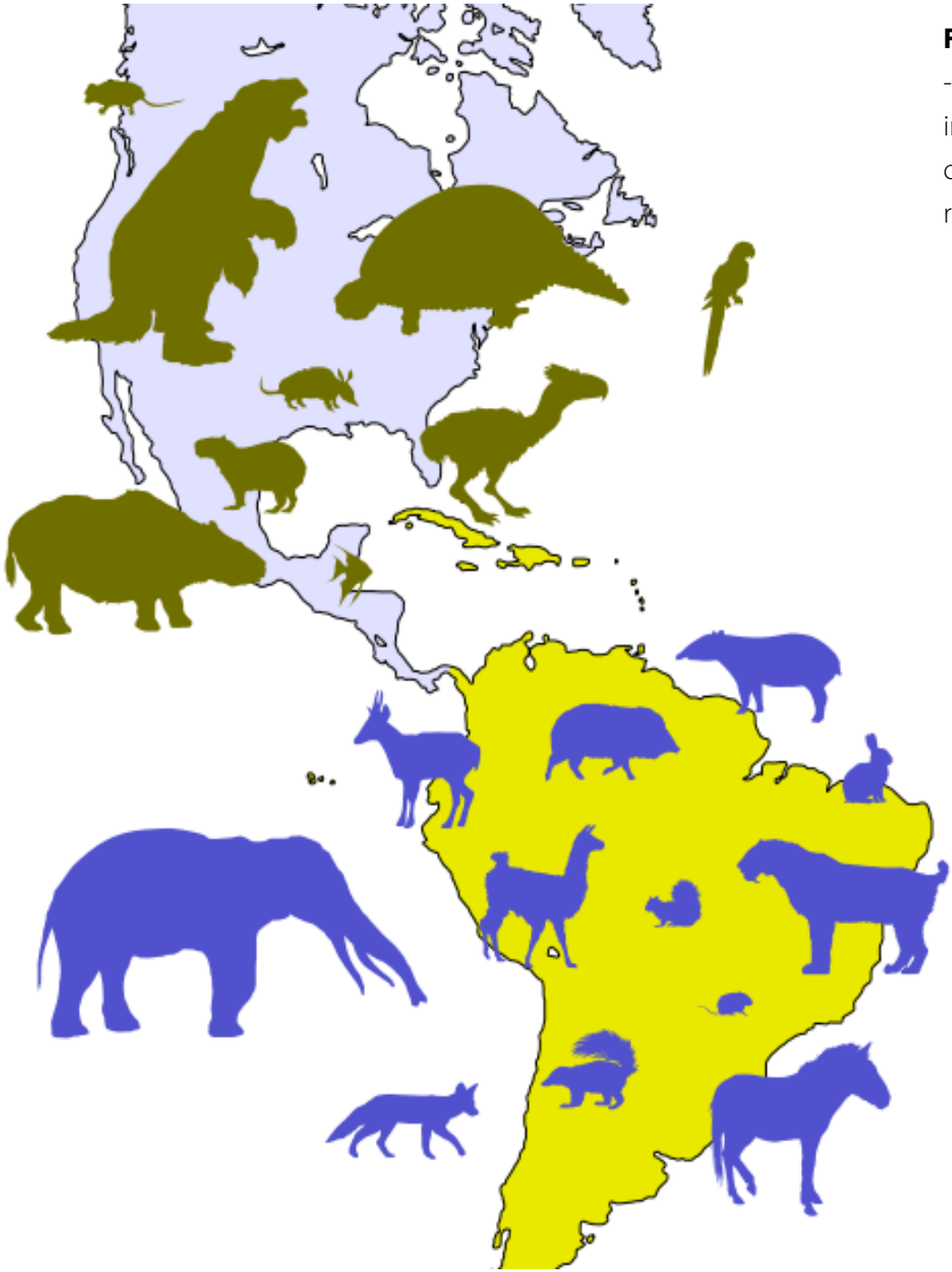


Figura 4. O grande intercâmbio americano durante o Mioceno-Plioceno. Em verde, os táxons originários da América do Sul que invadiram a América do Norte. Em azul, os que fizeram o percurso contrário. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Great_American_Interchange.

EXTINÇÕES EM LARGA ESCALA OU EXTINÇÕES EM MASSA

Todos os tipos de extinção até agora citados são considerados "normais" e "de pequena escala" dentro do processo de interação entre os organismos e o Planeta como um todo. Em alguns momentos da história da Terra, entretanto, surgiram situações em que uma significativa porção de tudo o que era vivo no planeta foi totalmente eliminada, sendo elas, por isso mesmo, denominadas **extinções em massa.** Entretanto, como já vimos, mesmo estas grandes extinções podem ter tamanhos diferentes, sendo as maiores aquelas que definem os limites entre as Eras, seguidas pelas que delimitam os Períodos, e assim por diante.

Não existe um percentual definido que determine quando uma extinção é considerada "em massa" ou não, mas os episódios mais citados costumam apresentar valores mínimos entre dez e vinte por cento de todas as espécies tendo sido extintas, tendo chegado a mais de 75% no final da Era Paleozoica. Do início daquela Era até o presente, foram constatados no registro fóssil pelo menos sete picos de extinções em massa em que foi ultrapassada a marca de 40% de extinção de gêneros marinhos **(Figura 5)**.

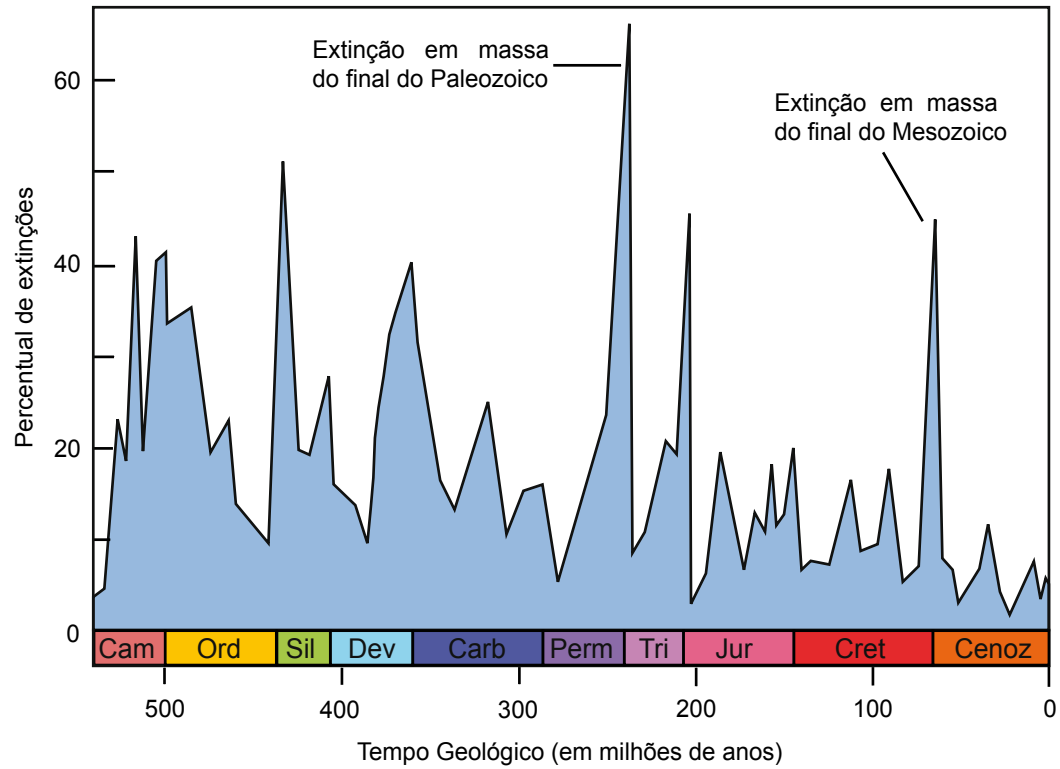
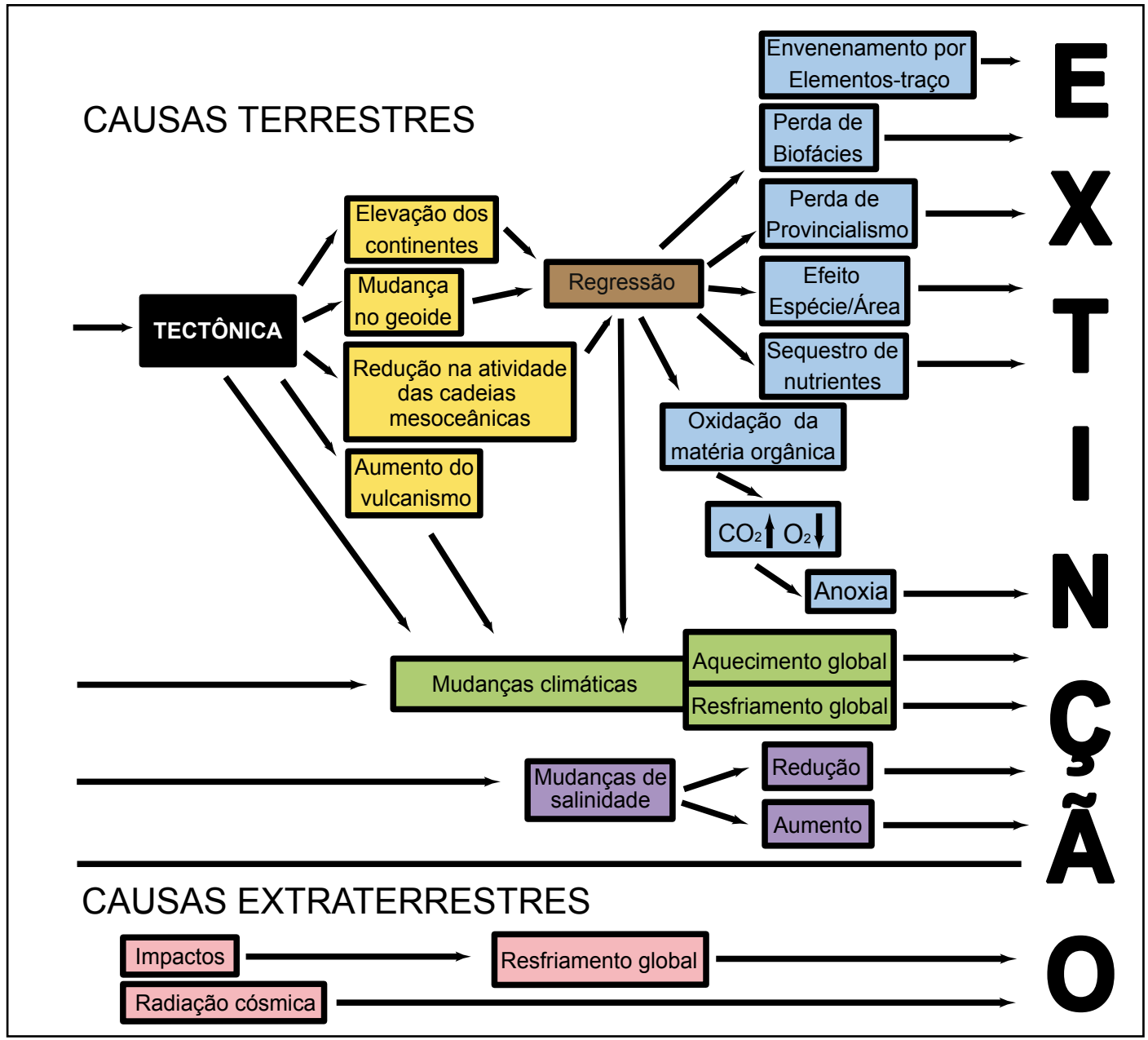


Figura 5. Percentagens de extinções entre os gêneros de animais marinhos ao longo do Fanerozoico (Modificado de Erwin, 1993).

O estudo das extinções em massa tem atraído uma maior atenção dos pesquisadores nas últimas décadas, mas ainda são poucos os episódios desse tipo que estão razoavelmente bem explicados. Seja como for, parece claro que eles não foram determinados por uma única causa, e a lista dos agentes potenciais que, sozinhos ou combinados, teriam sido os responsáveis por estas extinções, começa com causas geológicas de grande escala (movimento dos continentes, vulcanismo), passa pelas periódicas mudanças na interação entre a Terra e o Sol **(Ciclos de Milankovitch)** e chega aos componentes extraterrestres (por exemplo: impacto de meteoritos e radiações cósmicas).

A **figura 6** mostra os fatores mais aceitos como tendo sido os causadores da maior extinção de todos os tempos (limite Permiano-Triássico), há 250 Ma, e as diversas maneiras como eles podem combinar-se, gerando estragos muito maiores do que qualquer um deles causaria isoladamente. No caso, a causa tectônica aparece como a primeira causa direta, desencadeando uma série de outros fatores que foram se acumulando, como numa bola de neve descendo uma montanha. No caso, o fator "Tectônica" significa a união de todos os continentes numa só massa de terra, a Pangeia **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES)**.Este "simples" fator, porém, modificou completamente as condições do planeta. Para começar, passou a ficar difícil levar umidade (proveniente da evaporação das águas dos oceanos) para o interior do continente. Isto gerou a formação de gigantescos desertos na área continental, iniciando a extinção de várias espécies que ali viviam. Qual a evidência disto? A presença de grandes depósitos de sedimentos eólicos justamente nesse momento, e o desaparecimento, no registro fóssil, de várias espécies que até então existiam. Enquanto isso, no oceano, a diminuição da atividade vulcânica nas cadeias mesoceânicas, após a união de todas as placas, fez com que as grandes montanhas submarinas literalmente "murchassem". O espaço gerado pela redução no volume das rochas foi ocupado pela água, que se deslocou das margens para o centro dos oceanos, causando uma drástica redução do nível do mar nas áreas costeiras, e acabando com os locais de vida de várias espécies. Além disso, a reorganização dos pontos de tensão nas placas continentais, em resposta aos movimentos do magma nas camadas mais interiores da terra, gerou novos pontos de ruptura e movimento entre as placas, justamente nas áreas de maior fraqueza: as bordas dos continentes. Em resumo, a grande maioria dos habitats marinhos rasos (onde se concentra a maioria da vida marinha) foi destruída. A estas duas causas principais, em função da tectônica, somaram-se então várias outras (ver Box sobre o modo de atuação dos agentes causadores de extinção), culminando na maior extinção até hoje registrada para o Planeta **(Figura 6)**.

Figura 6. As possíveis causas da extinção em massa do final da Era paleozoica. As causas diretas estão à direita, enquanto as causas indiretas estão progressivamente mais à esquerda. Modificado de Erwin (1993).



Como já vimos, a magnitude de cada extinção foi utilizada para delimitar os intervalos da Carta Cronoestratigráfica Global **(Figura 1)**, sendo as extinções entre os períodos Permiano e Triássico e entre o Cretáceo-Terciário classificadas como suficientemente excepcionais para determinar limites entre eras distintas (respectivamente, Paleozoica-Mesozoica e Mesozoica-Cenozoica) **(Figura 7)**.

Entretanto, a observação da magnitude dos picos apresentados na **figura 5** demonstra que, em termos de número de táxons atingidos, outras extinções também alcançaram níveis excepcionais. Este conjunto das que são consideradas as mais significativas extinções da história (não apenas pela quantidade de táxons envolvidos, mas também pela abrangência geográfica – em terra e no mar – e pelas consequências evolutivas que geraram) é conhecido entre os paleontólogos como "as 5 grandes" (*The Big Five*) as quais serão brevemente apresentadas adiante.

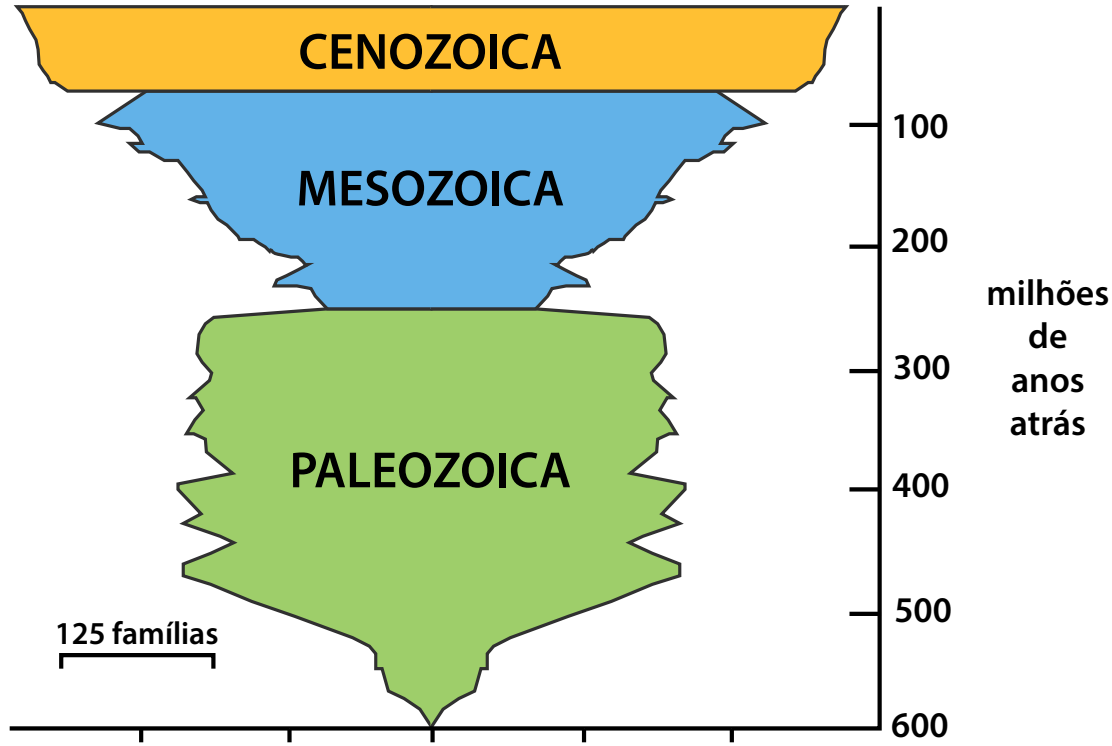


Figura 7. Os limites das três grandes eras do Fanerozoico são marcados pelos eventos de extinção em massa do final do período Permiano e do final do período Cretáceo.

1ª) Ordoviciano-Siluriano (443,4 +/- 1,5 Ma): trilobitas dizimados

No Ordoviciano **(Figura 8)**, a vida ainda era restrita aos oceanos. Entretanto, este foi um período de extensiva diversificação e expansão de numerosos grupos de organismos, incluindo cefalópodes, corais (rugosos e tabulados), briozoários, crinoides, graptólitos, gastrópodes e bivalves (ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS), gerando comunidades muito mais complexas do que as que existiam no Período anterior (o Cambriano).

Grupos afetados: Esta grande abundância e diversidade de organismos foi determinante para que a extinção que ocorreu no final do Ordoviciano fosse considerada a segunda mais devastadora a afetar comunidades marinhas na história da Terra. Estima-se que 85% das espécies tenham sido extintas. Este índice inclui o desaparecimento de um terço de todas as famílias de braquiópodes e briozoários, bem como numerosos grupos de trilobitas, conodontes e graptólitos. Grande parte da fauna construtora de recifes também foi dizimada. Ao total, mais de cem famílias de invertebrados marinhos desapareceram.

Causas: Nenhuma evidência relacionada a impacto extraterrestre foi encontrada para esse momento da história. As evidências apontam para dois pulsos de extinção, relacionados a mudanças climáticas globais associadas à glaciação da Gondwana. Através da integração de dados paleomagnéticos e dos depósitos glaciais (especialmente depósitos glaciais descobertos no Deserto do Saara), estima-se que, quando a Gondwana passou através do pólo norte, no Ordoviciano, ocorreu, num primeiro momento, um resfriamento climático de tal grau que a glaciação espalhou-se por todo o globo. O grande acúmulo de gelo em cima da Gondwana gerou uma drástica diminuição do nível do mar e da temperatura na atmosfera. Esta regressão marinha reduziu substancialmente as áreas dos ecossistemas plataformais e esses fatores, aliados à diminuição da temperatura, teriam sido as causas fundamentais do primeiro pulso de extinção do Ordoviciano. O final da glaciação coincide com o segundo pulso de extinção, que estaria relacionado com uma elevação do nível dos mares e aquecimento climático. Estes dois ciclos de mudanças extremas nas plataformas continentais afetaram particularmente os organismos marinhos bentônicos fixos que habitavam os fundos dos mares, tais como braquiópodes e crinoides. Entretanto, organismos móveis como os trilobitas, que eram muito comuns antes do fim do Ordoviciano, também foram bastante afetados e, após a extinção, persistiram com uma diversidade bem menor.

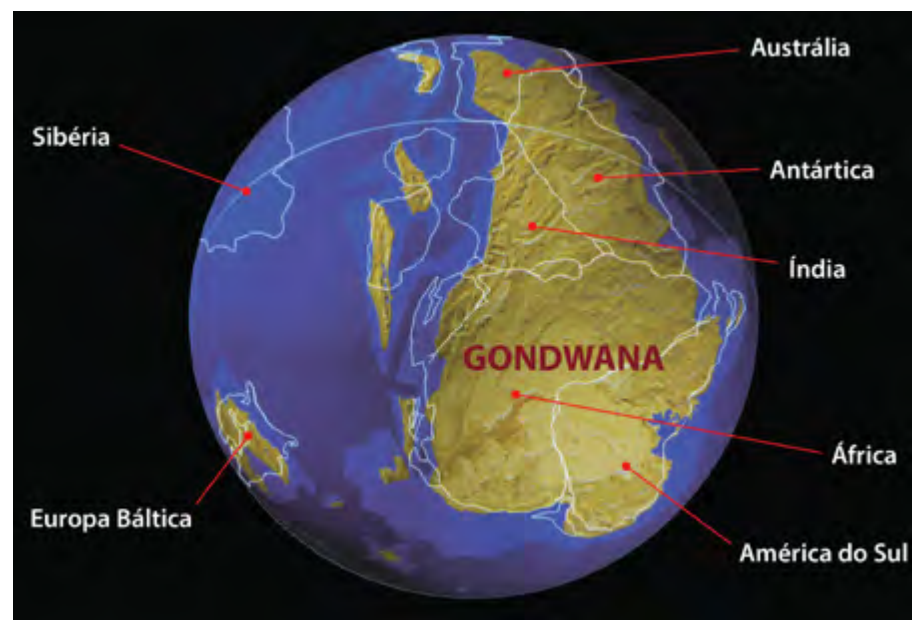


Figura 8. Mapa paleogeográfico do Ordoviciano. Modificado de Papolio (2003).

2ª) Devoniano-Carbonífero (358,9 +/- 0,4 Ma): o fim dos placodermes

A segunda grande extinção da história ocorreu no Neo-Devoniano. Entre os vertebrados, o Devoniano **(Figura 9)** registra uma grande diversificação dos tubarões e placodermos, além da irradiação dos peixes ósseos. Entre os invertebrados, surgem os amonoides, e os mares eram dominados por organismos construtores de recifes, como os estromatoporoides e corais rugosos e tabulados **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**. No ambiente terrestre, a vida se espalhava, com o surgimento dos anfíbios, dos insetos e das primeiras florestas.

A extinção ocorreu na parte final do Devoniano e foram identificados pelo menos dois eventos de extinção, num intervalo em torno de 10 milhões de anos.

Grupos afetados: A crise abrangeu primariamente a comunidade marinha, especialmente os construtores de recifes, incluindo os estromatoporoides, corais rugosos e tabulados. Esta crise afetou de tal modo estes organismos que a construção de recifes praticamente desapareceu nos períodos seguintes, e só foi retomada com o surgimento dos corais escleractínios (corais modernos) no Mesozóico. Dos demais grupos de invertebrados marinhos, 70% dos táxons não sobreviveram. Os grupos mais afetados foram os moluscos cefalópodos livre-natantes, os braquiópodes articulados, ostracodes e trilobitas, crinoides, conodontes e acritarcas **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**, bem como os ostracodermos e placodermos. Estima-se uma perda de cerca de 27% de famílias e de 70 a 80% de espécies de organismos marinhos.

Causas: Foram descritas evidências de impactos extraterrestres durante o Meso e o Neo-Devoniano, mas nenhum deles coincide com as extinções. A extinção neodevoniana assemelha-se mais a uma longa crise biótica do que a uma única extinção em massa, de modo que as explicações estão focadas em mudanças no nível dos mares, anoxia oceânica e atmosférica. As evidências sugerem que as espécies marinhas de águas mais quentes foram as mais severamente afetadas, levando a associar esta extinção a um episódio de resfriamento global relacionado a uma nova glaciação na Gondwana (evidenciada pela presença de depósitos glaciais desta idade no norte do Brasil), similarmente ao que ocorreu no Ordoviciano. Segundo Lucas (2005), porém, outra hipótese liga as extinções à dispersão das plantas terrestres durante o Devoniano. Esta dispersão teria intensificado a formação de solos e o intemperismo químico, o que teria levado uma maior quantidade de matéria orgânica (ou seja, mais nutrientes) para os oceanos. O aumento da bioprodutividade – e a consequente acu-

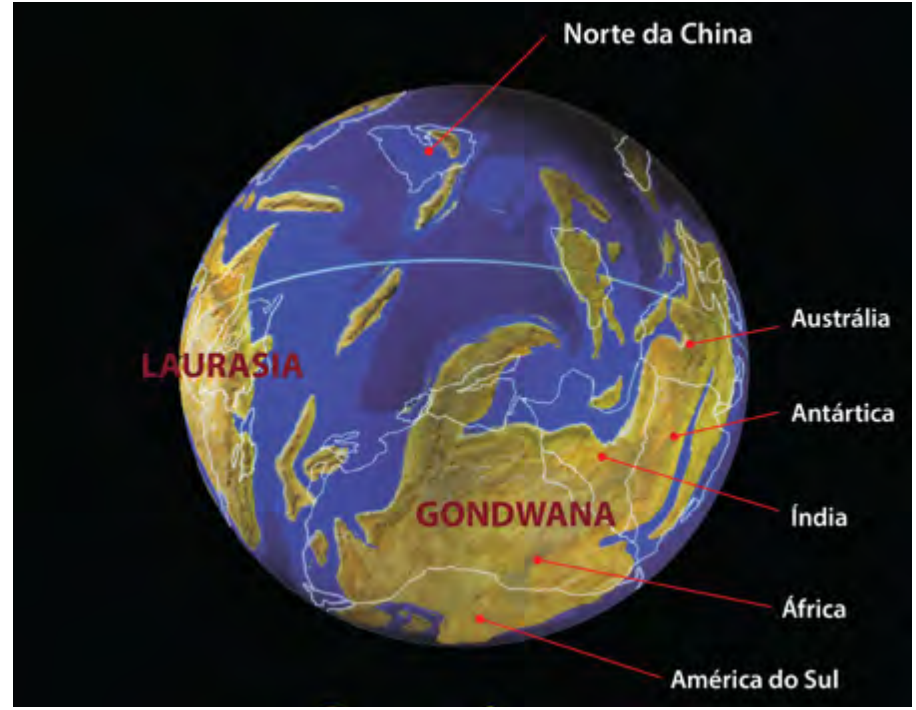


Figura 9. Mapa paleogeográfico do Devoniano. Modificado de Papolio(2003).

mulação de matéria orgânica nos mares rasos – teriam causado anoxia (evidenciada pelos folhelhos negros, comuns no Devoniano) e levado à extinção dos invertebrados que habitavam os fundos oceânicos. Adicionalmente, a remoção de CO_2 da atmosfera causaria um resfriamento global, o que poderia ter dado início a uma nova glaciação.

3ª) Permiano-Triássico (252,17 +/- 0,06 Ma): a maior catástrofe da História

Com a formação do supercontinente Pangeia no Permiano, a área continental superou, pela primeira vez na história geológica, a área oceânica. O resultado desta nova configura ção global **(Figura 10)** foi o extensivo desenvolvimento e a diversificação das faunas de vertebrados terrestres, concomitantemente com a diminuição das comunidades marinhas. A fauna terrestre incluía insetos, anfíbios e répteis (que evoluíram durante o Carbonífero), bem como o grupo dominante de vertebrados terrestres, os sinápsidos. A flora terrestre era predominantemente composta por gimnospermas (a "Flora *Glossopteris*"), além de coníferas (mais especificamente as Cordaitales). A vida nos mares incluía braquiópodes, amonoides, gastrópodes, crinoides, peixes ósseos, tubarões e foraminíferos. Corais e trilobitas ainda existiam, mas eram bem mais raros **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS).**

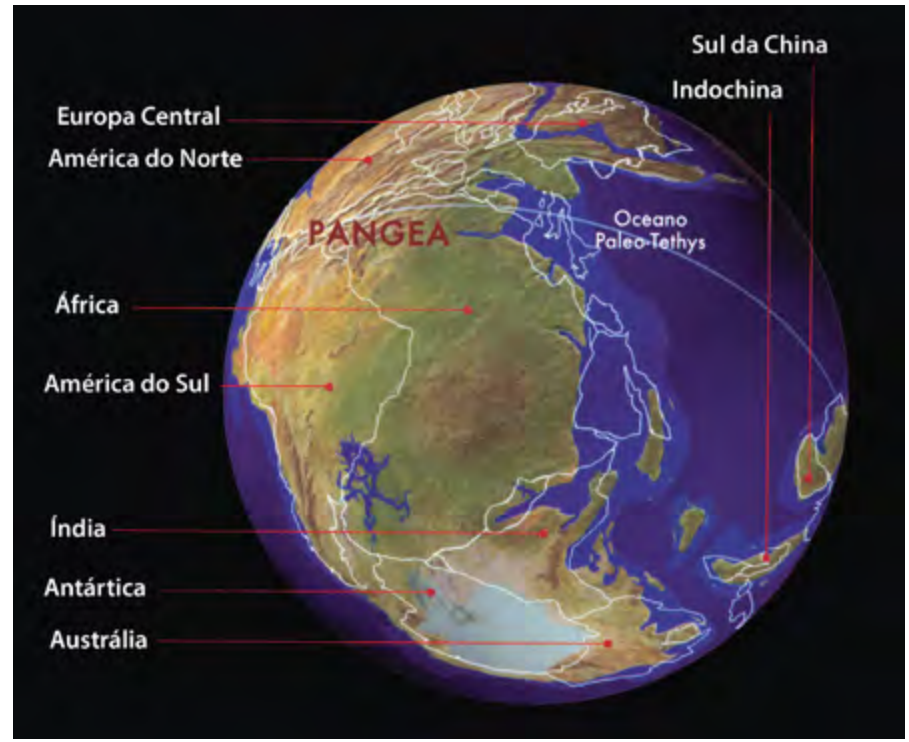


Figura 10. Mapa paleogeográfico no limite Permiano-Triássico. Modificado de Papolio (2003).

Grupos afetados: O limite Paleozoico-Mesozoico marca uma grande mudança de comunidades marinhas dominadas por braquiópodes, crinóides, estromatoporoides, corais rugosos, tabulados e briozoários para comunidades dominadas por moluscos (especialmente amonites, bivalves e gastrópodes) e corais escleractínios (embora estes últimos viessem a surgir apenas no Mesotriássico). Corais rugosos e tabulados, amonoides goniatíticos, braquiópodos productídeos e trilobitas, ain-

da existentes no final do Permiano, desapareceram totalmente no Triássico. Já os briozoários estenolemados, braquiópodes articulados e crinoides fixos foram drasticamente reduzidos **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**.

Esta extinção, que eliminou mais de 90% dos invertebrados marinhos em menos de 500.000 anos (Lucas, 2005), diferentemente das anteriores, foi um evento seletivo e sua história não é nada simples, como já vimos. A extinção do Permiano ocorreu por volta de 248 Ma atrás e foi a maior de todos os tempos. De 90 a 96% de todas as espécies marinhas foram eliminadas. As vítimas fatais foram foraminíferos fusulinídeos, trilobitas, corais rugosos e tabulados, peixes acantódios, e os sinápsidos pelicossauros, dinocefálios e terocefálios. O maior animal terrestre existente no início do Triássico era o *dicinodonte Lystrosaurus,* cujo tamanho girava em torno de 1m de comprimento. Outros grupos foram reduzidos substancialmente, como os briozoários, braquiópodes, amonoides, tubarões, peixes ósseos, crinoides, euripterídeos, ostracodes e equinodermos **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**.

Causas: Como vimos anteriormente**,** não existe um consenso acerca das causas da grande extinção permo-triássica, sendo que sua grande magnitude pode ter resultado justamente da combinação de várias causas, lideradas pela drástica redução das plataformas continentais decorrente da formação da Pangeia e pelas grandes erupções vulcânicas basálticas na Sibéria (as *Siberian Traps*), com liberação de gases, aquecimento global e possível anoxia oceânica (Benton, 1995).

Para saber mais, leia:

Box 2 – ***Vulcanismo***
Box 3 – ***Paleogeografia***

4ª) Triássico-Jurássico (201,3 +/- 0,2 Ma): o fim dos conodontes

A extinção do final do Triássico **(Figura 11)** tem sido comparada, em termos de abrangência, com a do final do Cretáceo (Lucas, 2005). Entretanto, a visão de que um único evento tenha provocado a extinção triássica vem sendo substituída pela ideia de que grupos como amonoides, bivalves, conodontes **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)** e alguns vertebrados experimentaram múltiplas ou prolongadas extinções através do Neo-Triássico, enquanto outros grupos não foram praticamente afetados. Assim, ao invés de uma única extinção em massa no final do Triássico, o Neo-Triássico deveria ser caracterizado como um intervalo de elevadas taxas de extinção (uma prolongada crise biótica), envolvendo vários eventos distintos de extinção, durante os últimos 15 Ma do Período.

Grupos afetados: No mar, as faunas dos recifes foram profundamente dizimadas, os amonoides e equinodermos quase foram extintos, enquanto braquiópodes, gastropodos e bivalves foram severamente afetados e os conodontes desapareceram totalmente **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**. Em terra, os últimos anfíbios labirintodontes também desapareceram e os diápsidos arcossauros, liderados pelos dinossauros, pela primeira vez na história sobrepujavam os sinápsidos como os herbívoros e carnívoros dominantes. Os terápsidos (cinodontes e dicinodontes), até então os grupos dominantes, tiveram uma drástica redução a partir do terço final do Triássico, passando a ser representados, após o final do Período, quase que exclusivamente por um grupo de cinodontes de pequeno tamanho, surgido pouco antes, os mamíferos.

Causas: As causas da extinção do Triássico não são bem conhecidas, mas explicações incluem resfriamento global e impactos extraterrestres. Podem ter sido mudanças climáticas, associadas ao estabelecimento do rifteamento da Pangeia e à abertura do atlântico, juntamente com a deriva dos continentes do cinturão tropical. Segundo Lucas (2005), existem várias evidências de impactos próximos ao final do Triássico, sendo a mais famosa delas a cratera Manacougan (de 214 Ma) em Quebec, no Canadá, a qual, porém, precede o limite Triássico-Jurássico em 15 Ma. De fato, nenhuma evidência amplamente aceita de um impacto foi demonstrada, até o momento, bem para o final do Período.

Por outro lado, o grande extravasamento de lava conhecido como CAMP – *Central Atlantic Magmatic Province* – ocorrido no final do Triássico, com a abertura do Atlântico, pode ter influenciado a extinção, apesar de ainda não haver uma explicação para o seu preciso mecanismo de ação (Lucas, 2005). Imagina-se que, tal como deve ter ocorrido na extinção permiana, deve ter havido liberação de metano do assoalho oceânico, intoxicando e asfixiando a fauna marinha.

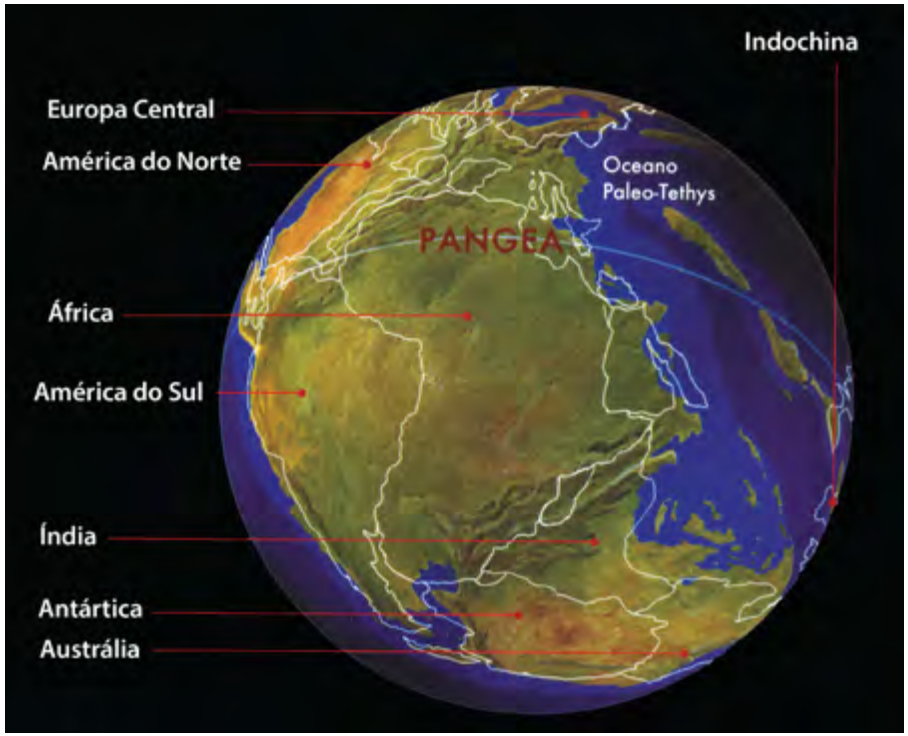


Figura 11. Mapa paleogeográfico no limite Triássico-Jurássico. Modificado de Papolio (2003).

5ª) Cretáceo-Terciário (K-Pg) (66 Ma atrás) – o fim(?) dos dinossauros

Através do Triássico, Jurássico e Cretáceo, ou seja, a Era Mesozoica, radiações faunísticas e florísticas resultaram em um grande número de espécies. Os ambientes continentais passaram a ser dominados por novas faunas, compostas por dinossauros, crocodilos, mamíferos, pterossauros, anfíbios e aves. No Cretáceo, as floras terrestres passaram, pela primeira vez, a ser dominadas pelas angiospermas, ao invés das gimnospermas. Nos mares, ocorreu uma grande irradiação de répteis marinhos (ictiossauros, plesiossauros, mosassauros), além dos invertebrados, representados por bivalves rudistas, amonoides, belemnoides, corais escleratínios, bivalves e braquiópodes **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**.

Todo esse contexto foi drasticamente modificado, no final do Cretáceo, com a mais famosa de todas as extinções em massa.

Grupos afetados: No limite K-Pg (Cretáceo-Paleógeno), 85% de todas as espécies desapareceram. Apesar de os dinossauros serem as vítimas mais conhecidas, vários outros grupos de organismos marinhos e terrestres foram afetados. Entre eles, os pterossauros, os amonoides, os grandes répteis marinhos e bivalves rudistas, além de muitas espécies de plantas, foram totalmente extintos.

Figura 12. Mapa paleogeográfico do limite K-Pg. Modificado de Papolio (2003).

Outros organismos foram severamente afetados mas não se extinguiram, como os foraminíferos plantônicos, nanoplancton calcáreo, diatomáceas, dinoflagelados, braquiópodes, moluscos e equinodermos) e peixes. Curiosamente, a maioria das aves (logo, nem todos os dinossauros foram afetados **(ver capítulo SIM, NÓS TEMOS DINOSSAUROS ... E MUITOS!)**, além dos mamíferos, tartarugas, crocodilos, lagartos, cobras e anfíbios foram pouco atingidos.

Causas: A hipótese mais proeminente invoca forças extraterrestres, como o impacto de um meteorito ou cometa como o principal agente de extinção. De fato, a extinção do fim do Cretáceo constitui-se no único evento de extinção em massa em que há coincidência entre impacto e dados paleontológicos. Hipóteses mais antigas citavam vulcanismo ou glaciação como as possíveis causas.

A evidência mais concreta do referido impacto é a cratera de *Chicxulub* (com diâmetro calculado em 300Km), na costa norte da Península de Yucatán, no México. Por mais de uma década, tal cratera foi assinalada como de idade coincidindo com o fim do Cretáceo, mas estudos recentes – e ainda muito controversos – têm colocado isto à prova, por defenderem que a cratera foi formada 300.000 anos antes do fim do Cretáceo (Keller *et al*., 2003). Com isso, alguns cientistas postulam que deve ter havido um outro impacto, exatamente no limite K-Pg, há 65 Ma, que é marcado pela presença de uma fina camada de irídio, depositada na mesma época que a extinção ocorreu. O irídio é um elemento raro na Terra, só sendo encontrado no manto terrestre, mas é muito abundante em meteoros e cometas. A camada de irídio é encontrada tanto em sedimentos terrestres quanto marinhos, em vários locais do mundo onde o limite K-Pg aflora.

A maioria dos paleontólogos acredita que esta ampla distribuição de irídio no limite K-Pg só poderia ter sido causada por um impacto extraterrestre. Além do irídio, são encontradas, em abundância, esférulas de basalto, as quais devem ter sido geradas por um impacto na crosta terrestre e, posteriormente, lançadas na atmosfera. A presença de grãos alterados de quartzo, diagnósticos de impactos, fornece evidência adicional.

Entretanto, ainda não é muito bem compreendido o papel das erupções na Índia e no Paquistão – as *Deccan Traps* – que ocorreram no fim do Cretáceo. As altas concentrações de irídio na camada limite têm sido interpretadas, alternativamente (McLean, 1985; 1995), como tendo origem no manto, a partir das intensas erupções vulcânicas ocorridas naquela região, que teriam jogado uma enorme quantidade de cinzas na atmosfera, alterando o clima e mudando a composição química dos oceanos, causando, assim as extinções.

Para saber mais, leia:
Box 4 - ***Causas extraterrestres: Impactos***

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função de tudo o que foi apresentado, fica evidente que o estudo das extinções constitui-se num dos mais complexos e fascinantes campos da Ciência, pois engloba desde aspectos intrinsecamente biológicos, referentes aos processos evolutivos dos organismos, passa pela interação destes organismos com os processos geológicos, busca os sinais desta interação no registro geológico e paleontológico e chega até a questão da interação da Terra com o Sistema Solar e o Universo.

Entretanto, todos estes fatores, em seus diferentes níveis de atuação, individualmente ou em conjunto, não estão intrinsecamente ligados apenas à questão da erradicação de alguns ou vários destes organismos, mas sim ao processo de evolução da Vida em nosso planeta, pois as extinções fazem parte deste processo. Tudo o que existe hoje é o resultado deste permanente balanço, entre o surgimento e o desaparecimento de espécies, seja de modo contínuo ou descontínuo.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, L.W.; ALVAREZ, W.; ASARO, F. & MICHEL, H.V. 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous–Tertiary extinction. Science 208:1095-1108.

BENTON, M.J. 1995. Diversification and extinction in the history of life. Science 268: 52-58.

ERWIN, D.H. 1993. The great paleozoic crisis. Life and death in the Permian. New York: Columbia University Press, 327p.

FERIGOLO, J. 1999. Late Pleistocene South-American land-mammal extinctions: the infection hypothesis. In: J. RABASSA & M. SALEMME (eds.) Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, v.12, Rotterdam: A.A. Balkema Publishers, p. 279-310.

HALLAM, A. 1989. The case for sea-level change as a dominant causal factor in mass extinctions of marine invertebrates. Philosophical Transactions of the Royal Society, London Ser. B 325:437-455.

HOOPER VIRTUAL PALEONTOLOGICAL MUSEUM (HVPM). Mass ex¬tinctions. Disponível em: http://park.org/Canada/Museum/extinction/massextinc. html.

ABLONSKI, D. 1986. Causes and Consequences of Mass Extinctions. In: D. K. ELLIOT (ed.) Dynamics of Extinction. New York: John Wiley & Sons, p.183-230.

KOLBERT, E. 2014. The sixth extinction: an unnatural history. H. Holt & Company, 319p.

LUCAS, S. G. 2005. 25 years of Mass Extinctions and Impacts. Geo¬times 50(2):28-32.

RAUP, D.M.1985. Magnetic reversals and mass extinctions. Nature 314:341-343.

RAUP, D.M. & SEPKOSKI Jr., J.J. 1984. Periodicity of extinctions in the geological past. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 81: 801-805.

TAPPAN, H. 1982. Extinction or survival: selectivity and causes of Phanerozoic crises. In: L.T. SILVER & P.H. SCHULTZ (eds.) Global Implications of Impacts of Large Asteroids and Comets on the Earth. Geological Society of America Special Paper, Geological Society of America, p. 265-276.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO:

Extincta: o jogo das extinções
Jogo Navegator 100
Jogo Corrida Paleontológica
Desvendando as Extinções Pleistocênicas
Jogo Paleodetetive

Box 1: ***Patógenos: as leis dos pequenos conquistadores***

Quando existe uma relação direta entre uma espécie e um tipo particular de fonte alimentar, a extinção desta última pode levar à extinção da primeira, às vezes numa reação em cadeia. Por exemplo, a extinção de uma planta pode levar à extinção de um herbívoro e este à de um carnívoro. Da mesma forma, espécies que mantêm entre si relações ecológicas muito estreitas (mutualismo, parasitismo, comensalismo) podem se extinguir juntas se uma delas for de algum modo levada ao desaparecimento.

Graham (1986) discute as extinções do final do Pleistoceno (1,6 a 0,01 Ma atrás), envolvendo, entre outros, a fauna de mamíferos gigantes então existente. Segundo Graham (1986), outros autores atribuem este evento de extinção à predação intensa efetuada pelos humanos paleolíticos. Para Graham (1986), no entanto, a extinção se deu em decorrência de mudanças climáticas (estágios glaciais/interglaciais) que desencadearam a necessidade de uma "reorganização biótica". A destruição de alguns habitats, decorrente do avanço do frio, forçou uma mistura de biotas austrais e boreais nas áreas mais quentes, enquanto as mudanças na vegetação (florestas dando lugar a savanas ou vice-versa, dependendo das latitudes e das flutuações climáticas) tiveram impacto direto sobre a cadeia alimentar animal, especialmente entre os consumidores primários. Herbívoros que viviam em habitats separados passaram a ocupar – e competir – pelo mesmo espaço e pelas mesmas plantas, trazendo atrás deles os carnívoros, e este desequilíbrio gerou uma crise entre a biota, levando várias espécies à extinção.

Vários pesquisadores, como Ferigolo (1999), propõem que o episódio da extinção da mega-fauna Sul-americana – e outros – deveriam ser examinados sob uma perspectiva diferente. Os verdadeiros vilões não seriam nem grandes nem espetaculares, mas criaturas microscópicas cujo potencial mortífero, porém, pode ser tão grande quanto a queda de um meteoro ou um terremoto: os patógenos.

Em suas conclusões, aquele autor listou uma série de assertivas vinculando, para os vertebrados, infecções e extinções:

- Sempre que uma extinção de espécies nativas ocorrer após a chegada de imigrantes, deve-se considerar a hipótese de introdução de patógenos;
- O principal aspecto referente à adaptação de um animal a um determinado ambiente é o desenvolvimento de imunidade contra patógenos, especialmente àqueles introduzidos;
- O principal fator controlador do tamanho das populações de animais são os parasitas, especialmente os patógenos;
- Os imigrantes sempre mudam os habitats das áreas para onde se deslocam, através da introdução de seus próprios patógenos, para seu próprio benefício;
- A seleção prévia (e aquisição de imunidade) contra patógenos já existentes e a introdução de novos patógenos são as principais "armas" que os imigrantes têm à disposição para conquistar novas terras;
- O sucesso de qualquer grupo de animais depende de sua capacidade de gerar diversidade genotípica para responder às restrições ambientais, principalmente em resposta aos patógenos;
- Animais de grande porte e com longo ciclo de desenvolvimento ontogenético são mais suscetíveis a serem extintos, devido a sua especialização e baixa diversidade genotípica;

Em resumo: devido à sua importância, no que tange à preservação\evolução de diversidade genotípica/sexual, bem como ao seu papel na dizimação\extinção, os patógenos não podem ser desconsiderados em qualquer pesquisa incluindo a evolução dos vertebrados.

Box 2 - ***Vulcanismo***

A erupção do vulcão Pinatubo, nas Filipinas, em junho de 1991, lançou enormes quantidades de cinzas na atmosfera, formando uma gigantesca nuvem de poeira que encobriu parcialmente o sol, numa área de milhares de quilômetros, por vários meses. Grande parte destas cinzas caiu sobre o mar do sul da China. Seis anos após, pesquisadores da Universidade de Hamburgo constataram que, das 60 espécies que originalmente habitavam o fundo marinho da região, apenas 6 estavam presentes.

Erupções vulcânicas isoladas como esta, mesmo que sejam pontuais numa escala terrestre, sempre nos transmitem a idéia de algo catastrófico (vide Pompéia e Herculano, destruídas pelo Vesúvio nos tempos romanos). Nesse sentido, o que aconteceria se tivéssemos a ocorrência simultânea de vários episódios vulcânicos? O registro geológico mostra que isto já aconteceu – e várias vezes – ao longo da história do planeta. Mas quais foram as conseqüências destes episódios sobre a vida no planeta? Que efeitos podem ter causado imensos derrames como os que estão registrados hoje no sul do Brasil e na África, resultantes da abertura do Atlântico Sul?

O primeiro efeito potencial do vulcanismo sobre os organismos, como já vimos, é a criação de uma nuvem de poeira que irá bloquear a passagem do sol. Num primeiro momento, isto causaria um rápido resfriamento da atmosfera e afetaria a fotossíntese dos vegetais, podendo causar uma extinção destes e, por "efeito dominó", dos animais que deles se alimentam. Num segundo momento, o acúmulo de CO_2 na atmosfera aumentaria o efeito estufa. Além disso, teríamos a ocorrência de chuvas ácidas, devido à presença de enxofre (na forma de SO_2 e H_2S), que envenenariam tanto o ar quanto a água dos oceanos e corpos de água doce. Mais acima, a camada de ozônio

seria reduzida pela reação do oxigênio com os gases jogados na atmosfera, diminuindo a proteção que fornece contra os nocivos raios ultravioleta. O excesso de radiação poderia ser fatal para muitos seres vivos e causar mutações deletérias em outros tantos.

Entretanto, o efeito de uma erupção vulcânica depende do volume e da composição das lavas e também do tipo de erupção. Para colocar grandes quantidades de poeira na estratosfera, onde permaneceriam por tempo suficiente para gerar efeitos nocivos (bloqueio dos raios solares), são necessárias erupções explosivas (piroclásticas) como as do Pinatubo, do Krakatoa, em 1883, ou ainda a do Santa Helena, em 1980. No entanto, estas erupções, mesmo as maiores delas, são sempre pontuais e dificilmente afetariam a Terra como um todo (e mesmo se o fizessem, seria por um curto período de tempo). Assim sendo, poderiam ser responsáveis apenas por extinções regionais. Por outro lado, as erupções não explosivas (efusivas) que são as que correspondem aos maiores volumes de magma e não conseguem jogar partículas de poeira na estratosfera, de modo que pouco afetariam a passagem da radiação solar. Entretanto, este tipo de erupção poderia injetar enormes quantidades de sulfatos na atmosfera (e mesmo na estratosfera, afetando a camada de ozônio), com as conseqüências já descritas anteriormente.

Justamente no final do Permiano, registra-se, na Rússia, um dos maiores derrames basálticos da história, as chamadas Siberian Traps. Estes derrames cobrem uma área de 200.000 km^2, sendo que, deste imenso volume, estima-se que cerca de 20% corresponderiam a lavas piroclásticas (Koeberl et alii, 2004), o que levou estes e outros autores a considerá-las as principais causas da grande extinção permo-triássica. Para explicar esta aparente contradição (a concomitância de grandes derrames com lavas piroclásticas), propõe-se (e.g. Jones et alii, 2001) que o fenômeno gerador desses derrames teria sido o impacto de um grande corpo extraterrestre contra a Terra, "rasgando" a crosta e gerando, desse modo, tanto lavas explosivas (em decorrência do impacto) quanto efusivas (pela abertura gerada na crosta).

No final do Triássico (Lucas, 2005), a Pangeia começou a fragmentar-se ao longo do Atlântico, o que provocou outro grande extravasamento de lava conhecido como CAMP – Central Atlantic Magmatic Province, com a formação de basaltos e intrusões magmáticas encontradas em áreas como Brasil e Marrocos. Este extensivo evento vulcânico, comparável em tamanho às Siberian Traps, pode ter influenciado a extinção ocorrida no limite Triássico-Jurássico, apesar de ainda não haver uma explicação para o seu preciso mecanismo de ação.

Um terceiro registro de gigantesca atividade vulcânica está representado pelas erupções na Índia e Paquistão – as chamadas Deccan Traps – no final do Cretáceo. Estes fluxos de lava ocorreram quando a Índia começou a se mover no Oceano Índico, produzindo fluxos que excediam 100 mil Km^2 e 150 m de espessura. As Deccan Traps teriam jogado uma enorme quantidade de cinzas na atmosfera, alterando o clima e mudando a composição química dos oceanos, e sendo, assim, uma das causas possíveis das extinções verificadas no limite Cretáceo-Terciário.

Em resumo, as relações entre vulcanismo e alterações climáticas são complexas e ainda controversas, especialmente pela dificuldade de estabelecer modelos que representem episódios de tão grande magnitude.

Box 3 - ***Paleogeografia***

As margens continentais das diversas placas são habitadas por diferentes províncias faunísticas, cujos limites (Erwin, 1993) são controlados por fatores climáticos e pela distância entre as mesmas. Quanto maior a separação entre estas, maior o grau de endemismo e, consequentemente, de variabilidade de fauna e flora. Ao contrário, a aproximação das placas levaria a uma competição entre biotas originalmente isoladas umas das outras e a uma queda na diversidade (Valentine, 1973). Além disso, a formação de grandes continentes interferiria na circulação atmosférica e levaria a um aumento na sazonalidade ao longo das plataformas continentais, gerando uma instabilidade na produção de nutrientes (semelhante ao que ocorre durante o "El Niño/La Niña"), a qual afetaria as cadeias tróficas, com efeitos em larga escala.

No caso da extinção do Permo-Triássico, que representaria, através da formação da Pangeia, justamente um exemplo extremo desta hipótese, as opiniões se dividem. Inicialmente, discute-se o tempo envolvido na aproximação e choque entre as várias placas, que iniciou no final do Carbonífero e prolongou-se até o Triássico, o que faria com que o padrão das extinções fosse gradual e não concentrado num único episódio. Além disso, os próprios dados paleontológicos quanto à redução (ou não) no número de províncias faunísticas são também alvo de discussão (Schopf, 1979; Bambach, 1990). Da mesma forma, segundo Erwin (1993), hoje se admite que as relações entre a diversidade de espécies e a estabilidade do ambiente são muito mais complexas do que se pensava na década de 1970, quando foram propostas estas hipóteses.

Box 4 - ***Causas extraterrestres: Impactos***

A ideia de que a Terra pudesse ter sido atingida no passado por grandes corpos extraterrestres era, até o início da década de 1980, considerada pela maioria dos estudiosos como uma "especulação impossível de ser testada" (Erwin, 1993). Entretanto, a descoberta da famosa anomalia de irídio no limite Cretáceo-Terciário (publicada por Alvarez et al., 1980) e sua associação com um impacto extraterrestre, e ainda a relação deste impacto com uma das mais espetaculares extinções em massa da história causaram profundas mudanças no pensamento geológico. As quantidades de irídio e de minerais do grupo da platina encontradas inicialmente numa fina camada (cerca de 5 cm) na região de Gubbio, na Itália, e posteriormente em várias outras partes do mundo, eram muito maiores do que qualquer evento vulcânico terrestre poderia gerar (embora com algumas opiniões em contrário, como Officer & Drake, 1983). Paulatinamente, a hipótese da "queda do meteorito" foi ganhando força, sendo que até mesmo o ponto do impacto (Cratera de Chikchulub, no Golfo do México, com 180 Km de diâmetro) e o tamanho do meteorito (entre 10 e 30 Km) já foram determinados.

A aceitação, pela maior parte da comunidade geológica, de que um impacto de tal magnitude houvesse ocorrido no limite Cretáceo-Terciário e contribuído para uma extinção em massa naquele momento, impulsionou consideravelmente as pesquisas, tanto no sentido de tentar entender como teriam se desencadeado os eventos pós-impacto, quanto na busca de evidências de outros impactos semelhantes associados aos demais episódios de extinções em massa já conhecidos ao longo do Fanerozóico.

Nesse sentido, uniram-se os estudos de Geologia com os de Astronomia, no sentido de descobrir se tais eventos de impactos seriam totalmente aleatórios ou obedeceriam a algum padrão que pu-

desse ser estimado e rastreado no registro. Shoemaker et alii. (1988), com base em dados astronômicos, estimaram uma taxa na qual um corpo extraterrestre com cerca de 10 Km de diâmetro poderia colidir com a Terra a cada 100 milhões de anos, enquanto corpos ao redor de 1 Km de diâmetro teriam probabilidade de se chocar com o nosso planeta em intervalos entre 200 mil e 1 milhão de anos. Estes dados levariam à possibilidade de que houvessem ocorrido, durante o Fanerozóico, cerca de 12 colisões com corpos ao redor de 10 Km de diâmetro (semelhantes, portanto, à do limite Cretáceo-Terciário) e cerca de 3.600 com corpos ao redor de 1 Km de diâmetro. A tarefa seguinte passou a ser, então, rastrear as evidências desses possíveis impactos, especialmente nos níveis que marcavam as grandes extinções.

Assim, pelo menos cinco outros casos de anomalias de irídio já foram encontrados e descritos para este período (Raup, 1987): no limite Eoceno-Oligoceno, na passagem do Jurássico Médio para o Superior, no limite Permo-Triássico, no Devoniano, entre o Frasniano e o Famenniano e na base do Cambriano. Segundo Raup (1987), porém, algumas destas evidências não se ajustam aos dados paleontológicos, uma vez que a base do Cambriano não é um evento de extinção e os casos do Eoceno e do Jurássico não registram extinções em massa (embora tenham ocorrido ali significativas mudanças faunísticas). Além disso, as anomalias de irídio do Jurássico e do Devoniano foram obtidas a partir de estromatólitos, não excluindo a possibilidade de que se trate de um enriquecimento desse mineral por processos orgânicos. A anomalia do Permo-Triássico, por sua vez, é controversa, pois as amostras provenientes da China, onde teria sido constatado o pico de irídio, não revelaram o mesmo resultado quando analisadas por outros pesquisadores (Raup, 1987).

Mas, afinal, o que aconteceria com a vida na Terra após um impacto como o que é atribuído ao limite Cretáceo-Terciário? Bem recentemente, em fevereiro de 2013, um meteorito penetrou a atmosfera terrestre caindo na Rússia link video As consequências deste impacto, apesar de localizadas, não foram nada pequenas. Prédios foram parcialmente destruídos e cerca de 1.000 pessoas morreram! Segundo as estimativas da Nasa http://www.nasa.gov/mission_pages/asteroids/news/asteroid20130215.html, o meteorito, ao entrar na atmosfera, tinha 17 metros de diâmetro e 10 mil toneladas de massa. Ao explodir, liberou uma energia equivalente à de 500 mil toneladas de dinamite (TNT), 27 vezes mais potente que a bomba atômica de Hiroshima. Este meteorito seria 500 vezes menor do que aquele que caiu na Terra no final do Cretáceo (considerando-se um tamanho mínimo de 10 Km). Como isso, podemos ter uma noção, ainda que distante, da força de um impacto de um grande corpo extraterrestre.

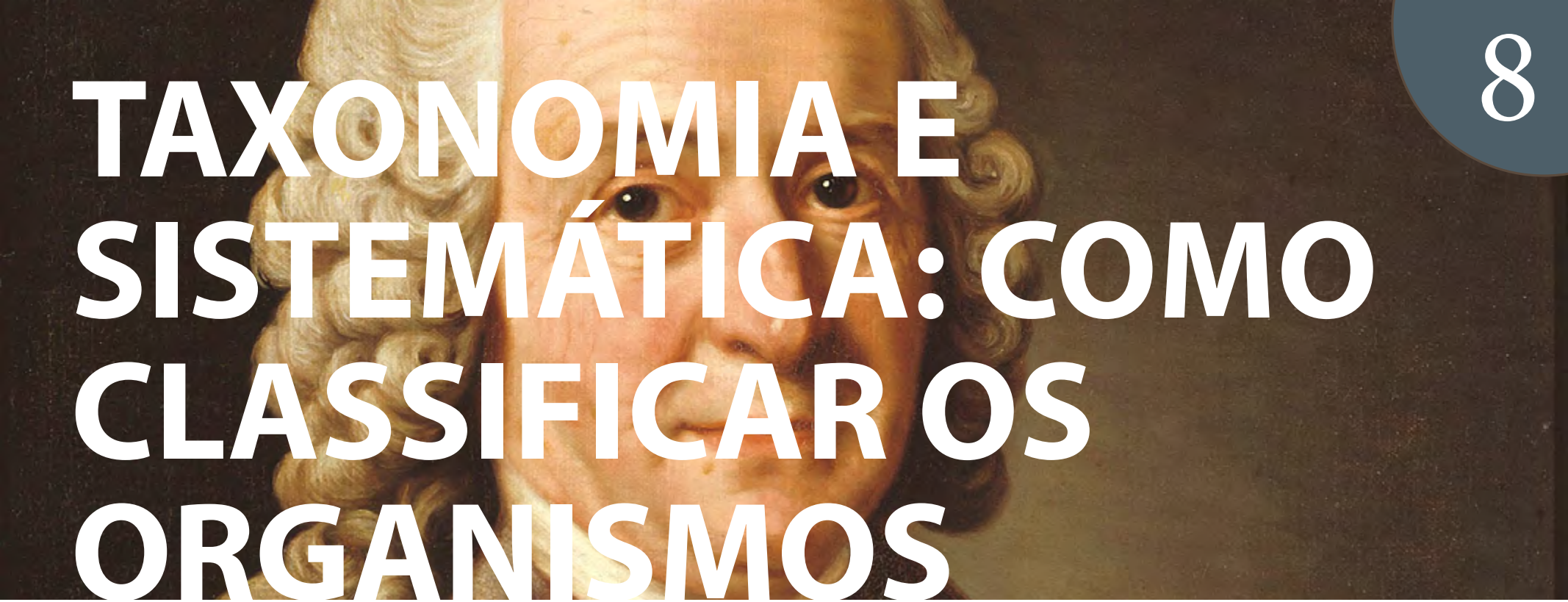
No Cretáceo, estima-se que o choque propriamente dito tenha liberado uma quantidade de energia equivalente à de 5 bilhões de bombas atômicas iguais às que foram lançadas sobre Hiroshima! A destruição seria total e instantânea num raio de milhares de quilômetros ao redor do ponto de impacto, sendo que, em terra firme, a área afetada seria ainda mais ampliada, devido aos incêndios gerados logo a seguir. Além disso, como o impacto se deu, ao que tudo indica, numa região de mar raso, teriam sido produzidas ondas imensas que revolveriam violentamente o fundo das plataformas marinhas e varreriam as costas dos continentes, penetrando centenas de quilômetros para o interior dos mesmos. A seguir, a nuvem de poeira originada pelo impacto cobriria o planeta inteiro durante vários meses, impedindo a passagem dos raios solares e, consequentemente, a fotossíntese dos vegetais. Até a limpeza total da atmosfera,

as chuvas seriam ácidas devido à presença dos gases resultantes da explosão e contaminariam tanto as terras emersas quanto as águas dos rios, lagos e mares.

Nesse cenário catastrófico, é fácil imaginar uma reação em cadeia de extinções, iniciando-se com os vegetais e se estendendo depois pelos consumidores primários e secundários, tanto em terra quanto no mar, afetando a todos mas especialmente aos animais maiores (e aí se enquadrava boa parte dos dinossauros), que são mais vulneráveis à escassez de alimentos.

Em resumo, existem várias evidências de que a Terra já foi atingida, ao longo dos últimos 600 milhões de anos, por vários impactos de corpos terrestres, que podem ter causado (ou contribuído para) grandes extinções e ainda gerado reversões no campo magnético terrestre. Para alguns autores, inclusive, existiria uma periodicidade nestes eventos, que seria ao redor de 26 milhões de anos. Entretanto, os registros conhecidos de impactos (à exceção do limite Cretáceo-Terciário) não coincidem satisfatoriamente com grandes episódios de extinção, e a periodicidade destes eventos, obtida com base no registro fossilífero, é ainda alvo de controvérsia.

VOLTE AO SUMÁRIO



8

TAXONOMIA E SISTEMÁTICA: COMO CLASSIFICAR OS ORGANISMOS

Cristina Silveira Vega
Eliseu Vieira Dias

Os humanos sempre sentiram necessidade de agrupar os organismos da natureza, a fim de compreender a diversidade biológica e facilitar seu estudo.

O mais conhecido Sistema de Classificação dos seres vivos foi proposto por Carolus Linnaeus em meados do século 18. Ele criou o que chamamos hoje de **Sistemática Clássica**, que utiliza todas as características observadas num determinado organismo para classificá-lo dentro de categorias taxonômicas organizadas numa hierarquia. A Sistemática Clássica é responsável pela concepção de Reinos, Classes, Ordens, e fundamentalmente, Gêneros e Espécies, o que gera a nomenclatura binominal dos nomes científicos das espécies.

A Sistemática Clássica exigia muita experiência do cientista para avaliar quais características dos organismos que deveriam ser utilizadas para sua identificação. Esta escolha era um tanto subjetiva e não poderia ser repetida através de uma metodologia específica, já que não possuía métodos matemáticos objetivos para a obtenção das relações filogenéticas entre os organismos, ficando a intuição do cientista encarregada

de classificar os organismos estudados dentro desta ou daquela categoria taxonômica.

Por volta de 1959, um entomólogo alemão chamado Emil Hans Willi Hennig criou a **Sistemática Filogenética**, que começou a ser mais utilizada depois da publicação dos seus princípios, em inglês, em 1966.

No início da década de 1970, esta passou a competir diretamente com a Sistemática Clássica, gerando acaloradas discussões em quase todos os congressos de Ciências Biológicas da época. Já na década de 1980, a Sistemática Filogenética e sua respectiva metodologia atingiram o status de paradigma, ou seja, o sistema mais aceito para classificar os organismos. Mesmo assim este sistema vem sendo aprimorado até hoje.

Mas como pode ser usada a Sistemática Filogenética? Ela difere da Sistemática Clássica em alguns princípios básicos. Por exemplo, só devem ser utilizadas características exclusivas do grupo em questão, eliminando as características compartilhadas com outros grupos, surgindo assim a idéia de **caráter derivado**.

A utilização apenas dos caracteres derivados privilegia a novidade evolutiva – **apomorfia** - que cada grupo apresenta e elimina muitos aspectos compartilhados com outros grupos.

Por exemplo, dizer que um artrópode se caracteriza por possuir um cordão nervoso ventral, não o distingue de todos os outros organismos protostômios, pois os anelídeos também apresentam esta característica. Assim, o cordão nervoso ventral é uma **simplesiomorfia** em artrópodes, ou seja, um **caráter primitivo compartilhado**. Já a presença de apêndices articulados revestidos por um exoesqueleto é uma característica exclusiva dos artrópodes e, portanto, uma **sinapomorfia** ou **caráter derivado compartilhado.**

A Sistemática Filogenética identifica e reúne os caracteres derivados em uma **matriz de dados.** Nesta matriz, as características precisam ser polarizadas, ou seja, aquelas que mais se parecem com o ancestral recebem o número zero e as mais derivadas recebem números subsequentes (1, 2, 3, etc.). Esse processo é feito comparando os grupos da análise com um ou mais **grupos externos**. A escolha do grupo externo também segue alguns princípios previstos na metodologia, ou seja, assumir que as características encontradas nele (ou neles) representem o estado primitivo (plesiomórfico), da mesma forma que o ancestral hipotético do grupo estudado.

Abaixo, estão representados três táxons (A, B, C) de um grupo hipotético de animais comparados ao táxon que representa o grupo-externo **(Figura 1)**.

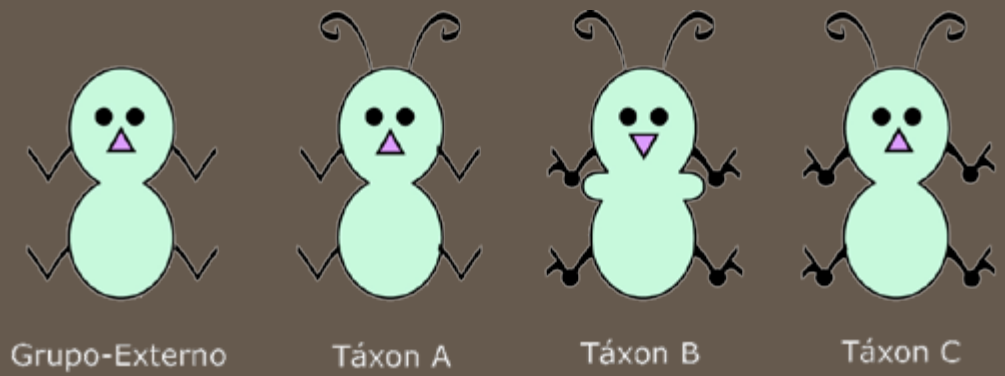


Figura 1. Exemplo de grupo hipotético de animais e seu grupo-externo. A matriz de dados ilustra a transformação dos estados desses dois caracteres nos três táxons (A, B e C). Os caracteres listados correspondem à ausência ou presença de dedos nas patas e de antenas nesses animais: característica "dedos nas patas": 0 = ausentes; 1 = presentes; característica "antenas": 0 = ausentes; 1 = presentes. Desenho: Daniel Fortier.

Matriz de dados e polarização dos caracteres:

	Táxons / Estados dos Caracteres			
Caracteres	**Grupo externo**	**Táxon A**	**Táxon B**	**Táxon C**
dedos nas patas: 0 = ausentes; 1 = presentes	0	0	1	1
antenas: 0 = ausentes; 1 = presentes	0	1	1	1

Através de procedimentos matemáticos (algoritmo), com o uso de programas para computador (ex: PAUP, NONA, TNT), produz-se **árvores filogenéticas** ou **cladogramas,** que representam as relações de parentesco dos organismos analisados, ou seja, as suas relações filogenéticas.

- **Cladograma** ou **árvore filogenética**: é o diagrama que representa as relações filogenéticas entre os táxons.

O cladograma ao lado **(Figura 2)** apresenta dois passos, isto é, cada caráter mudou de estado apenas uma vez. O caráter 1 mudou do estado zero para o estado 1, o que significa um passo, e o caráter dois mudou de zero para um, mais um passo no cladograma (caráter 1: 0 ⇨ 1 e caráter 2: 0 ⇨ 1 / L= 2).

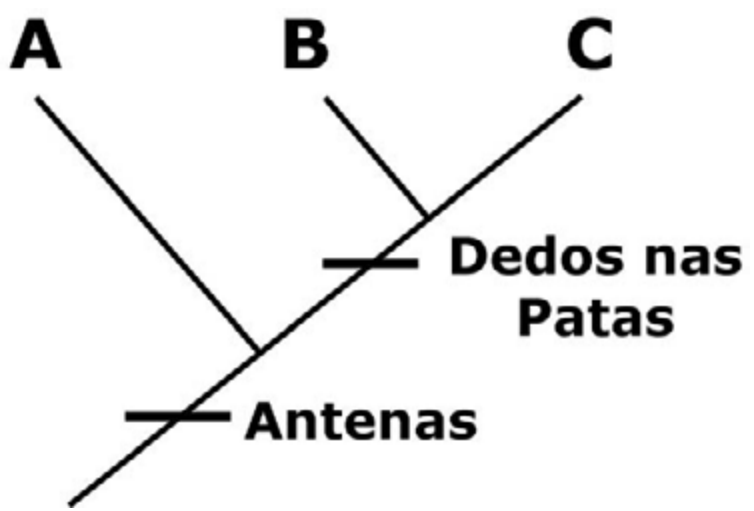


Figura 2. Árvore filogenética (cladograma) gerada a partir da análise da matriz de dados.

,Se o número de características e de grupos analisados for pequeno, esse procedimento pode ser feito manualmente, sem a ajuda de um programa de computador. No entanto, quando o número de táxons (grupos) e caracteres é grande, os programas auxiliam o pesquisador a encontrar rapidamente as árvores com o menor número de passos evolutivos, seguindo o **Princípio da Parcimônia**. Isto significa escolher a árvore que apresenta melhor resolução.

É importante observar que a Sistemática Filogenética nunca parte do princípio de que o exemplar em mãos é o ancestral e sim apenas um táxon relacionado (com certo grau de parentesco) aos demais estudados.

ALGUNS CONCEITOS QUE APARECEM NA SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA

Clado: é a denominação dos grupos monofiléticos, daí o nome **Cladismo** também aplicado a esta escola.

Grupo monofilético: grupo que inclui o ancestral e todos os seus descendentes **(Figura 3)**.

Grupo parafilético: grupo que não incluie todos os descendentes de um ancestral **(Figura 4)**.

Grupo-irmão: é o grupo monofilético mais próximo daquele em foco no momento **(Figura 5)**.

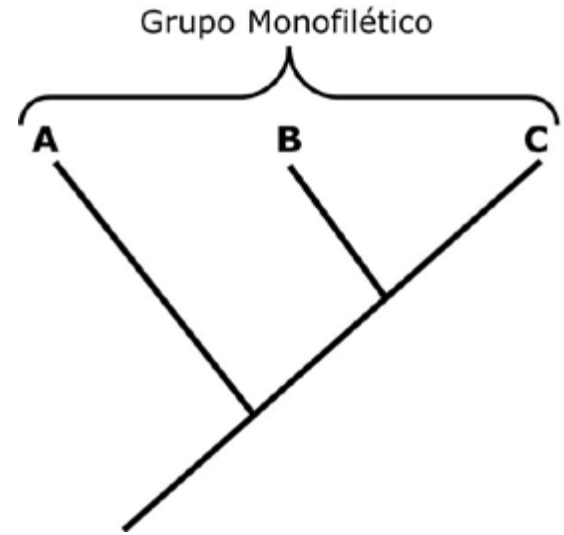


Figura 3. Representação de um grupo monofilético.

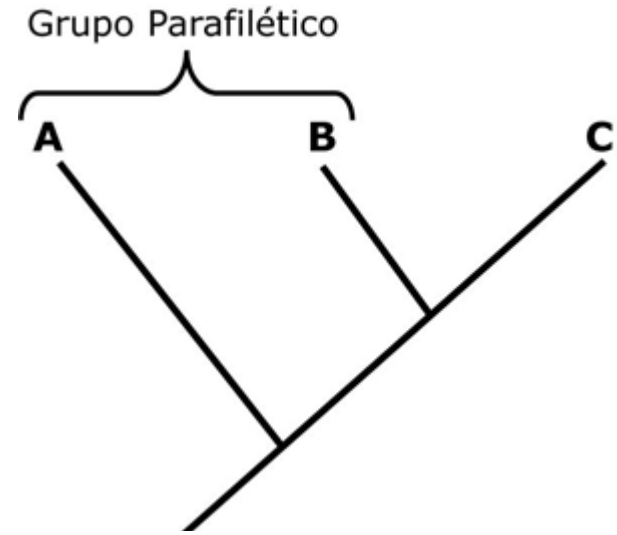


Figura 4. Representação de um grupo parafilético.

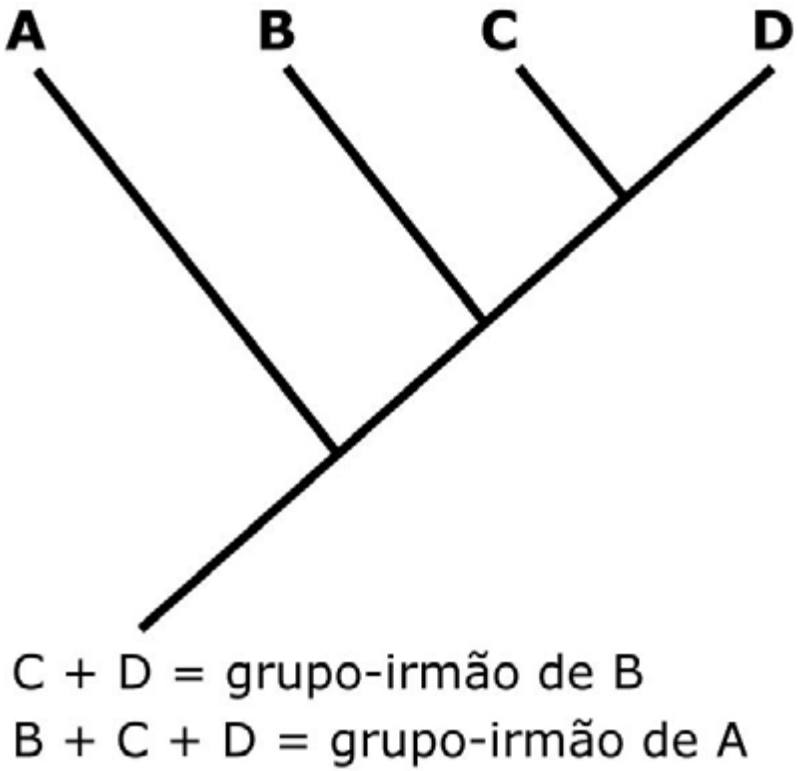


Figura 5. Exemplos de relações de parentesco (grupo-irmão).

A forma de classificação dos organismos sofreu uma profunda modificação nas últimas quatro décadas, em função do advento da Sistemática Filogenética. Entretanto, o método possui várias limitações, que no momento não podem ser contornadas. Uma dessas limitações, principalmente em paleontologia, refere-se às características utilizadas na análise. Para classificar organismos atuais, caracteres como coloração, por exemplo, podem ser utilizados. No entanto, nos fósseis, essas características não ficam preservadas, inviabilizando o uso das mesmas.

Mesmo assim, o uso deste método se tornou generalizado, uma vez que preenche todos os requisitos necessários para ser considerado científico, não sendo mais aceitável apresentar filogenias idealizadas, como faziam os sistematas clássicos.

REFERÊNCIAS

AMORIM, D. S. 2002. Fundamentos de Sistemática Filogenética. Ribeirão Preto: Holos Editora, 156 p.

PAPAVERO, N. 1994. Fundamentos práticos de Taxonomia Zoológica. UNESP, 285p.

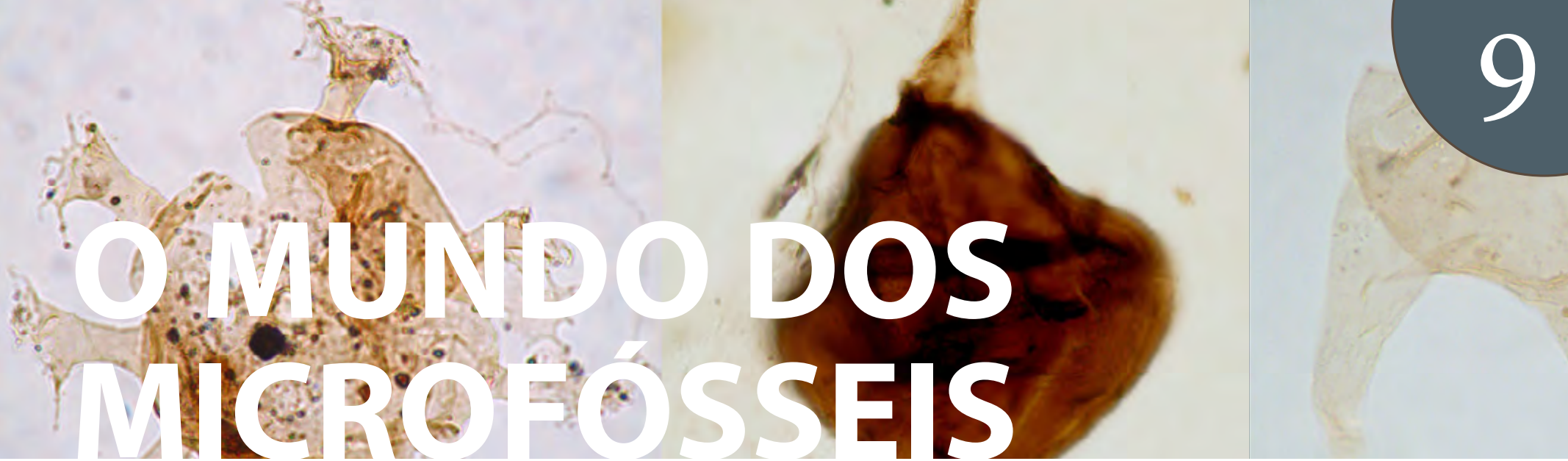
ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Observando e agrupando organismos

Construindo cladogramas

Construção de cladograma com braquiópodes

Construindo cladogramas de área



9

O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS

Gerson Fauth
Simone Baecker Fauth

Desvendar a história da vida no planeta Terra desde o seu surgimento, há aproximadamente 3,5 bilhões de anos até hoje é o objetivo que move os paleontólogos.

Restos de organismos (animais, plantas, fungos, protistas e bactérias), moldes ou impressões e evidências de suas atividades que ficaram preservados nas rochas são considerados fósseis **(ver capítulo INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA)**.

Os fósseis podem ser divididos em macrofósseis, fósseis grandes e visíveis a olho nu, e microfósseis, fósseis visíveis somente com o auxílio de uma lupa ou microscópio.

O QUE SÃO MICROFÓSSEIS?

São fósseis pequenos, visíveis somente com o auxílio de uma lupa, microscópio ótico, petrográfico ou eletrônico de varredura (MEV)**(Figura 1)**. Os microfósseis podem ser:

- pequenas partes de animais macroscópicos ou conchas inteiras de animais microscópicos;
- o esqueleto completo de organismos unicelulares protistas;
- podem ser a parte reprodutiva de plantas e fungos, como os pólens e esporos;
- a célula isolada ou em grupo formando filamentos ou redes de bactérias.

O estudo dos microfósseis é chamado **Micropaleontologia**.

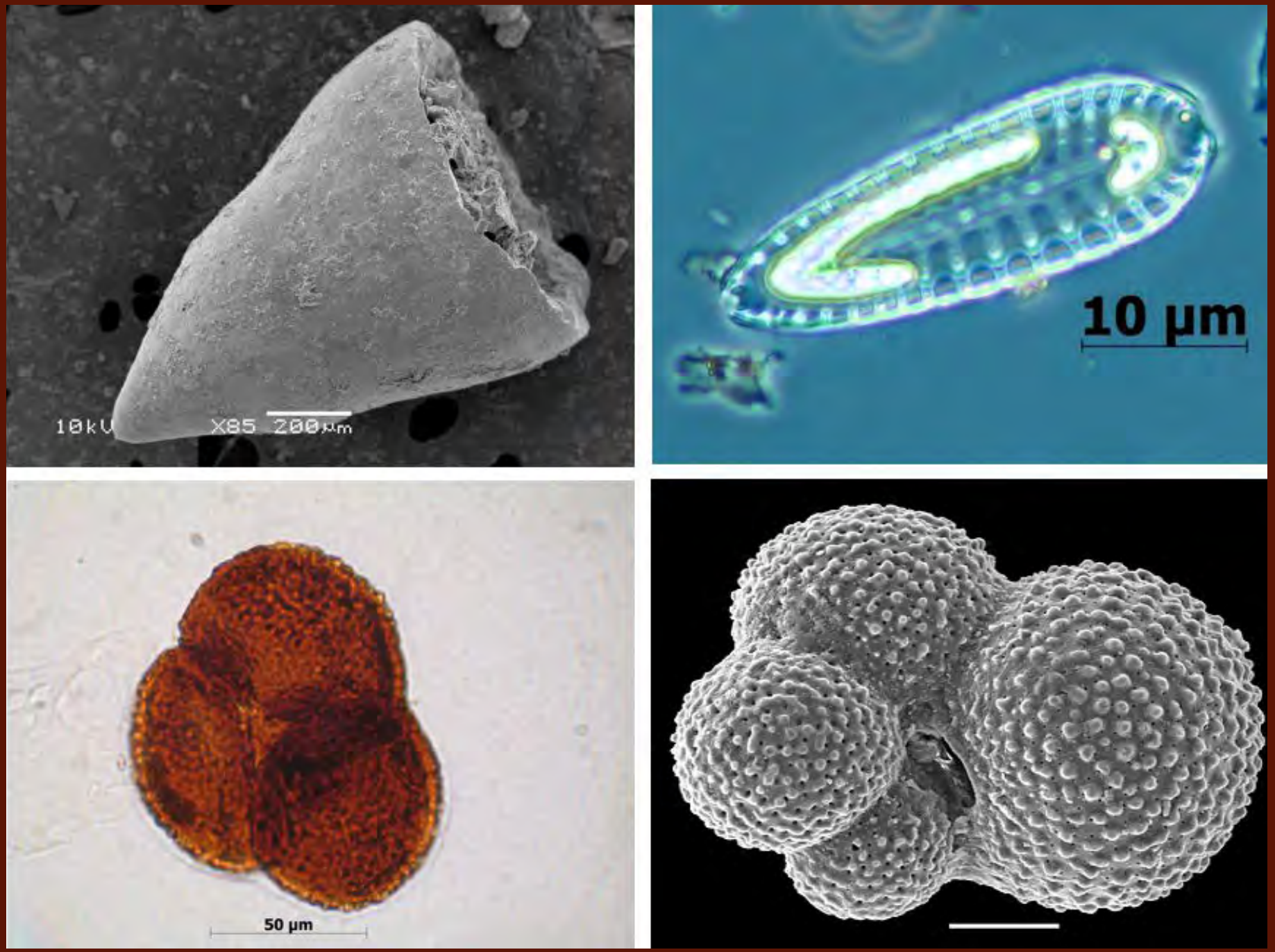


Figura 1. Exemplos de microfósseis. (A) Dente de peixe actinopterígio sob microscopia eletrônica de varredura; (B) diatomácea sob microscopia ótica; (C) grão de pólen sob microscopia ótica; (D) foraminífero sob microscopia eletrônica de varredura.

QUAIS SÃO OS ORGANISMOS ENCONTRADOS MAIS FREQUENTEMENTE ENTRE OS MICROFÓSSEIS?

PROTISTAS

Radiolários (Figura 2)

Os radiolários são protistas com endoesqueleto silicoso e pseudópodes rígidos (axópodes). São exclusivamente marinhos, vivendo desde a superfície até as profundidades abissais.

Na cadeia alimentar, os radiolários fazem parte do zooplâncton. São consumidores primários, usando seus pseudópodes para se alimentar de bactérias, algas, pequenos crustáceos, e outros protistas. Por outro lado, são parte da dieta alimentar de crustáceos, peixes e outros animais.

As espécies solitárias variam de 0,05 mm a 0,25 mm, mas as que vivem em colônias podem atingir, em alguns casos, até 3 m de comprimento.

O esqueleto dos radiolários, formado por uma rede de barras e espinhos, é que fica preservado em sedimento e rochas.

Os registros mais antigos datam do Cambriano, mas os radiolários existem até hoje.

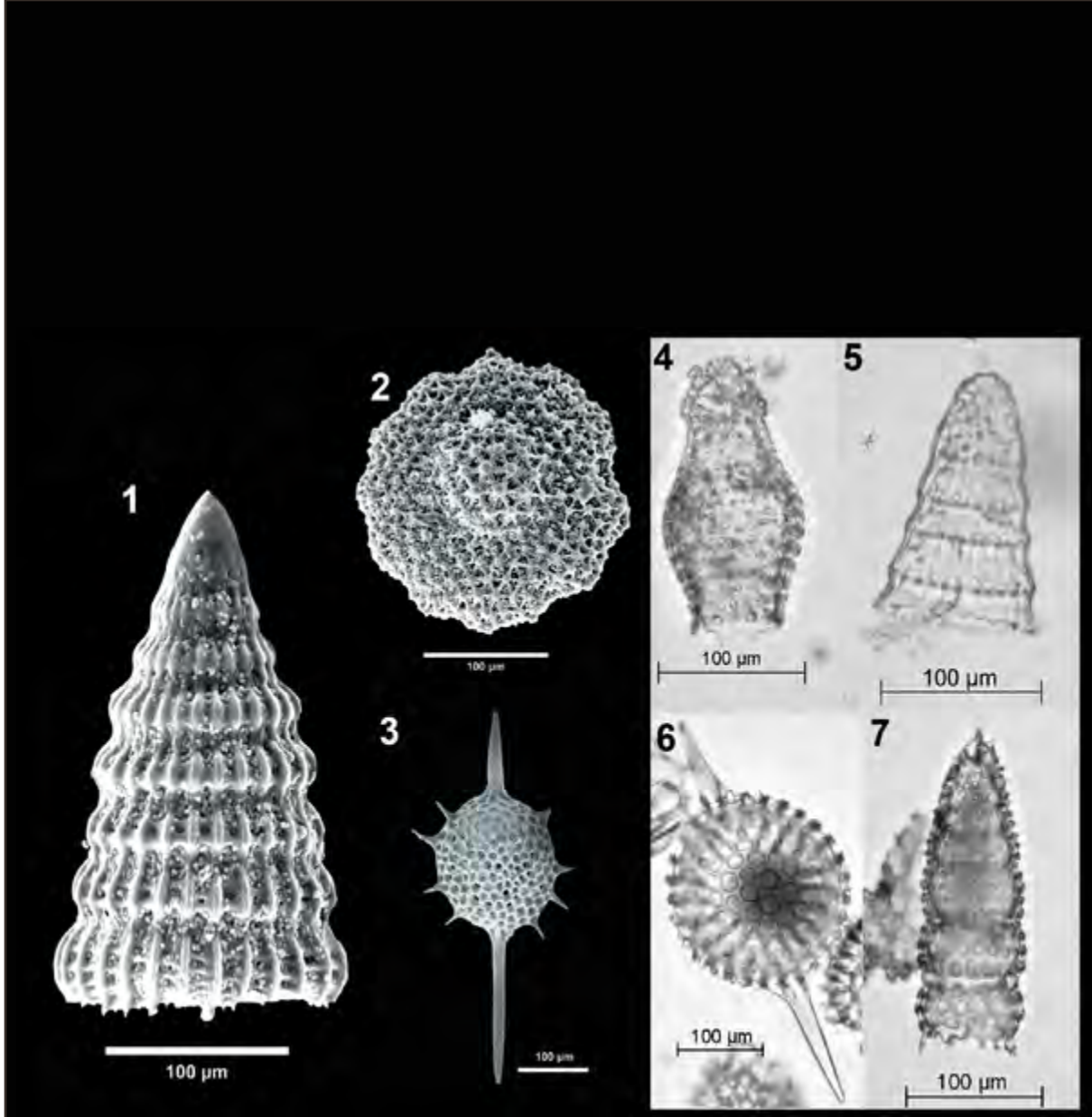


Figura 2. Radiolários. 1 e 2 - espécies coletadas em rochas do Cretáceo; 3 a 7 - espécies de sedimentos do Cenozoico do Atlântico Sul (1 a 3 - Imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura; 4 a 7 - fotos de Microscopio Ótico). Imagens cedidas por Simone B. Fauth, Karlos G. D. Kochhann e Mauro D. Bruno.

Diatomáceas (Figura 3)

As diatomáceas são protistas unicelulares com frústula silicosa. Cada frústula é formada por duas valvas, ligeiramente desiguais (a menor das valvas encaixa-se na maior).

Habitam a zona fótica de oceanos, mares, lagos e rios, apresentando tanto formas bentônicas como planctônicas. Podem ser solitárias ou coloniais. Os pigmentos fotossintetizantes são amarelados, pardo-amarelados ou castanhos.

Na cadeia alimentar, as diatomáceas são produtoras primárias e junto com os cocolitoforídeos e dinoflagelados (ver abaixo) fazem parte do fitoplâncton. Mas são o alimento de pequenos crustáceos e a larvas de invertebrados e peixes.

O tamanho das diatomáceas varia de 0,01 a 0,20 mm.

Os registros mais antigos são de diatomáceas marinhas do Jurásssico. Hoje são encontradas em vários ambientes aquáticos e até semi-aquáticos como em solos úmidos e presas a vegetais ou árvores (epífitas).

A frústula das diatomáceas é que fica preservada em sedimento, podendo formar até mesmo um diatomito, rocha rica em diatomáceas.

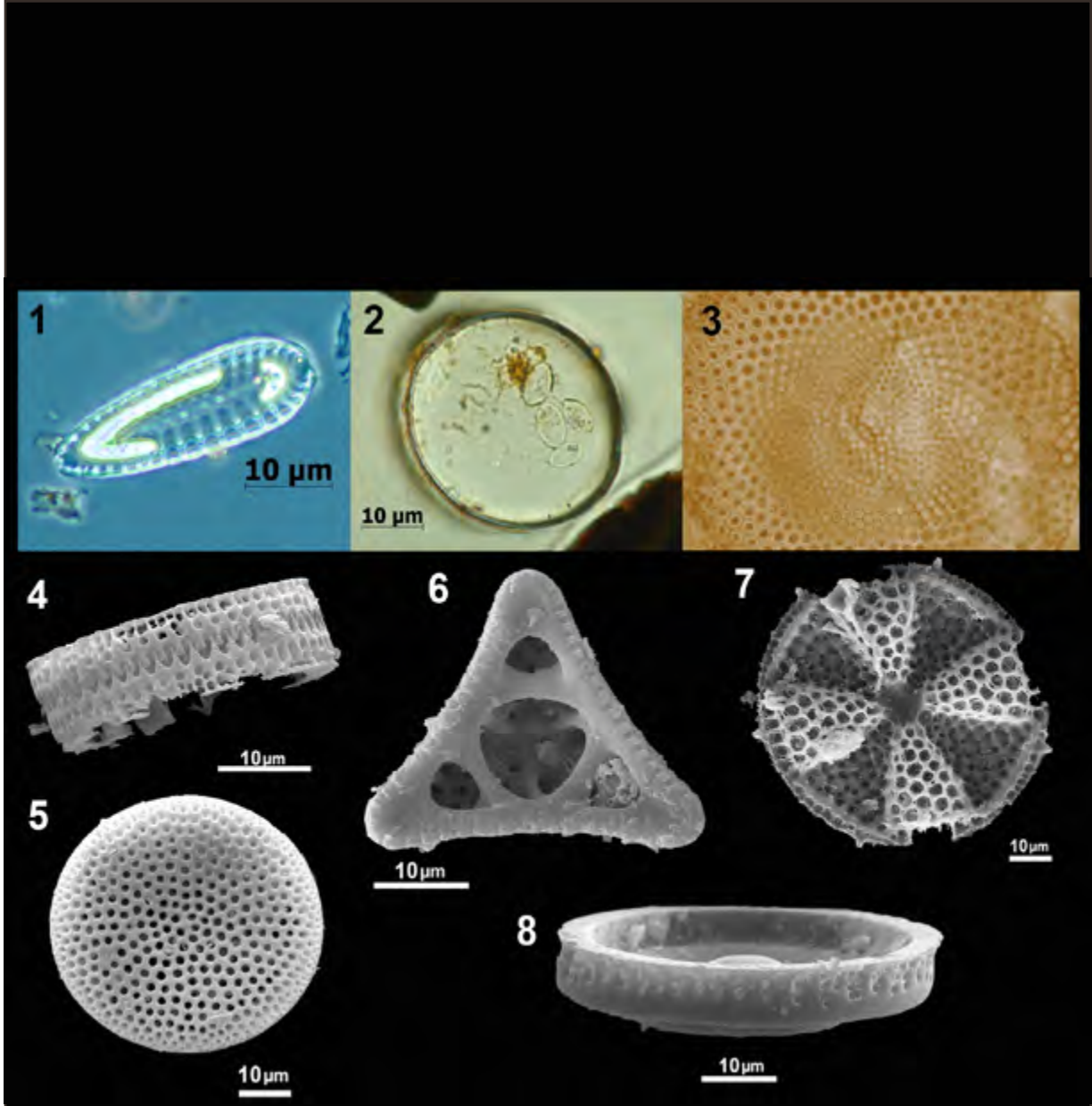


Figura 3. Diatomáceas. 1 a 8 - espécimes coletadas em sedimentos do Neógeno do Atlântico Sul. (1 a 3 - imagens obtidas em Microscópio Ótico; 4 a 8 - imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura) Imagens cedidas por Carlos Eduardo L. Vieira, Karina Paier e Antonio H. B. Antiqueira.

Dinoflagelados (Figura 4)

Os dinoflagelados são protistas unicelulares caracterizados pela presença do pigmento carotenóide peridina, responsável pela coloração vermelho-alaranjada.

A maioria dos dinoflagelados é marinha e planctônica. Habitam a zona fótica de oceanos e mares, mas são encontrados também em ambientes de água doce. Além disso, são organismos termófilos (que preferem águas quentes), sendo mais abundantes em águas tropicais do que temperadas.

Na cadeia alimentar, os dinoflagelados fazem parte do fitoplâncton. Cerca de metade dos dinoflagelados é autotrófica e o restante heterotrófico, incluindo até organismos saprófitos.

Os registros mais antigos de dinoflagelados são do final do Triássico. Os dinoflagelados fósseis (dinocistos) são estruturas muito pequenas, entre 0,02 e 0,20 mm, de composição variável (calcários, silicosos), mas dominantemente orgânicos.

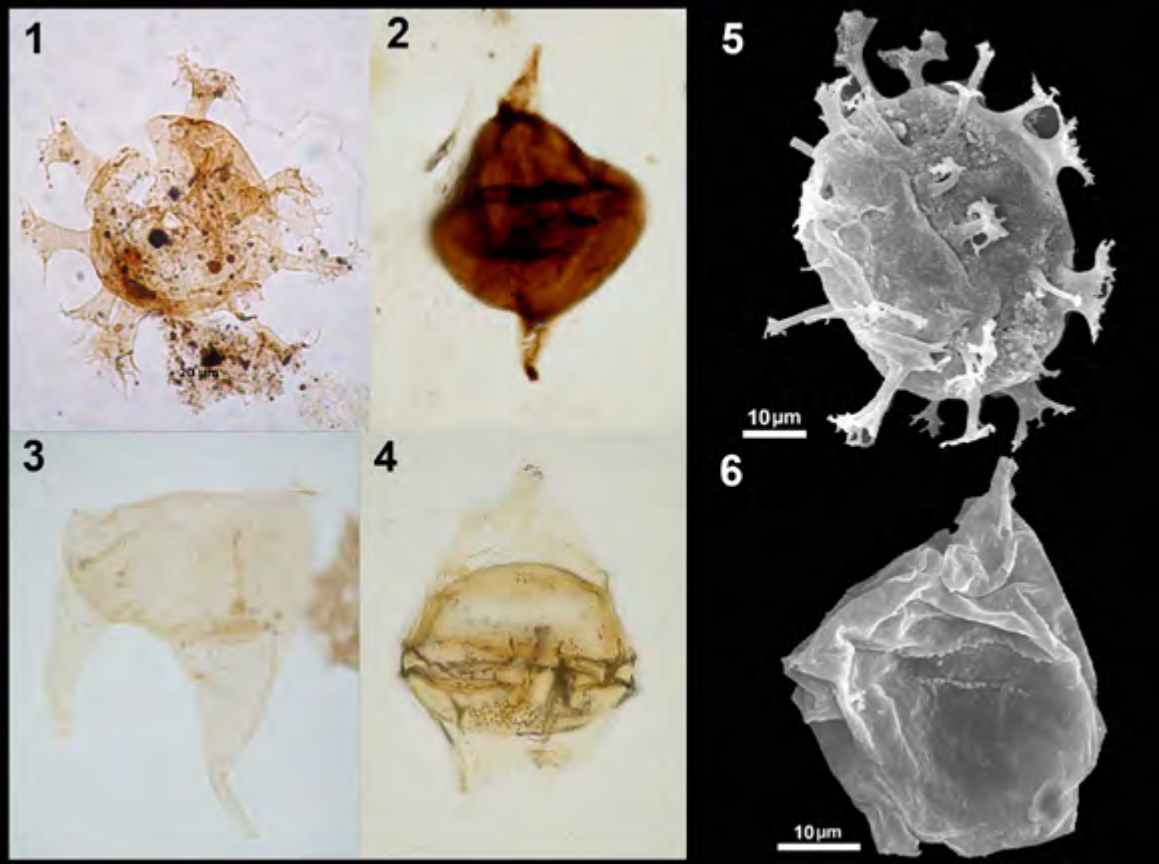


Figura 4. Dinoflagelados. 1 a 6 - espécies coletadas em rochas do Cretáceo do Atlântico Sul. (1 a 4 - imagens obtidas em Microscópio Ótico; 5 e 6 - imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura) Imagens cedidas por Carlos Eduardo L. Vieira e Alessandra da Silva dos Santos.

Foraminíferos (Figura 5)

Os foraminíferos são protistas que segre-gam uma concha composta por carbonato de cál-cio, aglutinada por partículas do sedimento em que vivem ou mais raramente, orgânica ou silicosa.

Algumas espécies vivem em conchas com uma única câmara, sendo designadas como unilo-cu-lares, mas a maior parte dos foraminíferos é multilo-cular, ou seja, vivem em conchas que possuem várias câmaras. Por fora da concha estendem-se os pseudó-podes, que são filamentos protoplasmáticos usados na locomoção, fixação ao substrato e alimentação.

Os foraminíferos servem de alimento para muitos animais sendo selecionados preferencial-mente por camarões e moluscos escafópodes.

Em águas pouco profundas, as algas mi-croscópicas (incluindo diatomáceas) são uma gran-de parte da dieta dos foraminíferos. Em águas de maior profundidade os detritos e bactérias têm uma maior importância na alimentação destes or-ganismos. Algumas espécies são carnívoras alimentando-se de outros foraminíferos, ouriços do mar, pequenos crustáceos, etc.

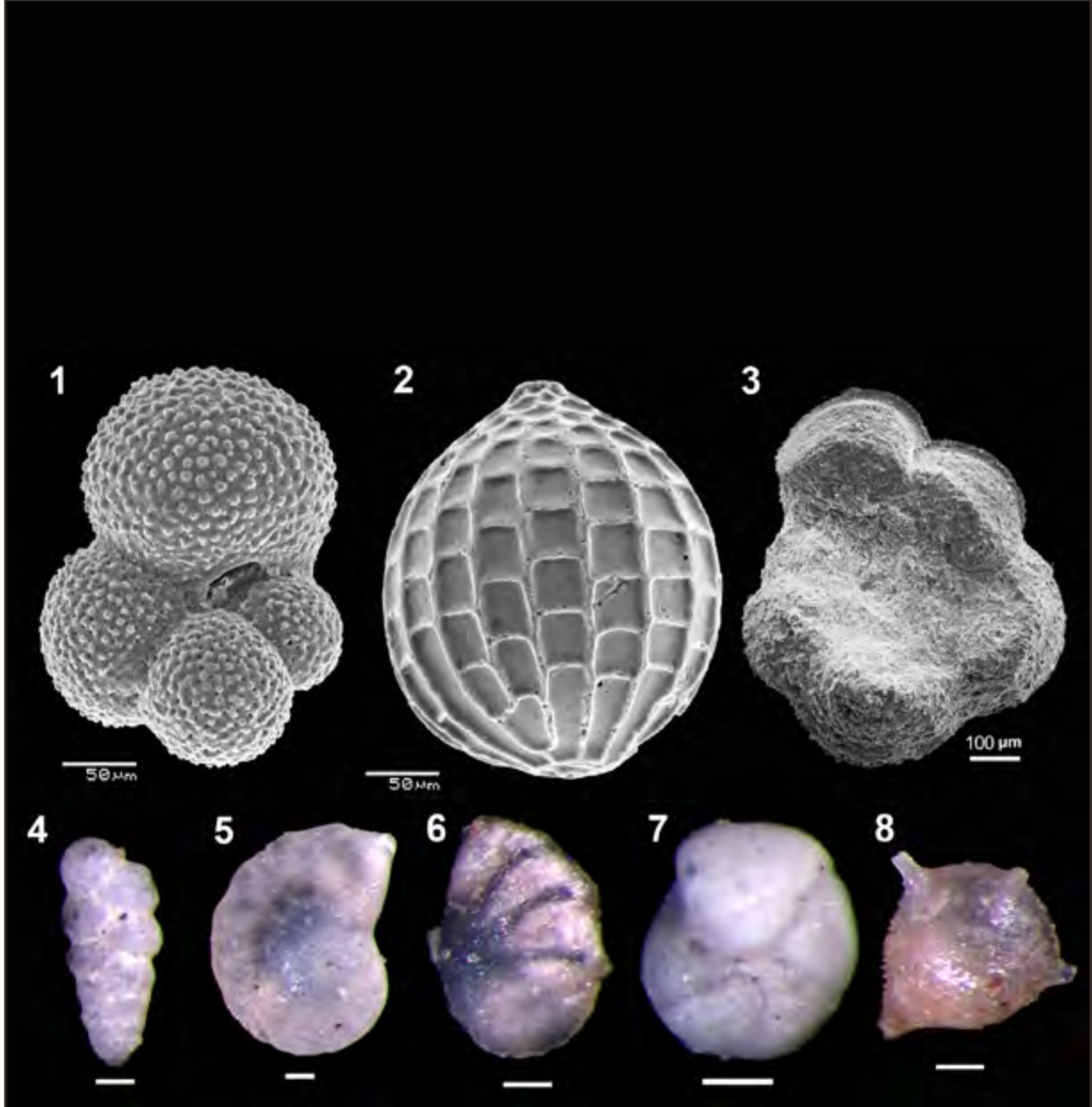


Figura5. Foraminíferos. 1 e 2 - espécies coletadas em sedimentos do Quaternário; 3 a 8 - espécies de rochas do Cretáceo do Atlântico Sul. (1 a 3 - Imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura; 4 a 8 - Fotografias obtidas em Microscópio Estereoscópico) Imagens cedidas por Itamar I. Leipnitz e Karlos G. D. Kochhann.

Cocolitoforídeos (Figura 6)

Os cocolitoforídeos são organismos unicelulares, planctônicos, fotossintetizantes e representam os mais importantes fixadores de energia solar dos oceanos.

São muito abundantes na zona fótica (de o a 200m de profundidade), sendo que a concentração máxima ocorre geralmente entre o e 100m, no cinturão tropical, e a menos de 50m nas regiões temperadas.

São predominantemente marinhos, sendo encontrados em praticamente todos os oceanos e mares do planeta.

Esses protistas possuem um envoltório carbonático chamado cocosfera, que é formada por pequenas placas arredondadas, chamadas cocólitos, unidas por uma substância orgânica.

Surgiram no Triássico e existem até hoje. Seu tamanho varia de 0,00025 a 0,05 mm e por isso são também chamados de nanofósseis.

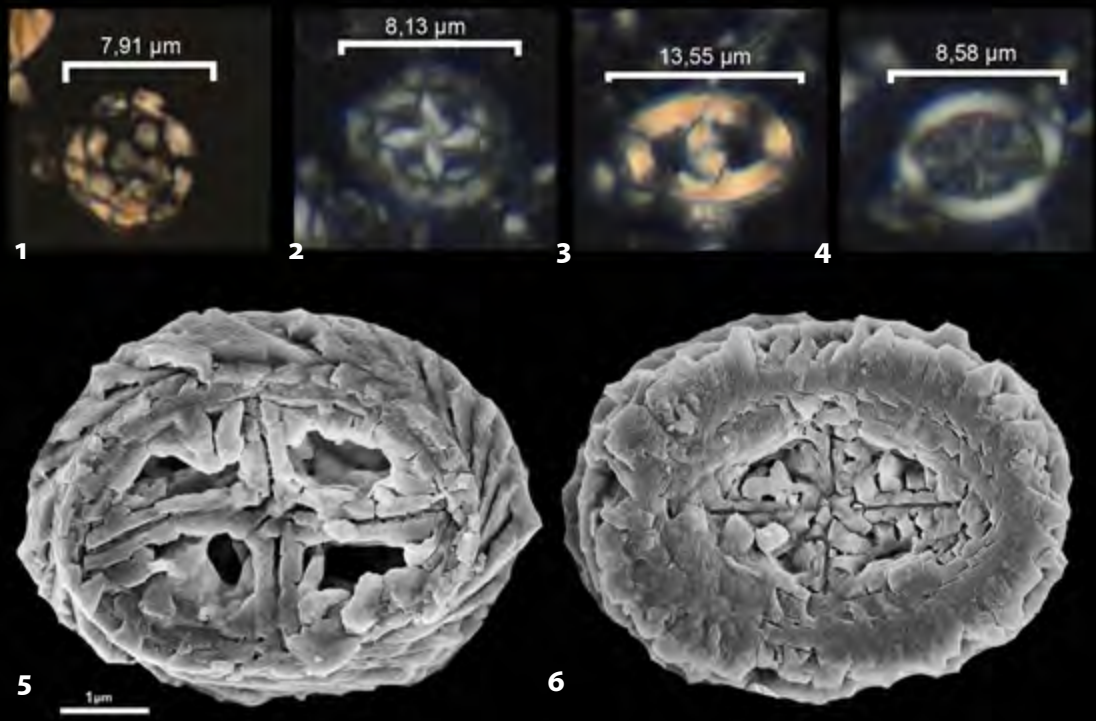


Figura 6. Cocolitoforídeos. 1- cocosfera; 2 a 6- cocólitos de espécies coletadas em rochas do Cretáceo do Atlântico Sul. (1 a 4 - imagens obtidas em Microscópio Petrográfico e 5 e 6 - imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura). Imagens cedidas por Rodrigo M. Guerra e Mauro D. R. Brum.

Grãos de pólen e esporos = Palinomorfos (Figura 7)

O pólen (ou os grãos de pólen) é o conjunto dos minúsculos grãos produzidos pelas flores das plantas do grupo das Angiospermas ou pelas pinhas masculinas das Gimnospermas. São os elementos reprodutores masculinos (ou microgametófitos) onde se encontram os gametas que vão fecundar os óvulos, para os transformar em frutos.

Esporos são unidades de dispersão das plantas formadas por via assexual, que se formam por meiose nos esporângios de samambaias (pteridófitas), musgos (briófitas) ou fungos (Fungi).

A polinização corresponde ao processo de transporte do pólen da antera até o estigma através de vários agentes, tais como o vento (dispersão anemófila), insetos (dispersão entomófila), pássaros (dispersão ornitófila) e água (dispersão hidrófila). Geralmente produzidos em grande quantidade, esses grãos microscópicos podem ser transportados a grandes distancias, podendo ser depositados no fundo de lagos, rios, mares e oceanos.

A presença de polens e esporos em sedimentos e rochas indica proximidade a um ambiente continental e permite a reconstituição da história evolutiva das plantas.

A palinologia é o estudo morfológico dos grãos de pólen e esporos, suas aplicações e modo de dispersão. Hoje a Palinologia estuda a matéria orgânica microscópica que persiste após a dissolução por HCl (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico) dos componentes inorgânicos de uma rocha. O material que resta do ataque com ácidos compreende os chamados palinomorfos, que podem ser encontrados preservados em sedimentos e rochas.

Os palinomorfos são constituídos de:

Esporomorfos: grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas e esporos de briófitas, pteridófitas, e fungos.
Fitoplâncton: cistos de dinoflagelados; prasinófitas (grupo de algas verdes); acritarcas; fitoclastos (cutículas, tecidos lenhosos, opacos, matéria orgânica amorfa, etc.) e outros grupos microscópicos (cianobactérias, rhodophytas).
Zoomorfos: escolecodontes, quitinozoários e até alguns restos quitinosos de foraminíferos.

Os palinomorfos são encontrados desde o Pré-Cambriano até o Recente, mas os esporos ocorrem do Ordoviciano ao Recente e grãos de pólen do Devoniano ao Recente. O tamanho dos esporos varia entre 0,02 e 0,1 mm e os grãos de pólen variam de 0,02 a 0,2 mm.

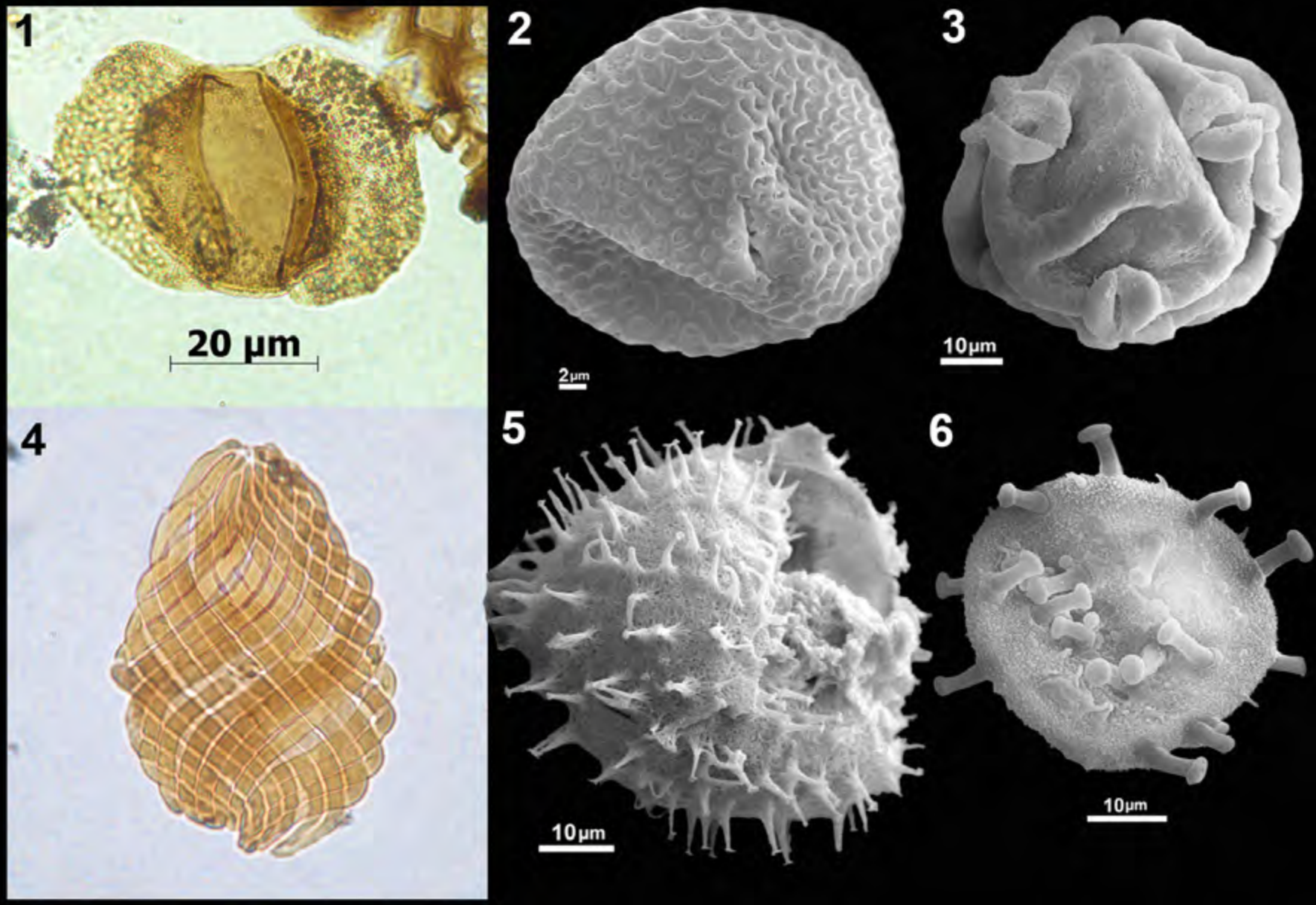


Figura 7. Pólens e esporos. 1 - pólen; 2 - esporo; 3 a 6 - pólens do Neógeno da América do Sul. (1 e 2- imagens obtidas em Microscópio Ótico; 3 a 6 - imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura) Imagens cedidas por Carlos Eduardo L. Vieira e Lilian M. Leandro.

Carófitas (Figura 8)

São plantas não vascularizadas, compostas por entrenós longos e nós curtos, aos quais se prendem ramos laterais. Possuem gametângios rodeados por uma cobertura multicelular. Os oogônios fertilizados e fossilizados são chamados girogonites.

As carófitas vivem em fundos de lagos, rios, riachos, e outros ambientes predominantemente de água doce. Habitam também ambientes mixohalinos, como manguezais e lagunas.

Os talos e os girogonites podem ser calcificados com carbonato de cálcio. O tamanho dos girogonites varia de 0,5 a 3 mm e podem ser encontrados junto a outros microfósseis, principalmente em rochas de ambientes dulciaquícolas.

As carófitas mais antigas foram encontradas em rochas do Siluriano. Tem ampla distribuição geográfica e bons fósseis-guia.

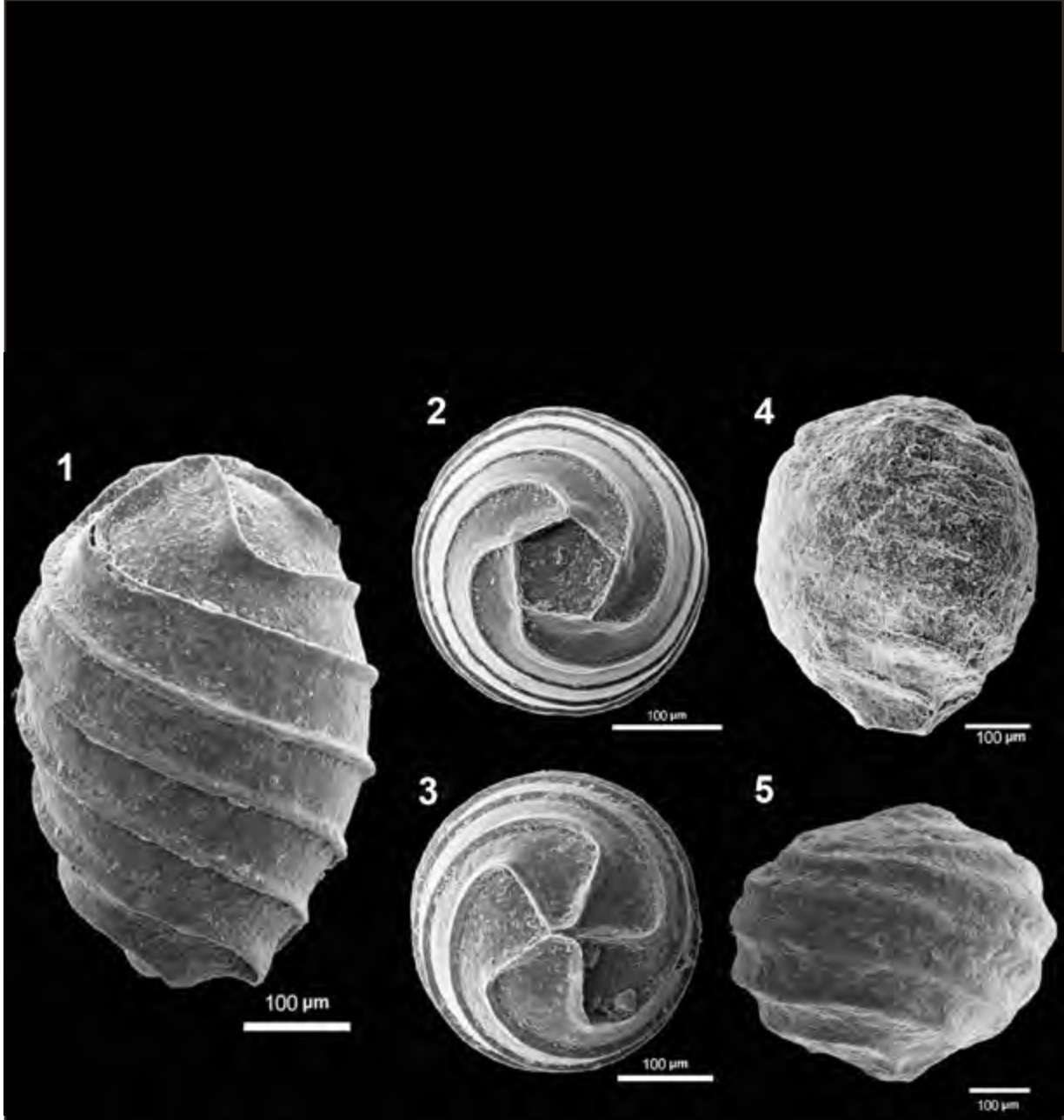


Figura 8. Carófitas. 1 a 3 - oogônios coletadas em sedimentos da Laguna dos Patos, RS; 4 e 5 - girogonites coletadas em rochas do Cretáceo do Atlântico Sul. (Imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura). Imagens cedidas por Mauro D. Bruno e Simone B. Fauth.

BACTÉRIAS (Figura 9)

As bactérias são os organismos mais antigos a habitar o planeta Terra. Seu primeiro registro data de 3,5 bilhões de anos atrás, mas existem abundantemente até hoje.

As bactérias podem ser heterotróficas quando se alimentam de outros organismos ou autotróficas quando sintetizam seu alimento a partir de CO_2 inorgânico ou fazem fotossíntese.

São extremamente tolerantes a variações de salinidade e temperatura (0 a 125°C). Seu habitat vai desde o ambiente marinho (planctônicas e bentônicas) ao terrestre (incluindo rochas extraídas de grandes profundidades) e aéreo.

Raramente são encontradas preservadas como microfósseis, talvez devido às pequenas dimensões ou pela dificuldade em diferenciá-las de fósseis de fungos, porém em alguns *cherts* até mesmo a parede celular ficou preservada. A preservação de detalhes internos raramente ocorre, e alguns casos, a estrutura interna das bactérias é substituída por minerais, como pirita e siderita, e uma réplica da célula é preservada na rocha.

A simples evidência da presença destes microorganismos é importante, pois indica a presença de vida microbiana naquele período de tempo geológico.

As bactérias fósseis são identificadas pela sua forma (coco, bacilo e espirilo) e pela sua ocorrência associada ao substrato (estromatólitos: estruturas biossedimentares, construídas por cianobactérias associadas a sedimentos, **figura 10**). Aparecem frequentemente formando colônias de várias espécies. Seu tamanho individual geralmente é menor que 0,01 mm.

Figura 9. Colônias de cianobactérias. Fonte: ucmp.berkeley.edu.

Figura 10. Estromatólitos ou Microbialitos. (A) Laminito microbial do Pré-Cambriano; (B) Microbialito *Conophyton* cf. *cylindricus* do Pré-Cambriano. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes.

PARTES DE ANIMAIS

Ostracodes (Figura 11)

São crustáceos cujo corpo, lateralmente comprimido, é envolvido por uma carapaça bivalve de composição quitino-calcítica. Seu tamanho é pequeno, variando entre 0,4 e 1 mm. A carapaça calcária que os envolve deve ser trocada sucessivas vezes (muda ou ecdise), para permitir seu crescimento.

Os ostracodes surgiram no Ordoviciano e existem até hoje, podendo ser encontrados em ambientes aquáticos desde ecossistemas continentais (rios, lagos, lagunas, etc.) até marinhos (raso a profundo). Alguns ostracodes estão adaptados a uma vida semi-terrestre vivendo em solo úmido e na água retida em bromélias.

Em sua maior parte são bentônicos, com algumas espécies planctônicas e outras nectobentônicas. A maioria é detritívora, alimentando-se de matéria orgânica em decomposição.

Estes microcrustáceos são reconhecidamente sensíveis a variações nas características físico-químicas do meio aquoso, o que os torna excelentes indicadores paleoambientais.

O que frequentemente fica preservado nas rochas são as valvas. Em casos excepcionais de preservação, as partes moles foram encontradas.

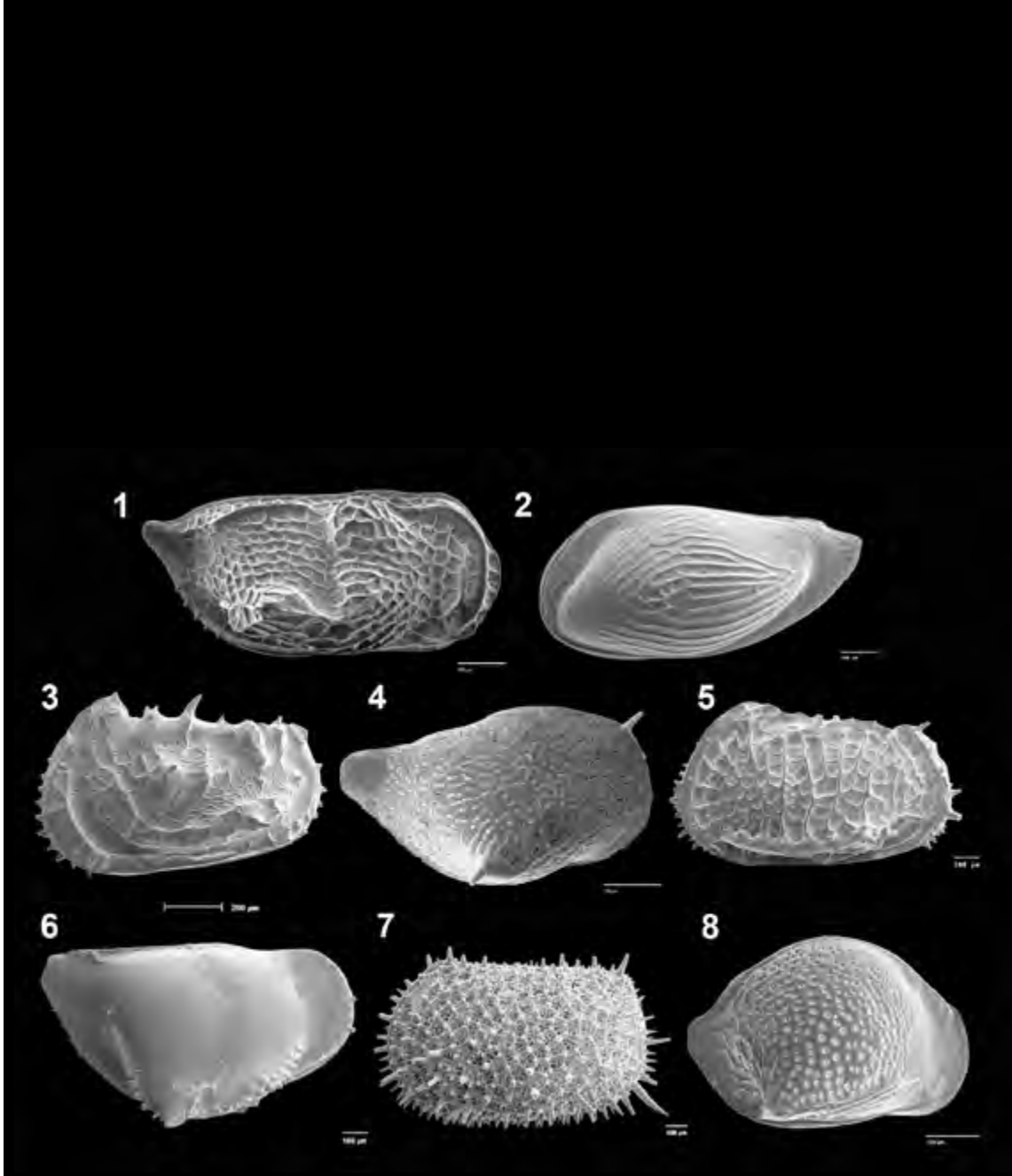


Figura 11. Ostracodes. 1 a 8 - espécies coletadas em sedimentos do Quaternário do Atlântico Sul. (Imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura). Imagens cedidas por Demétrio D. Nicolaidis.

Conchostráceos (Figura 12)

Os conchostráceos são pequenos artrópodes providos de uma carapaça com duas valvas, quitinosas, impregnadas ou não por carbonato de cálcio.

São organismos predominantemente dulciaqüícolas, habitando águas temperadas ou quentes. Distribuem-se sobre o substrato argiloso (bentônicos) de corpos d'água rasos e temporários, onde podem escavar ativamente o fundo.

Alimentam-se de restos vegetais e de microrganismos (ostracodes e copépodes) obtidos através do revolvimento e ingestão de pequenas partículas dos sedimentos lamosos.

São organismos cosmopolitas, encontrados em todas as latitudes.

O que fica preservado nas rochas e é objeto de estudo da micropaleontologia é a carapaça ou suas valvas desarticuladas. Seu tamanho varia de 3 mm a até 4 cm.

Os fósseis mais antigos de conchostráceos conhecidos são do Cambriano, mas ocorrem até hoje em lagos temporários, margens de lagos perenes, planícies de inundação, fontes termais ou mesmo lagunas costeiras.

Figura 12. Conchostráceo *Conchostraca* sp. Imagem cedida por João Carlos Coimbra.

Poríferos (Figura 13)

Os poríferos (Filo Porifera), também conhecidos como esponjas, são animais bentônicos sésseis (fixos no substrato), coloniais ou solitários. Fazem parte da construção de recifes.

Tem uma forma semelhante a um vaso fixado pela base, perfurado externamente por pequenos poros. O esqueleto inorgânico pode ser espicular ou não espicular. As espículas podem ser de carbonato de cálcio ou sílica, e são geralmente elas que ficam preservadas e são encontradas nas amostras de micropaleontologia.

As esponjas ocupam todos os ambientes aquáticos. A maioria é filtradora de microorganismos e outras substâncias da água, mas algumas são carnívoras. Vários animais se alimentam de esponjas, embora o dano causado por estes predadores seja geralmente pequeno. Alguns moluscos, ouriços e estrelas-do-mar, além de peixes tropicais (donzelas, peixes-borboleta) e tartarugas, comem esponjas. Muitas espécies são totalmente expostas aos predadores, e na impossibilidade de bater em retirada apresentam mecanismos alternativos de defesa, de natureza química, contra a predação excessiva.

Seu registro fóssil inicia no Cambriano e vem até hoje. Seu tamanho varia de 1 mm a 2 m de altura.

Figura 13: Fósseis da esponja *Rhizocorallium commune*, do Triássico. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes.

Cnidários (Figura 14)

Os Cnidários são animais exclusivamente aquáticos, com formas sésseis, denominadas pólipos, e livre-natantes, denominadas medusas. As formas polipóides vivem fixas ao substrato e podem ser solitárias ou coloniais.

Incluem as águas-vivas e os corais formadores de recifes. O termo "coral", em termos gerais, refere-se aos cnidários com esqueletos compostos por carbonato de cálcio. As medusas podem ser relativamente pequenas (alguns milímetros), mas as espécies maiores podem atingir os 2 m de diâmetro e apresentar tentáculos com mais de 10 m de comprimento. Os pólipos solitários podem ser microscópicos ou atingir 2 m de diâmetro, quando formam colônias.

A alimentação é feita através dos tentáculos, que capturam e encaminham para a boca os animais, principalmente pequenos crustáceos, e o plâncton. Os cnidários são predados por alguns peixes.

Os Cnidários tem ampla distribuição geográfica e são predominantemente marinhos, sendo atualmente mais comuns em regiões onde há águas quentes, rasas e limpas nos oceanos.

Os registros mais antigos do grupo são de formas medusóides do final do Pré-Cambriano (Ediacarano), preservados como moldes ou impressões. Nas amostras de micropaleontologia podem ser encontrados fragmentos do esqueleto de carbonato de cálcio das formas polipóides preservados.

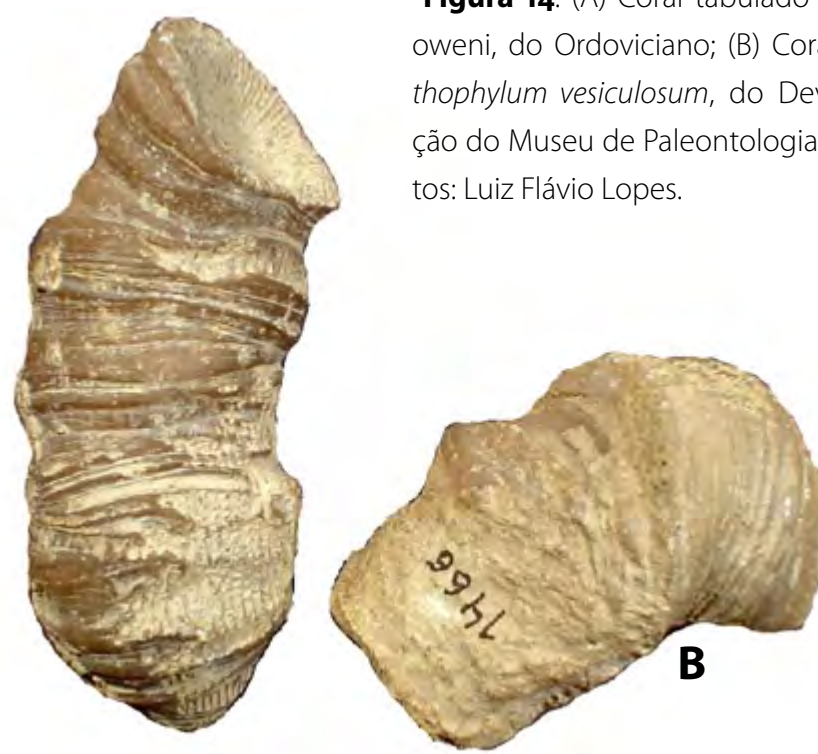


Figura 14. (A) Coral tabulado Receptaculites oweni, do Ordoviciano; (B) Coral rugoso *Cyathophylum vesiculosum*, do Devoniano. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes.

Briozoários (Figura 15)

Os Briozoários são animais invertebrados e coloniais. Os indivíduos das colônias, denominados zoóides, são cilíndricos, dotados de anel de tentáculos e fisicamente conectados entre si. O zoóide tem cerca de 0,5 mm de comprimento. O grupo participa da construção de recifes.

São sésseis e encontrados incrustados em qualquer material aquático.

Constituído por animais encontrados em água doce, mas predominantemente em água salgada, podendo ser encontrados em todas as profundidades no ambiente marinho, sendo, porém mais comuns em águas rasas nos mares tropicais. Os briozoários marinhos possuem um esqueleto calcário.

Habitam preferencialmente águas límpidas e alimentam-se de plâncton, como as diatomáceas e os radiolários. Existem desde o Ordoviciano e são abundantes nos dias atuais. Nos sedimentos e rochas podem ser encontrados fragmentos de suas colônias.

Figura 15. Fósseis de Briozoários. (A) *Polypora* sp.; (B) *Arquimedes halli*. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes.

Braquiópodes (Figura 16)

Braquiópodes são animais solitários que possuem o corpo protegido por uma concha com duas valvas. A concha pode ser de fosfato de cálcio ou carbonato de cálcio. Diferem dos moluscos bivalves externamente pelo seu plano de simetria que passa no meio das valvas e não entre elas como nos moluscos.

Os braquiópodes são exclusivamente marinhos, bentônicos e suspensívoros, ou seja, filtram partículas em suspensão na água para obter seu alimento. Seu registro fóssil inicia no Cambriano e vem até hoje. O que pode ser encontrado no sedimento são fragmentos de sua concha.

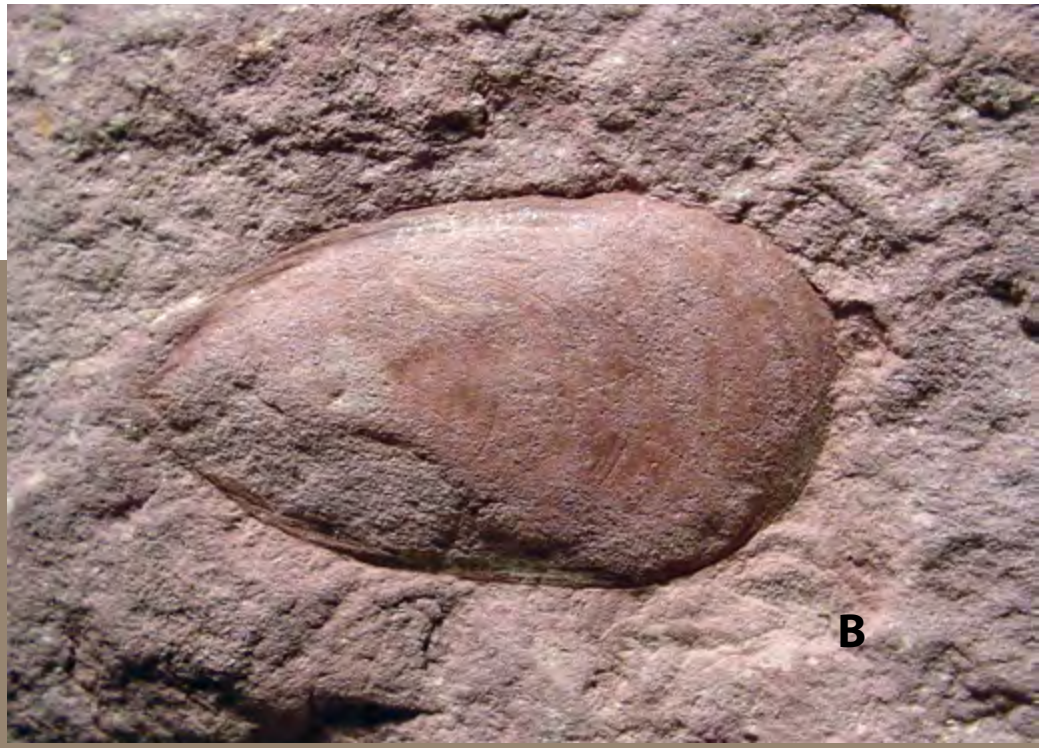


Figura 16. Fósseis de Braquiópodes. (A) *Austracoelia tourteloti*, do Devoniano; (B) *Lingula* sp., do Devoniano. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes.

Moluscos biválvios (Figura 17)

São animais invertebrados incluídos no Filo Mollusca e Classe Bivalvia. Possuem concha de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) com duas valvas. A concha dos biválvios apresenta crescimento contínuo, o que fica evidenciado através das linhas de crescimento. Seu tamanho varia desde 1 cm até 1,5 m de diâmetro.

Ocorrem preferencialmente em ambiente marinho desde regiões polares até a equatorial. Também podem ser encontrados em águas salobras e em lagos e rios.

São predominantemente bentônicos e filtradores. Existem espécies detritívoras, ou seja, que se alimentam da matéria orgânica encontrada no sedimento em que vivem; e outras suspensívoras, ou seja, que filtram as partículas de alimento suspensas na água.

O registro mais antigo de biválvios é do Cambriano. No sedimento, tanto micromoluscos bivalves inteiros como fragmentos da concha de bivalves macroscópicos podem ser encontrados associados a outros microfósseis.

Figura 17. Fósseis de moluscos biválvios. (A) *Aviculopecten cambayensis* do Permiano; (B) *Nuculites pacatus* do Devoniano. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes.

Moluscos gastrópodes (Figura 18)

São animais invertebrados pertencentes ao Filo Mollusca e Classe Gastropoda.

Geralmente apresentam concha espiralada, de carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Seu tamanho varia desde 1 mm até 70 cm de comprimento

Os gastrópodes habitam preferencialmente o ambiente marinho, onde a maioria é bentônica, mas existem espécies terrestres.

O modo de alimentação dos gastrópodes é bastante variado. As formas herbívoras têm rádulas fortes que utilizam para raspar algas ou triturar folhas e caules. As formas detritívoras e filtradoras tem uma rádula simples ou ausente. As carnívoras correspondem a predadores ativos que caçam até pequenos peixes.

Os gastrópodes surgiram no Cambriano, mas tornaram-se mais diversificados e abundantes nos mares após o início da era Cenozoica. Existem até hoje.

Figura 18. Fóssil de molusco gastrópode *Naticopsis plicastria*. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Moluscos cefalópodes (Figura 19)

São animais invertebrados do Filo Mollusca e Classe Cephalopoda. A principal característica deste grupo é a coroa de tentáculos que circunda a região da cabeça. Conchas externas de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) eram bem desenvolvidas em cefalópodes nautiloides e amonoides extintos no final do Mesozoico. Nos representantes atuais observa-se uma redução ou perda da concha.

Atingem tamanho expressivo, principalmente os fósseis, cujas conchas chegaram a cerca de 2,5 m de diâmetro.

São moluscos exclusivamente marinhos. São predadores e capazes de nadar e alcançar grandes velocidades.

Surgiram no Cambriano e ocorrem até hoje. Foram extremamente abundantes nos mares do Paleozoico e Mesozoico, hoje estão restritos a aproximadamente 650 espécies. No registro fóssil podem ser encontrados fragmentos destas conchas nos materiais micropaleontológicos.

Figura 19. Fósseis de moluscos cefalópodes. (A) cefalópode de concha reta *Orthonybioceras* (*Treptoceras*) *duzery,* do Ordoviciano; (B)cefalópode amonóide *Ceratites spinosus postspinosum*, do Triassico. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes.

Trilobitas (Figura 20)

Os trilobitas eram animais invertebrados pertencentes ao filo Arthropoda. Seu corpo era achatado e segmentado, podendo ser dividido em três lobos em sua região dorsal (uma região axial e duas laterais).

A presença de um exoesqueleto de quitinosa, impregnado de carbonato de cálcio que sofria mudas (ou ecdises) ao longo do seu crescimento, justifica a riqueza de seu registro fóssil.

Os trilobitas atingiam entre 3 a 10 cm de comprimento, mas em alguns casos poderiam chegar a quase 1 metro de comprimento.

Exclusivos de ambiente marinho, os trilobitas eram, em sua maioria, animais bentônicos, que viviam junto do fundo próximo à costa, mas algumas formas pequenas eram planctônicas. Provavelmente eram, em sua maioria, detritívoros, sendo alguns carnívoros (predadores).

Os trilobitas viveram apenas na Era Paleozoica, nos mares do Cambriano ao final do Permiano, quando foram totalmente extintos.

Nas rochas da Era Paleozoica estudadas por micropaleontólogos podem ser encontradas partes desarticuladas do exoesqueleto dos trilobitas, tais como antenas e apêndices locomotores e respiratórios.

Figura 20. Trilobita *Elratia* sp., do Cambriano. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Equinodermos

São animais invertebrados exclusivamente marinhos caracterizados por sua simetria radial na fase adulta. Podem ser encontrados em quase todos os ambientes marinhos desde as regiões polares até as equatoriais, da zona intermarés a profundidades superiores a 5.000 m. Uma das principais características do grupo é o sistema vascular aquifero, que movimenta os seus pés ambulacrais.

Nos equinodermos destaca-se a presença de um esqueleto interno composto por placas de calcita cristalina, algumas muito pequenas, que quando desarticuladas são encontradas no material micropaleontológico. Os equinodermos, principalmente aqueles compostos por placas esqueletais mais resistentes, são um dos principais componentes bioclásticos dos carbonatos detríticos.

Há registro fóssil de equinodermos desde o Cambriano até o Recente.

Equinodermos equinóides (Figura 21)

Fazem parte desse grupo os ouriços e as bolachas-do-mar. Em geral, apresentam um esqueleto globular ou achatado. Os ouriços apresentam o corpo revestido por espinhos, que atuam na locomoção, mas também têm função de defesa. Placas calcárias isoladas e espinhos de ouriços fazem parte dos materiais atribuídos a microfósseis. Seu registro fossilífero vai do Ordoviciano ao Recente Recente.

Figura 21. Equinoide fóssil. Ouriço regular. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Equinodermos crinoides (Figura 22)

São equinodermas suspensívoros, ou seja, que se alimentam através de material em suspensão na água.

Ocorrem desde o Ordoviciano até o Recente. Também conhecidos como lírios do mar, eram abundantes nos mares do Paleozoico, onde viviam fixos ao fundo do mar por uma coluna flexível e podiam atingir até 21 m de comprimento. Hoje existe um grande número de espécies, mas são bem menos numerosos do que no Paleozoico.

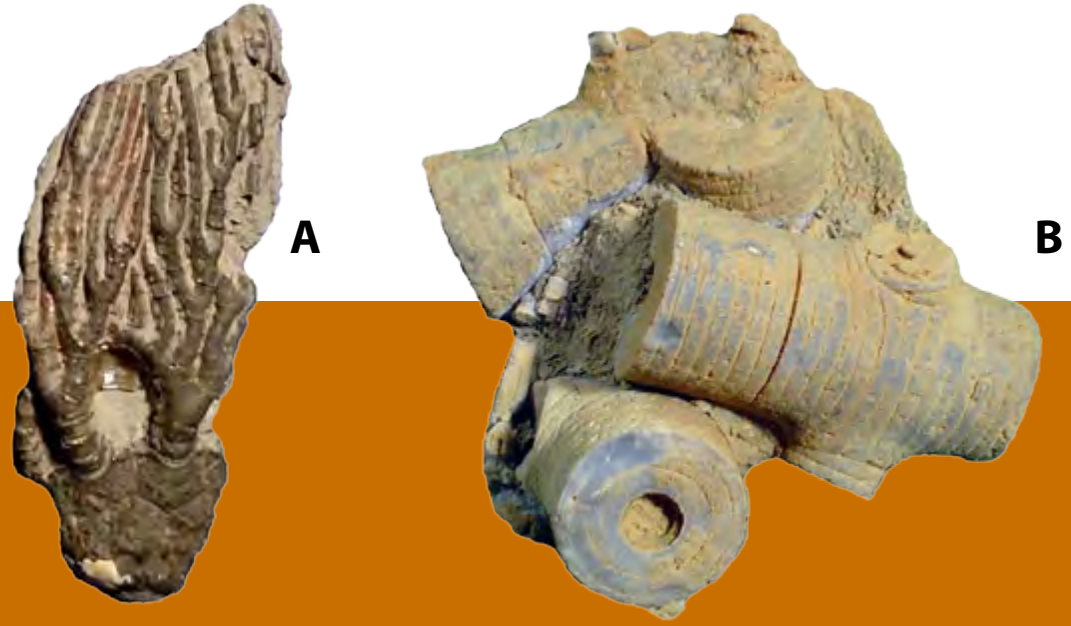


Figura 22. Equinodermos crinoides. (A) *Cyatocrynus multibranchiatus* do Carbonifero; (B) placas colunares de crinoide do Carbonífero. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes.

Equinodermos asteroides (Figura 23)

Os asteroides ("estrelas-do-mar") são organismos cujo esqueleto é constituído por vários ossículos fracamente interconectados, de maneira que, com a morte do animal, ele é facilmente desagregado, tornando-os parte dos microfósseis.

São animais carnívoros, ativos predadores de ouriços-do-mar, pólipos de corais, moluscos e mesmo de outros asteroides. Também abrem facilmente a concha de alguns bivalves com a força de seus pés ambulacrais.

Ocorrem desde o Ordoviciano até o Recente.

Figura 23. Equinodermo asteroide. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Conodontes (Figura 24)

Os Conodontes foram animais de corpo mole, considerados os ancestrais dos vertebrados modernos.

Eram predadores, livre natantes e nectobentônicos.

Eram exclusivamente marinhos e estavam bem distribuídos nos mares, tendo sido encontrados na Europa, Japão, no Sahara, na Índia, China, na Austrália, na África, na América do Sul e do Norte.

São encontrados em rochas do Neoproterozoico até o Triássico e desde então não existem mais, ou seja, são extintos.

O que fica preservado nas rochas são as estruturas esqueletais em forma denticulada chamadas de elementos conodontes, compostas por fosfato de cálcio. Partes orgânicas foram encontradas em rochas do Carbonífero da Escócia, do Siluriano dos Estados Unidos e Ordoviciano da África do Sul .

Seu tamanho varia de 0,2 a 6 mm.

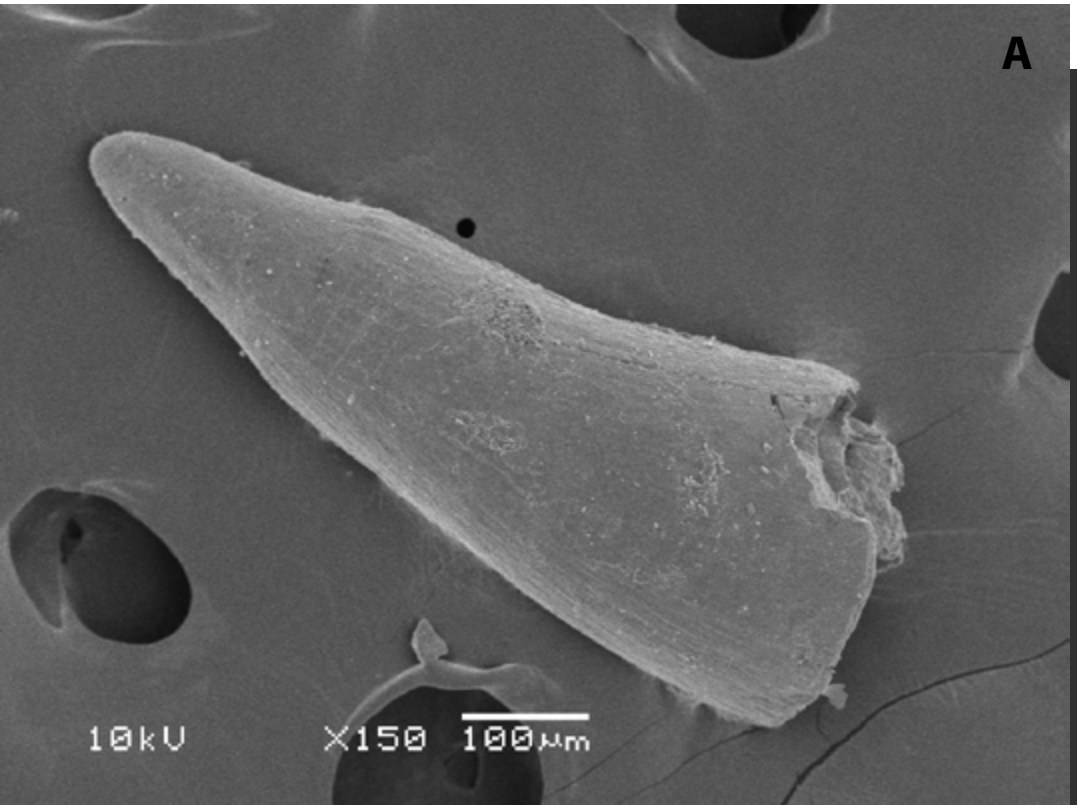
Figura 24. Placa dentígera de conodonte do Ordoviciano. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Peixes (Figura 25)

Os peixes (Gnathostomata) dividem-se em dois grandes grupos: os Condricthyes, com esqueleto cartilaginoso, e Osteichthyes, com esqueleto ósseo.

Os Chondrichthyes (tubarões, raias) possuem o esqueleto interno cartilaginoso, mas seus dentes são encontrados frequentemente preservados em rochas. Os primeiros tubarões surgiram no início do período Devoniano. As raias têm seu registro mais antigo no Jurássico.

Os Osteichthyes (sardinha, salmão, bacalhau) são peixes ósseos com registro fóssil desde o Siluriano até hoje. Escamas, ossos e dentes podem ser encontrados nas rochas.



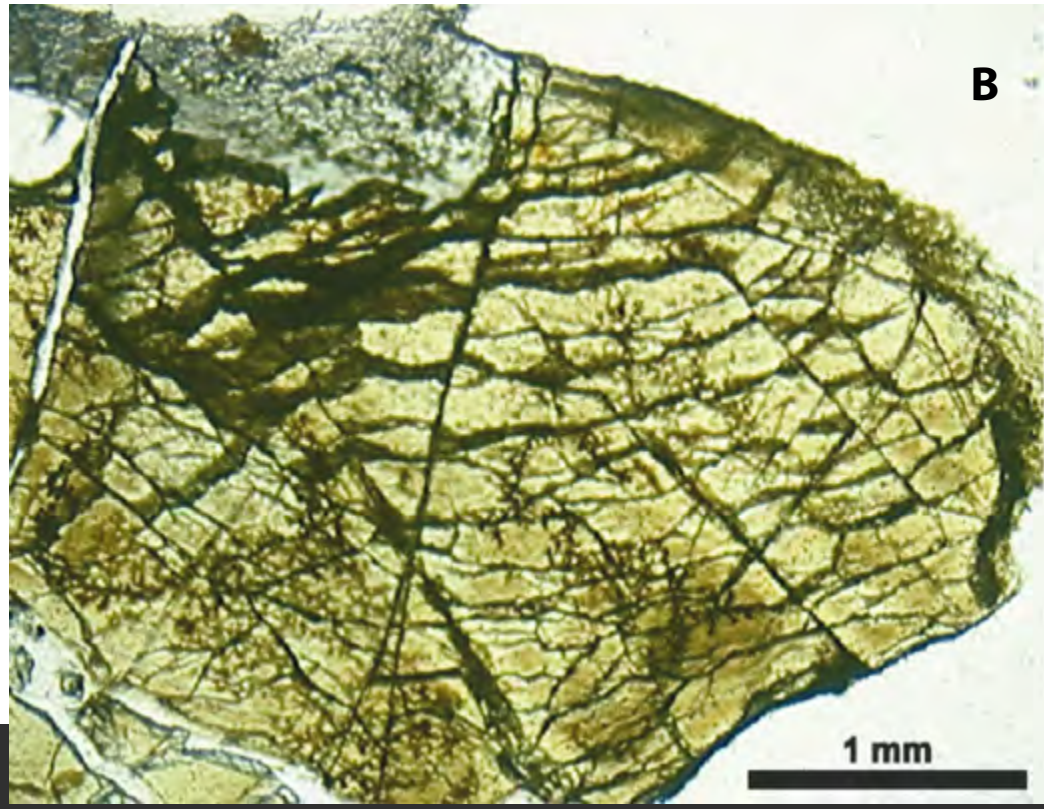


Figura 25. (A) dente de peixe actinopterígio sob microscopia eletrônica de varredura. Imagem cedida por Gaia Hasse; (B) escama de peixe actinopterígio sob microscopia ótica. Imagem cedida por Ana Emília Quezado de Figueiredo.

Figura 26. Dentes de plesiosauros, cujos fragmentos podem ser encontrados na forma de microfósseis. Fonte: http://www.discussfossils.com/forum/forum_posts.asp?TID=1151.

Répteis marinhos (Figura 26)

Os répteis marinhos formam um grande grupo de répteis que retornaram à água, mas não são dinossauros, estando mais relacionados com os lagartos.

Alguns répteis marinhos que viveram exclusivamente na Era Mesozoica e hoje são extintos são os plesiossauros e ictiossauros. Eles eram predominantemente carnívoros e hábeis predadores.

Os ictiossauros mediam entre 2 a 3 m de comprimento (mas podiam atingir 15 m), tinham um focinho longo e afilado e barbatanas caudais e dorsais tal como os peixes, mas eram répteis. Alimentavam-se preferencialmente de moluscos como por exemplo os cefalópodes amonites.

Os plesiossauros eram animais marinhos, com as patas adaptadas à função de barbatana e com pescoço muito comprido, que se alimentavam de peixes, inclusive os tubarões. Podiam atingir até 15m de comprimento.

Ambos os grupos surgiram no Triássico e se extinguiram no final do Cretáceo na mesma época que os dinossauros e muitos outros grupos de seres vivos.

ONDE OS MICROFÓSSEIS PODEM SER ENCONTRADOS?

Muitos sedimentos e rochas contêm microfósseis. O tipo de microfósseis que serão encontrados depende muito:

- de quando as rochas sedimentares foram depositadas (idade das rochas);
- em qual ambiente as rochas foram depositadas (ambiente deposicional);
- dos processos que o sedimento onde os microorganismos foram depositados sofreu após a incorporação destes ao mesmo (condições de fossilização).

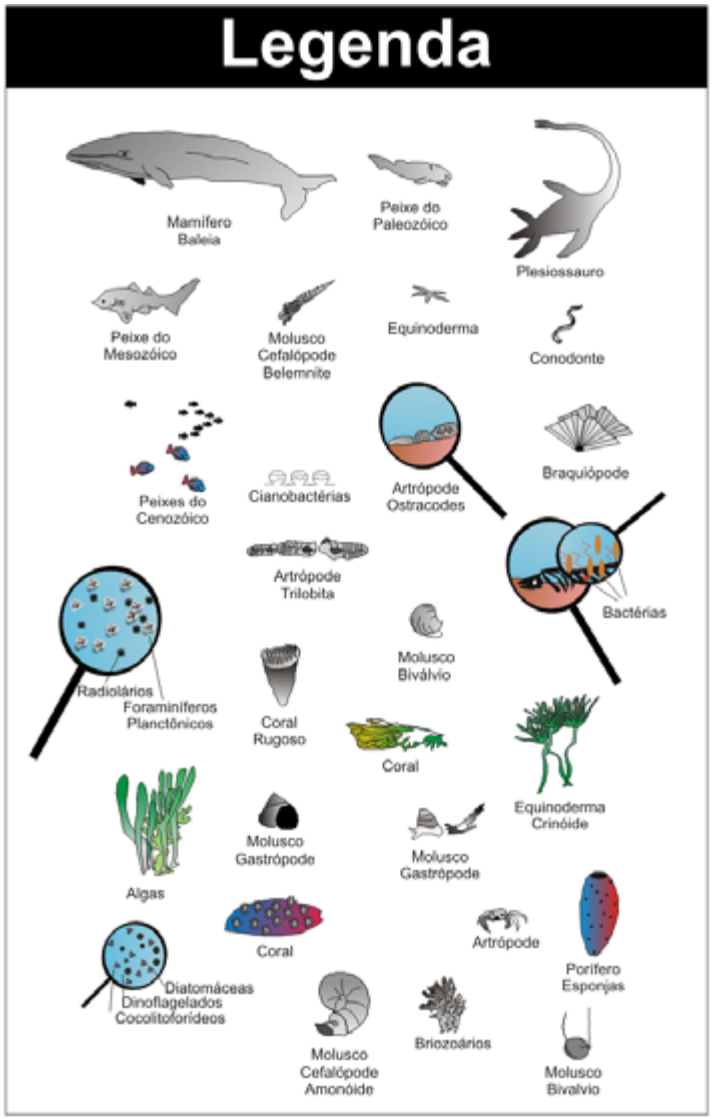
Há sedimentos que contém muitos microfósseis, como por exemplo, em 10 cm^3 de areia de recife de corais pode-se coletar 10.000 espécimes, mas em outros tipos de rocha pode-se triar 1 quilo de amostra para encontrar apenas 1 microfóssil (Armstrong & Brasier, 2005).

Em geral, em uma pequena amostra de rocha podemos recuperar muitos microfósseis, graças ao seu tamanho pequeno. A partir da identificação desses organismos podemos descobrir várias informações sobre o tempo em que eles viviam e seu ambiente de vida **(Figura 27)**.

Figura 27. Sedimento rico em microfósseis coletado na plataforma continental de Tramandaí/RS.

QUE SEGREDOS OS MICROFÓSSEIS PODEM REVELAR?

A partir do estudo dos microfósseis podemos verificar que na história do planeta Terra existiram organismos que não existem mais hoje, que já estão extintos há muitos milhões de anos (**Figura 28**).



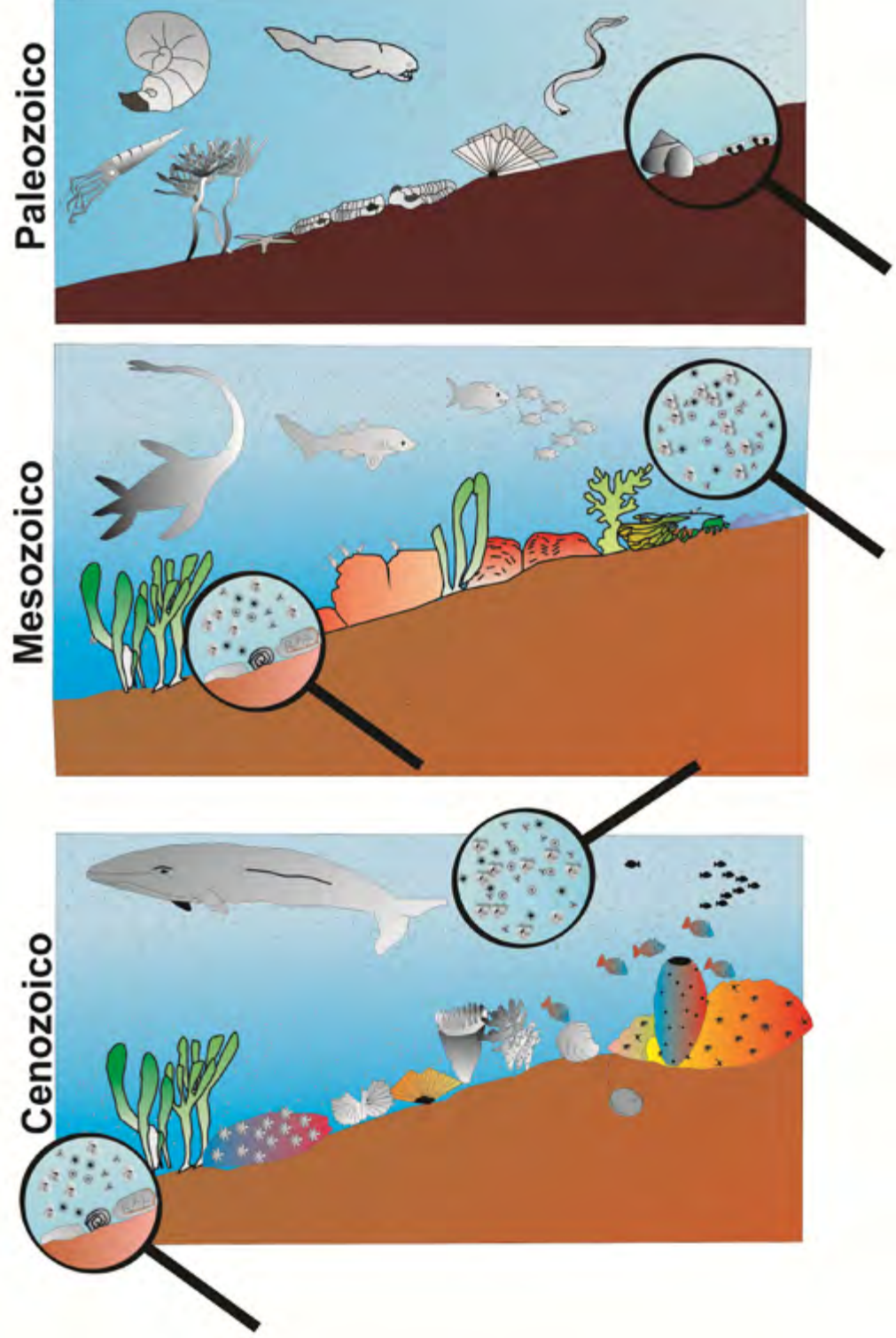


Figura 28. Os ambientes marinhos ao longo das Eras geológicas.

Descobrimos também que as cadeias alimentares existem há muito tempo, porém os organismos que ocupavam cada elo da cadeia variaram, sendo que quando um era extinto outro ser vivo ocupava sua função (**Figura 29**).

Os microfósseis podem também revelar a idade das rochas, desde que a distribuição de uma espécie esteja limitada a um curto intervalo de tempo, ou seja, que uma espécie de foraminífero, por exemplo, tenha surgido, evoluído e se extinguido em algumas centenas de milhares de anos.

Sua presença nas rochas pode indicar o tipo de ambiente que ali existia. Os ostracodes, por exemplo, são bons para sabermos a salinidade da água em que viviam quando foram mortos e soterrados **(ver capítulo A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS)**. E o que sabemos hoje sobre o desenvolvimento e estabilidade dos ecossistemas globais atuais tem muita contribuição do registro dos microfósseis, especialmente daqueles grupos que estão na base da cadeia alimentar ou próximo a ela, como os protistas com carapaça calcária (cocolitoforídeos) e silicosa (diatomáceas).

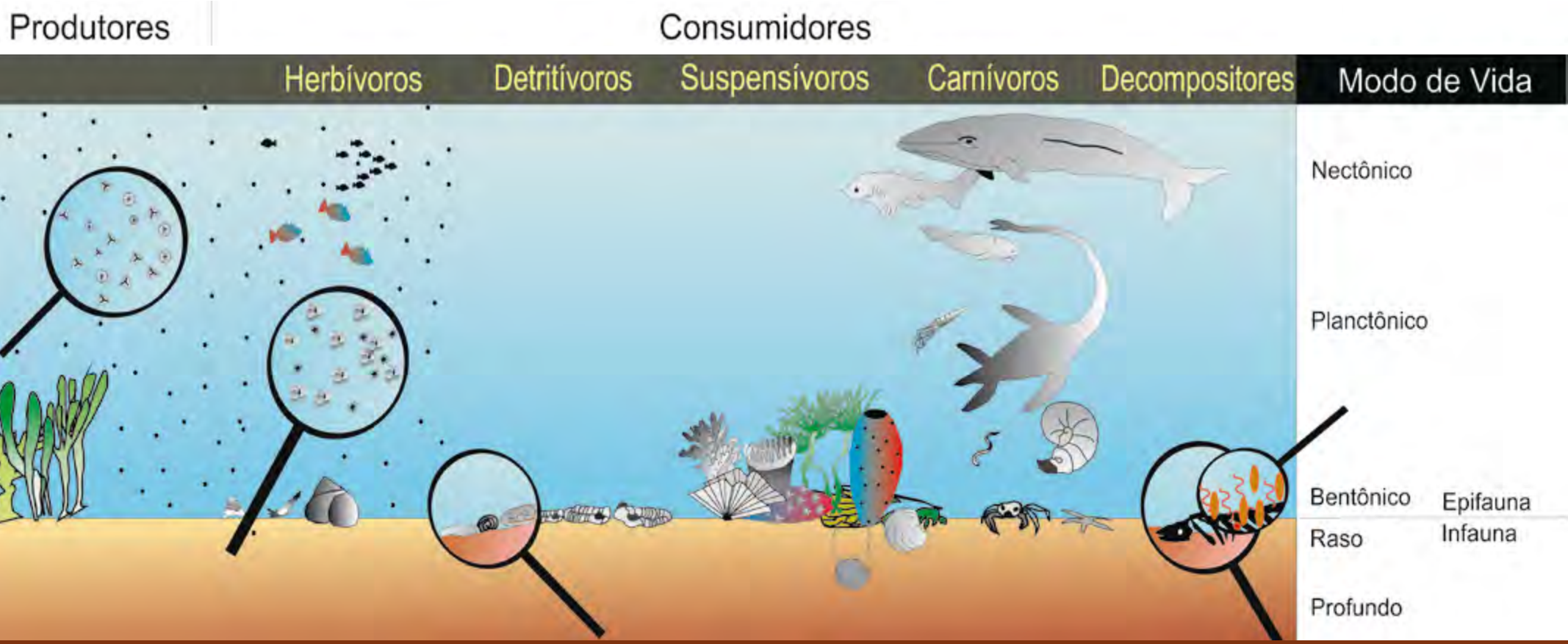
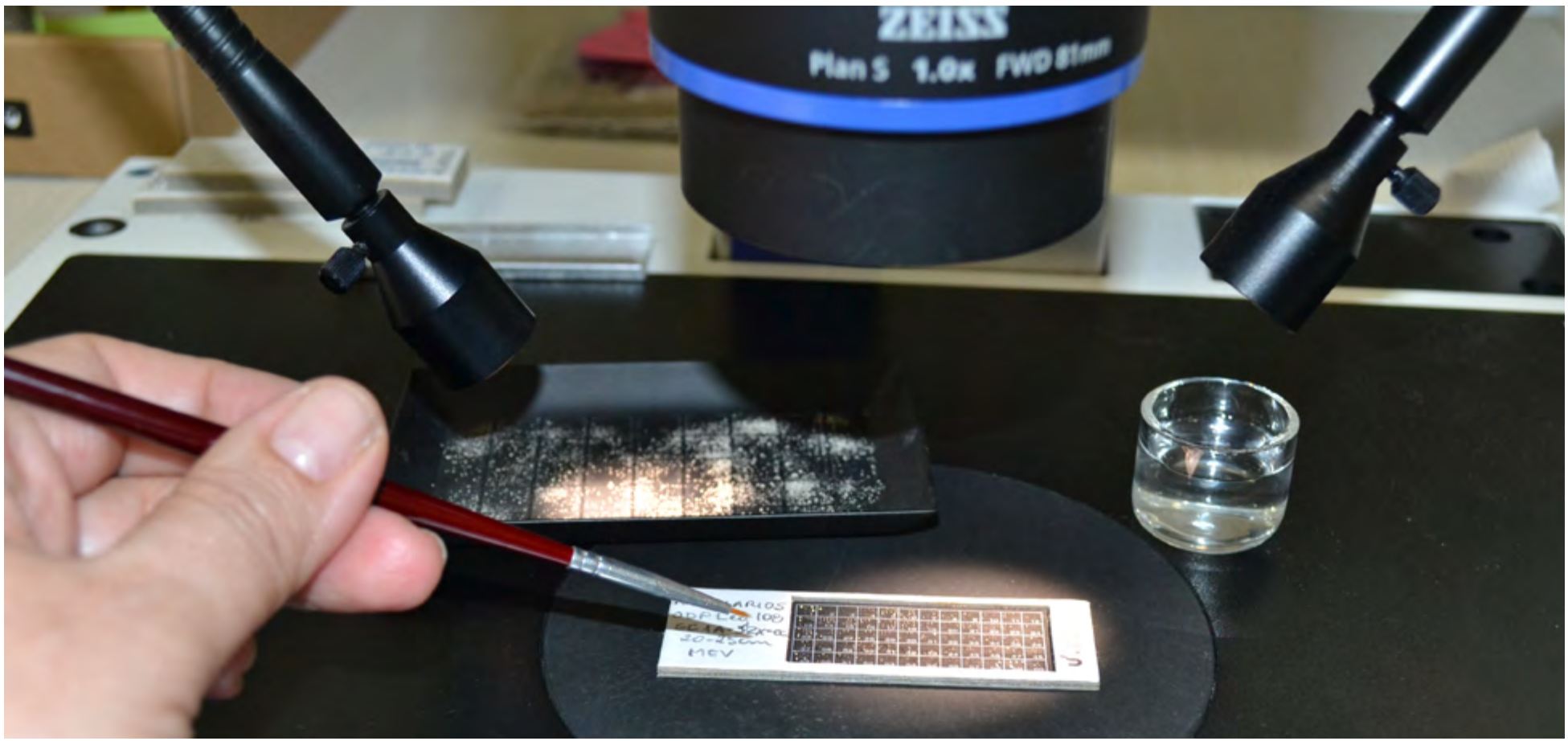


Figura 29. Distintos níveis tróficos e modos de vida apresentados pelos componentes das cadeias alimentares marinhas. Nesta representação encontram-se organismos de diferentes períodos geológicos.

QUEM TRABALHA COM MICROFÓSSEIS?

Os micropaleontólogos estudam os microfósseis. Existem muitos serviços geológicos, programas internacionais de pesquisa e perfuração no fundo dos oceanos, empresas de petróleo e gás, universidades e museus que contratam micropaleontólogos para analisar amostras obtidas de furos de sondagem e/ou afloramentos a fim de obter informações sobre a idade da rocha, paleoambiente, entre outras **(Figura 30)**.

Figura 30. Micropaleontólogo trabalhando no laboratório.



REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. & SEELING, J. 2000. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: Os Moluscos Bivalves. Phoenix, n.18. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix18_Junoo.html

ANJOS-ZERFASS, G. S. & ANDRADE, E. .J. 2008. Foraminíferos e bioestratigrafia: uma abordagem didática. Terrae Didatica 3(1): 18-35.

ARAI, M. & LANA, C. C. 2011. Dinoflagelados. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ªed., v. 1, Rio de Janeiro: Interciência, p.137-166.

ARMSTRONG, H. A. & BRASIER, M. D. 2005. Microfossils. 2ª ed, Oxford: Blackwell, 2005.

BAECKER-FAUTH, S. & KOUTSOUKOS, E. A. M. 2002. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: Os Radiolários. Phoenix, n.37. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix37_Jano2. html.

BAECKER-FAUTH, S; BRUNO, M. D. R; LOPES, F. M. & FARIA, R. S. 2011. Carófitas. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ªed., v. 2, Rio de Janeiro: Interciência, p.166-179.

BARTH, O. M. 2004. Palinologia. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 2ª ed., v.1, Rio de Janeiro: interciência, p. 369-379.

BENGTSON, P. & SOUZA-LIMA, W. 2000. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: os Amonoides. Phoenix, n.16, Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix16_Abroo. html.

BERGUE, C. T. 2006. A aplicação dos ostracodes (Crustacea) em pesquisas paleoceanográficas e paleoclimáticas. Terrae Didatica 2(1):54-66, 2006.

BERTINI, R. J. 2004. Répteis. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 2ª ed., v.1., Rio de Janeiro: interciência, p. 781-816.

CARVALHO, I. S. & ARAI, M. 2001. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas. Os crustáceos: conchostráceos. Phoenix, n.29, Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix29_ Maio1.html.

CARVALHO, I. S.; VICALVI, M. A. & CARVALHO, M. G. P. 2011. Artrópodes. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: interciência, p.394-397.

CASSAB, R. T. 2000. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: Os Gastrópodes. Phoenix, n. 20. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix20_Agooo. html.

COIMBRA, J. C. & BERGUE, C. T. 2011. Ostracodes. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: interciência, p.35-51.

COSTA CRUZ, N. M. Paleopalinologia. 2011. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. v.2, p.195-207

EILERT, V. P; BAECKER-FAUTH, S. & SOUZA, V. Radiolários. 2011. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3. ed., v. 2, Rio de Janeiro: Interciência, p.89-106.

FEIST, M. 2005. Charophyta. In: Moore, R.C & Kaesler, Roger L. (eds). Treatise on Invertebrate Paleontology, Part B Protoctista 1.The Geological Society of America and University of Kansas, Boulder and Lawrence. v.1, 170p.

FERNANDES, J. M. G. 2011. Cnidários. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p. 315-331.

FERNANDES, J. M. G. 2001. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: os Corais e demais cnidários. Phoenix, n.25. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix 25_Jano1.html

FERNANDES, J. M. G. 2011. Poríferos. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p. 289-298.

FONSECA, V. M. M. 2004. Braquiópodes. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 2ª ed., v.1., io de Janeiro: Interciência, p. 651-674.

FONSECA, V. M. M. 2011. Braquiópodes. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p.333-358.

GALM, P.C; ANTUNES, R.L. 2001. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas:Os Nanofósseis Calcários. Phoenix, n.33. Disponível em: http://www.infonet.com.br/phoenix/Phoenix33_ Seto1.htm.

GUERRA, R. M. & TOKUTAKE, L. R. 2011. Evolução do conhecimento biocronoestratigráfico do Cretáceo nas bacias marginais brasileiras baseado em nanofósseis calcários. Terrae Didatica 7: p. 41-48.

KELLNER, A. 2006. Os répteis marinhos do passado. Ciência Hoje online, Coluna Caçadores de Fósseis, Disponível em: http://ich.unito.com.br/49855.

KOCHHANN, K. G. D. 2011. Radiolários: estado do conhecimento e aplicações às geociências. Terrae Didatica 7: 18-28.

LANA, C. C. 2001. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: Os Dinoflagelados, palinomorfos muito especiais. Phoenix, n.36. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix36_%20Dezo1.htm.

LEMOS, V. B. & SCOMAZZON, A. K. 2004. Conodontes. . In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 2ª ed., v.1., Rio de Janeiro: Interciência, p.719-732.

LOEBLICH, A. & TAPPAN, H. 1964. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part C. Protista 2. Sarcodina, chiefly 'Thecamoebians' and Foraminiferida.

MACHADO, D. M. C; KOTZIAN, C. B. & ERTHAL, F. 2011. Moluscos. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p. 409-447.

PEDRÃO, E. & BARRILARI, I. M. R. 2001. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: os palinomorfos: esporos. Phoenix, n.30. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix30_ Juno1.htm.

PEDRÃO, E. & BARRILARI, I. M. R. 2001. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: os palinomorfos: pólens. Phoenix, n.31. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix31_Julo1. htm.

SALLUM FILHO, W. & FAIRCHILD, T. R. 2005. Um passeio pelo passado no shoppinng. Ciência Hoje 37: 22.

RICHTER, M. 2011. Agnatos e peixes. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.3., Rio de Janeiro: Interciência, p.37-81.

SOUZA, F. B. C. & GOMES, R. C. T. 2000. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: os briozoários. Phoenix, n.24. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix24_Dezoo.html.

SOUZA-LIMA, W. & MANSO, C. L. C. 2000. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: os crinóides e asteróides. Phoenix, n.22. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix22_Outoo.html.

SOUZA-LIMA, W. & MANSO, C. L. C. 2011. Equinodermas. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p.449-478.

SOUZA-LIMA, W. & BENGTSON, P. 2000. Os fósseis da bacia de Sergipe-Alagoas: os nau¬tilóides e demais cefalópodos. Phoenix, n.17 Disponível em: http://www.phoenix.org.br/ Phoenix17_Maioo.html.

TÁVORA, V. A. & NOGUEIRA NETO, I. L. 2011. A. Briozoários. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p.299-314.

VIEIRA, C. E. L. 2011. Diatomáceas. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p.107-135.

VILELA, C. G. 2004. Foraminíferos. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 2ª ed., v.1., Rio de Janeiro: Interciência, p. 269-284.

WANDERLEY, M. D. 2011. Nanofósseis calcários. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 3ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p.71-88.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Quem come quem e quando?Cadeia alimentar e extinções
Rochas sedimentares: revelando microfósseis
Que segredos a areia da praia pode revelar?
O que os microfósseis podem revelar?
Grãos de pólen: como reconstruir paisagens passadas?
Material palinológico: interpretação paleoambiental
Microfósseis e seus paleoambientes
Microfósseis relelendo paleoambientes

VOLTE AO SUMÁRIO

SIM, NÓS TEMOS DINOSSAUROS ... E MUITOS!

Alexander W. A. Kellner

Mencionar que os dinossauros são animais fascinantes é algo que soa, por demais, trivial. O interesse que esse grupo de répteis desperta nas pessoas das mais diferentes faixas etárias é evidente e pode ser mensurado pela atenção que qualquer assunto ou produto com o nome, ou incorporando a palavra "dinossauro", recebe, seja um filme, um brinquedo ou mesmo um estabelecimento comercial (e.g., restaurante, loja).

Também no Brasil há esse interesse. Um bom exemplo pode ser demonstrado pela repercussão da mostra intitulada No Tempo dos Dinossauros. Desenvolvida no Museu Nacional/UFRJ em conjunto com o Museu de Ciências da Terra (atualmente alocado ao Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Rio de Janeiro) durante o ano de 1999 (Kellner, 2005), essa exposição se tornou um verdadeiro marco na paleontologia nacional uma vez que fez com que a mídia "descobrisse" e se interessasse, de forma mais contínua, pelas pesquisas sobre fósseis realizadas no Brasil. Um levantamento da revista Veja mostrou que No Tempo dos Dinossauros, com apenas 250m², recebeu nos primeiros 40 dias o número expressivo de 66.740 visitantes (Vieira, 1999). Durante esse mesmo período, essa mostra foi superada apenas por uma exposição realizada no Museu de Arte Moderna com as telas do artista espanhol Pablo Picasso (Anos de Guerra 1937-1945) com uma área de cerca de 1000m², visitada por 136.509 pessoas, e uma exposição sobre arte italiana no Museu Nacional de Belas Artes, que recebeu 80.000 visitantes (Vieira, 1999), ambos no Rio de Janeiro.

Outro bom exemplo do interesse que os dinossauros despertam foi a exposição intitulada Dinos na Oca e outros animais pré-históricos. Inaugurada em 2006, no parque Ibirapuera de São Paulo, a mostra foi a mais visitada com essa temática no Brasil, tendo mais de 500 mil visitantes (o dobro de No Tempo dos Dinossauros).

O motivo desse interesse sobre os dinossauros não é bem conhecido e pessoalmente ignoro qualquer estudo a respeito. Certamente influi o fato de que, dentro desse grupo de animais existem formas de tamanho gigantesco e feições bem diferentes do que pode ser observado na natureza atualmente. De qualquer modo, fato é que as pessoas gostam e querem saber sempre mais sobre estes répteis a cada nova descoberta.

O QUE SÃO DINOSSAUROS?

Ainda há muita confusão para o público em geral sobre o que realmente são os dinossauros. Existe uma percepção de que se algum animal é grande e está extinto, então se trata de um representante desse grupo, o que não está correto, levando a muitos enganos. Por exemplo, os répteis voadores denominados de pterossauros (Kellner, 2006) muitas vezes são equivocadamente chamados de "dinossauros voadores" (**Figura 1**). Também répteis marinhos extintos, como os plesiossauros, comumente são apresentados como dinossauros aquáticos, uma noção totalmente incorreta (**Figura 2**).

Figura 1. Pterossauro. Réplica do esqueleto de *Tropeognathus* montado no Museu Nacional da UFRJ, Rio de Janeiro. Foto: Alexander Kellner.

Figura 2. Réptil marinho pertencente ao grupo dos plesiossauros montado no Museu de Ciência e História Natural de Tóquio, no Japão. Foto: Alexander Kellner.

Mas, então, como podemos saber quais animais são ou não considerados como pertencentes ao grupo Dinosauria?

Para responder a essa questão, temos que entender um pouco mais de como a diversidade da vida é classificada hoje em dia. Sem entrar em maiores detalhes, que poderão ser consultados no **(ver capítulo TAXONOMIA E SISTEMÁTICA: COMO CLASSIFICAR OS ORGANISMOS)**, os sistematas (cientistas que se preocupam com a classificação dos organismos, procurando estabelecer o grau de parentesco entre eles e como evoluíram ao longo do tempo) buscam agrupar as espécies com base nas suas características únicas, denominadas de sinapomorfias. Este procedimento possui uma metodologia própria (sistemática filogenética ou cladismo) e difere dos procedimentos adotados no passado, onde classificações eram realizadas pela similaridade entre os organismos.

Os dinossauros possuem mais de uma dezena de características únicas, a maioria feições localizadas nas pernas e nos pés (Novas, 1996; Weishampel *et al*., 2004). Entre estas, uma das principais é um orifício bem desenvolvido na bacia (ou pélvis) na posição onde a perna se encaixa com o corpo **(Figura 3)**. Essa região se chama acetábulo e a presença de um acetábulo perfurado de forma ampla é uma das sinapomorfias dos dinossauros.

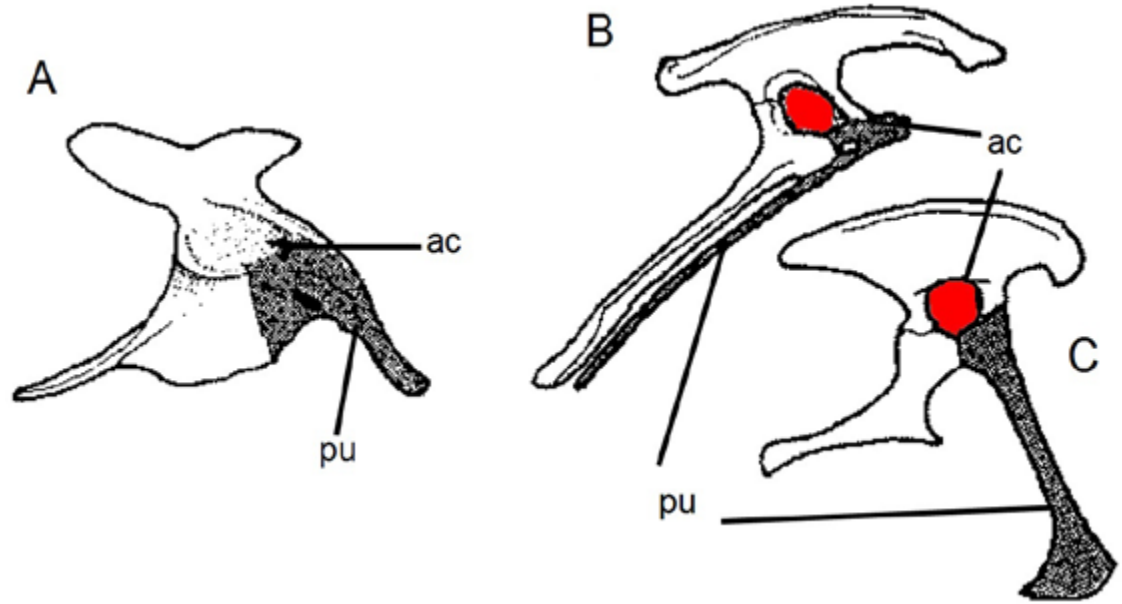


Figura 3. Região da pélvis de répteis apresentando a região acetabular. (A) arcossauro basal não-dinossauriano; (B) dinossauro ornitísquio; (C) dinossauro saurísquio. A região acetabular (ac) encontra-se com uma abertura bem desenvolvida nos dinossauros (em vermelho), diferente de outros grupos reptilianos. O púbis (pu) encontra-se direcionado para frente nos répteis primitivos e nos saurísquios, e é voltado para a região posterior nos ornitísquios. Arte: Maurílio Oliveira (Museu Nacional, UFRJ). Ilustração modificada de Kellner & Campos (2000).

Ainda no que se refere aos dinossauros, existem alguns mitos que devem ser mencionados. Um deles é a crença de que esses animais estão totalmente extintos. Apesar de algumas espécies conhecidas pelo público como o *Tyrannosaurus* **(Figura 4)** e o *Triceratops* dos Estados Unidos, ambos estrelas no filme Jurassic Park, e o predador *Santanaraptor* **(Figura 5)** e o herbívoro *Maxakalisaurus* do Brasil estarem extintos, ainda existe um grupo de dinossauros vivente: as aves. Certamente o leitor vai estranhar esta afirmação, mas as aves são, do ponto de vista evolutivo, descendentes de um grupo de dinossauros e, portanto, considerados como parte integrante de Dinosauria. Até mesmo o acetábulo perfurado (que o leitor poderá constatar quando saborear um galeto) está presente nas aves.

Figura 4. Crânio de *Tyrannosaurus rex* em exposição no Museu Nacional/UFRJ. Comprimento de 1,5m. Foto: Alexander Kellner.

Figura 5. *Santanaraptor placidus,* pequeno dinossauro carnívoro brasileiro, atacando um ninho do pterossauro *Tapejara wellnhoferi*. Arte: Maurílio Oliveira (Museu Nacional, UFRJ).

Outro mito é que todos os dinossauros são animais de grande porte. Apesar de ser verdadeiro que nesse grupo de répteis, que dominou particularmente a Era Mesozoica **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**, existem formas de gigantes como o *Futalognkosaurus* **(Figura 6)** e o *Argentinosaurus*, ambas encontradas em Neuquén (Argentina) e cujo comprimento é estimado acima dos 30 metros, existem outras, bem menores do que um metro como o *Microraptor* da China **(Figura 7)**. Aliás, esse último tinha penas tanto nos braços como nas pernas, sugerindo que podia utilizar ambos para a atividade de voo, outra descoberta de destaque realizada nos últimos anos (Xu *et al.*, 2005).

Figura 6. Ambientação de um dos maiores dinossauros já encontrados, *Futalognkosaurus dukei*, de depósitos cretáceos da província argentina de Neuquén, que atingia mais de 30 metros de comprimento. Arte: Maurílio Oliveira (Museu Nacional, UFRJ).

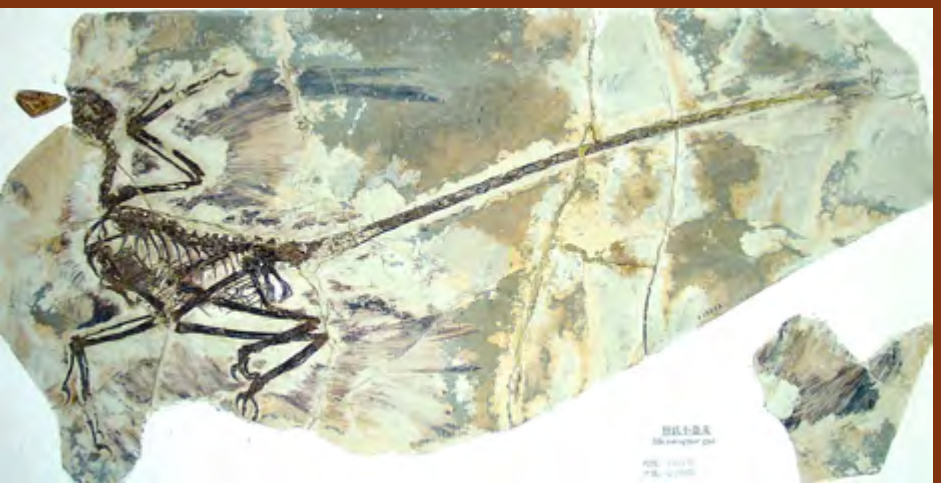


Figura 7. *Microraptor gui*, dinossauro encontrado em depósitos cretáceos da China, que possui penas, tanto nos membros anteriores como nos posteriores. Foto: Alexander Kellner.

Deve ser deixado claro que, além das aves, apenas os microraptores **(Figura 7)**, este todos extintos, foram os únicos dinossauros que desenvolveram a capacidade de voar. Até o momento não foram encontradas espécies de dinossauros que seriam exclusivamente marinhas. Os representantes deste grupo de répteis conhecidos até o momento, que deveriam permanecer mais tempo em um ambiente aquático, são os espinossauros **(Figura 8)**, que foram encontrados particularmente na África (*Spinosaurus*, *Suchomimus*) e no Brasil (*Angaturama*, *Oxalaia*).

Figura 8. Reconstrução em vida do dinossauro espinossaurídeo *Angaturama limai*, encontrado em rochas formadas há 110 milhões de anos na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Paleoescultura de Orlando Grillo (Museu Nacional, UFRJ). Foto: Alexander Kellner.

BREVE HISTÓRICO

A história da descoberta dos dinossauros tem o seu fascínio por si só e existem muitos livros e trabalhos relatando como diversas descobertas foram realizadas. Nunca é demais relembrar dos relatos bastante antigos que vem da China de "ossos de gigantes", utilizados, inclusive como ingredientes em poções de uso medicinal. Também a lenda dos grifos (seres mitológicos alados com cabeça de águia e corpo de leão), que possivelmente teve origem a partir do achado de ossos de dinossauros ornitísquios referidos aos protoceratopsídeos, muito comuns em rochas do Cretáceo da Mongólia.

O primeiro pesquisador a ilustrar um osso de um dinossauro foi Robert Plot em 1677 **(Figura 9)**, que não sabia bem do que se tratava. Esse exemplar foi novamente figurado por Richard Brookes em 1763, que o considerou como tendo pertencido a um humano gigante, referindo-se ao material como *scrotum humanum* (por achar a forma semelhante a testículos masculinos) (Sarjeant, 1997). Apesar do fóssil, aparentemente encontrado na Inglaterra ter sido perdido, pela análise dos desenhos de Brookes, pesquisadores acreditam que se trate da ponta distal de um fêmur (osso da perna) do dinossauro carnívoro *Megalosaurus*.

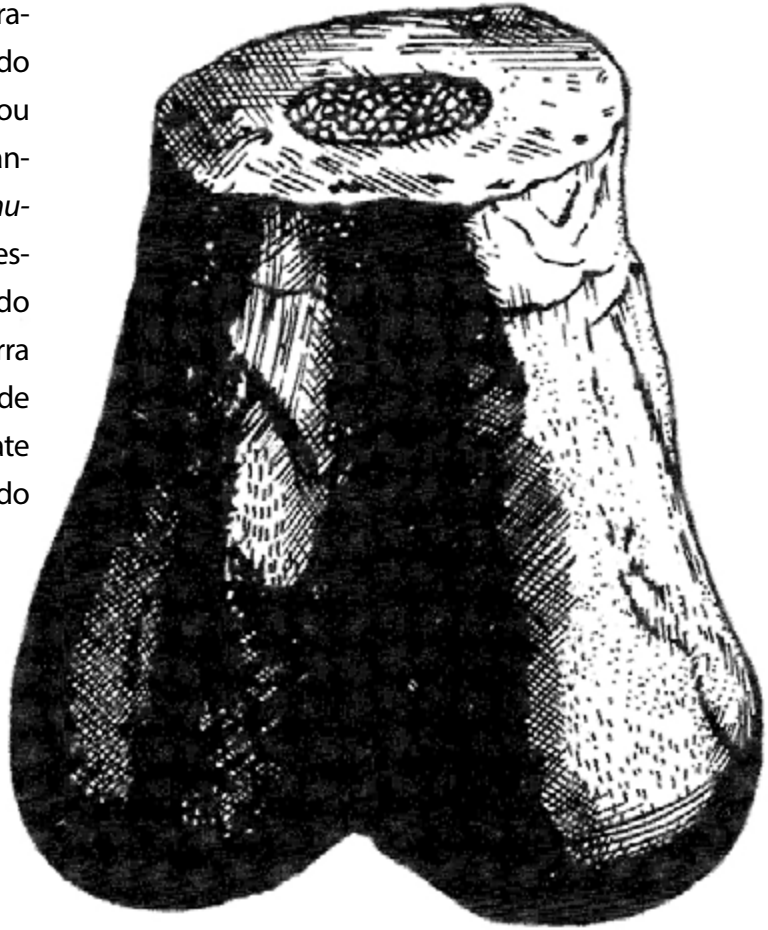


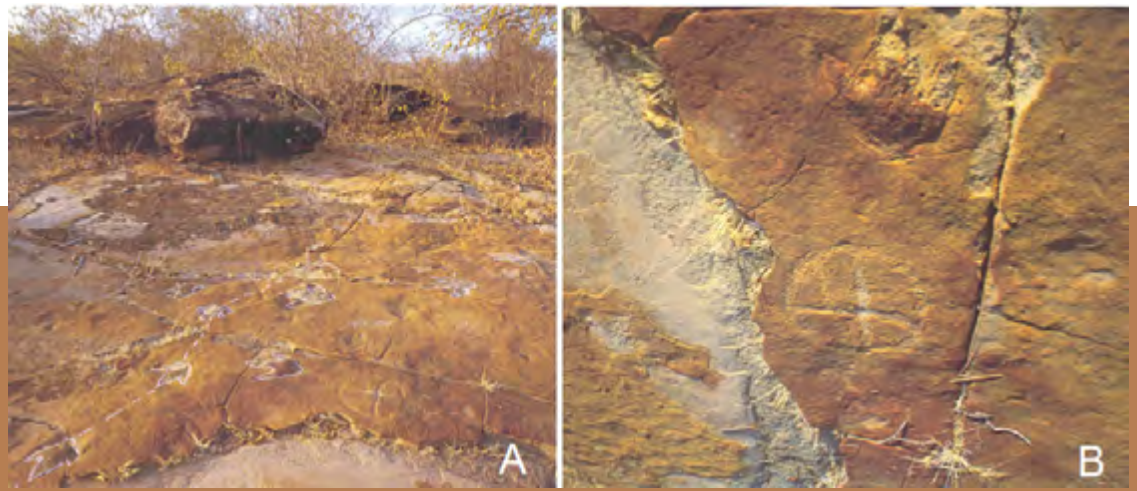
Figura 9. A primeira ilustração de um osso de dinossauro, hoje em dia atribuído a parte de um fêmur de um dinossauro carnívoro. Desenho a partir da publicação de Sarjeant (1997). Arte: Maurílio Oliveira (Museu Nacional, UFRJ). Ilustração modificada de Kellner & Campos (2000).

Ossos de diversos dinossauros foram achados de forma mais contínua nos séculos XVII e XVIII, a maioria sem identificação precisa. A primeira espécie de dinossauro formalmente denominada foi *Megalosaurus* (1824), seguida de *Iguanodon* **(Figura 10)** e *Hylaeosaurus* (Sarjeant, 1997). Para classificar estas três formas Sir Richard Owen (1804-1892) cunhou em 1842 o termo Dinosauria (Padian, 1997).

Figura 10. Um dos dentes de dinossauros descritos por um obstetra inglês que acabou se dedicando à pesquisa dos fósseis, Gideon Mantell (1790-1852), e que recebeu o nome de *Iguanodon*. Arte: Maurílio Oliveira (Museu Nacional, UFRJ). Ilustração modificada de Kellner & Campos (2000).

No Brasil, os primeiros a se depararem com restos de dinossauros possivelmente foram habitantes indígenas da região da Paraíba, que fizeram símbolos ao lado de pegadas **(Figura 11)** (Leonardi, 1984). Certamente essas populações não tinham a noção do que eram os dinossauros, mas reconheceram que se tratava de marcas deixadas por algum animal desconhecido para eles.

Figura 11. Símbolos feitos por habitantes indígenas ao lado de pegadas de dinossauros encontradas na Paraíba. (A) vista geral da trilha; (B) detalhe de uma inscrição abaixo de uma pegada. Retirado de Leonardi (1984).



A primeira menção publicada sobre um dinossauro brasileiro foi feita por Allport (1860), mas acredita-se que o material (aparentemente perdido) represente, na verdade, um crocodilomorfo. Também houve o relato breve de Llewellyn Ivor Price (1905-1980), mencionando a existência de esqueletos incompletos em Mato Grosso e ossos fragmentados procedentes de São Paulo, todos não localizados (Kellner & Campos, 2000). O primeiro suposto dinossauro a ser denominado foi *Spondylosoma absconditum* por Friedrich von Huene (1875-1969), mas baseado em material considerado não-diagnóstico.

Outras menções destes répteis foram relatadas na literatura (veja Kellner & Campos, 2000 para uma revisão), sendo que os principais achados de dinossauros foram realizados por Price. Natural de Santa Maria (Rio Grande do Sul), este pesquisador, que pode ser considerado como o pai da paleoherpetologia brasileira, encontrou diversos afloramentos com dinossauros pelo país, particularmente em Minas Gerais, e coletou centenas de ossos desses (e de outros) répteis fósseis. Infelizmente, Price faleceu antes que pudesse desenvolver estudos mais detalhados sobre esses exemplares, mas os dinossauros por ele coletados foram e ainda são objeto de estudo intenso por parte de estudantes e pesquisadores (Kellner & Campos, 2000; Bittencourt & Langer, 2011).

CLASSIFICAÇÃO

Como vimos anteriormente, Dinosauria forma um grupo de répteis que são classificados dentro de outro grupo chamado de Archosauria. As classificações realizadas hoje em dia procuram apresentar a história evolutiva dos organismos, reproduzindo o grau de parentesco entre eles **(ver capítulo TAXONOMIA E SISTEMÁTICA: COMO CLASSIFICAR OS ORGANISMOS)**. Em uma analogia bem simples, podemos ver classificações como caixas menores colocadas dentro de caixas maiores. No caso dos dinossauros, a "caixa" maior é denominada de Reptilia, na qual existe outra "caixa" chamada de Archosauria e é dentro desta que existe uma outra, menor ainda, chamada de Dinosauria **(Figura 12)**. Isto significa que dinossauros são répteis, mas nem todos os répteis são dinossauros. O mesmo raciocínio pode ser apresentado para os arcossauros: dinossauros são arcossauros, mas nem todo arcossauro é um dinossauro. Pterossauros e crocodilomorfos são um bom exemplo disso: apesar de serem répteis e pertencerem ao grupo dos arcossauros, eles não são colocados dentro da "caixa" dos dinossauros. Os lagartos (que estão na "caixa" denominada de Lepidosauromorpha) são répteis, mas não fazem partes dos arcossauros e, por consequência, não estão dentro do agrupamento dos dinossauros **(Figuras 12 e 13)**.

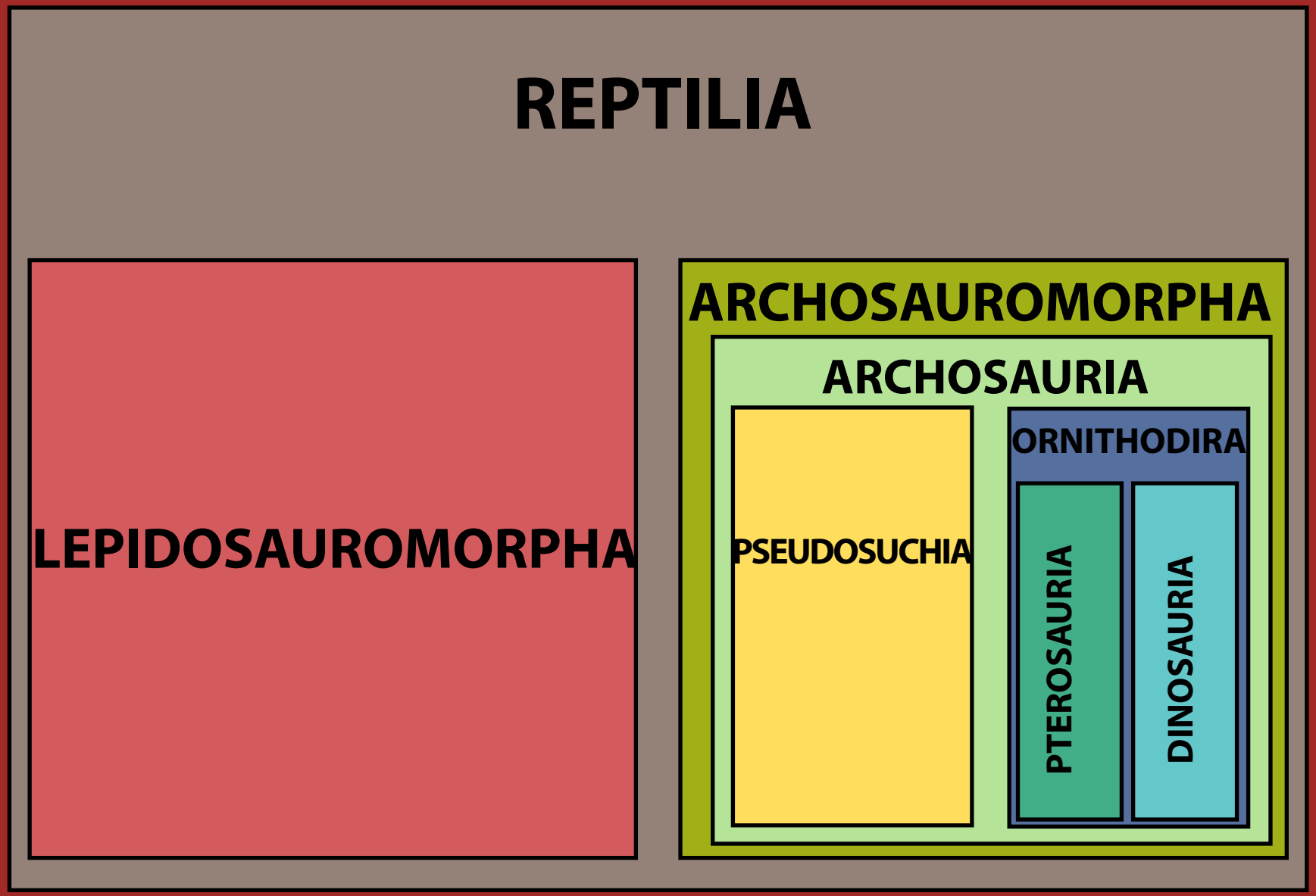


Figura 12. Figura esquemática mostrando as relações entre os distintos grupos de répteis, como se fossem caixas menores colocadas dentro de caixas maiores. Reptilia e Mammalia (mamíferos) fazem parte de uma caixa maior denominada Amniota. Reptilia inclui dois grandes clados: Lepidosauromorpha e Archosauromorpha. Dentro do primeiro estão, entre outros, as cobras e os lagartos. O clado Archosauromorpha contém o clado Archosauria, que, por sua vez, é dividido em Pseudosuchia, grupo ao qual pertencem os crocodilomorfos, e Ornithodira, que inclui os pterossauros e os dinossauros.

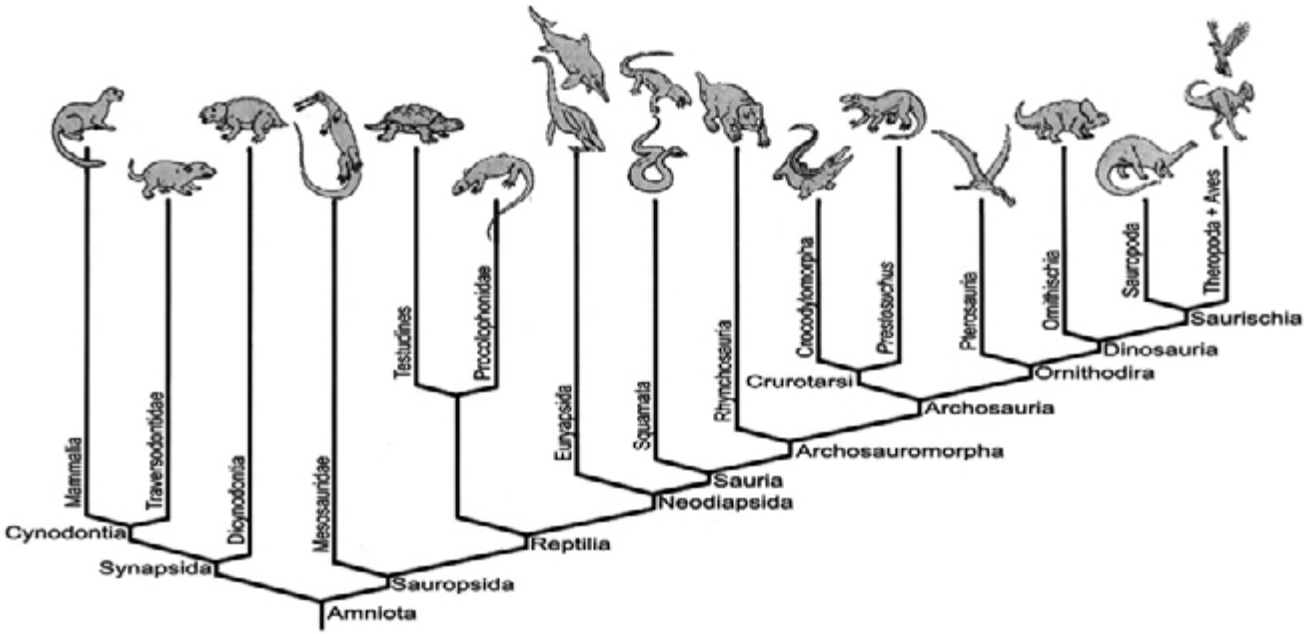


Figura 13. Cladograma mostrando os principais agrupamentos de amniotas. Note que as aves estão agrupadas com os dinossauros, indicando que estas são dinossauros alados. Retirado de Kellner *et al.* (1999).

Dentro do agrupamento (ou "caixa" na nossa simplificada analogia) denominado de Dinosauria, existem duas subdivisões: Ornithischia e Saurischia.

A diferença mais evidente entre Ornithischia e Saurischia pode ser observada na região pélvica, que é formada basicamente por três ossos: ílio, púbis e ísquio. Como mostrado na **figura 3**, enquanto que nos dinossauros saurísquios o púbis é direcionado para frente, nos dinossauros ornitísquios, esse osso está direcionado para a região posterior. Convém ressaltar que a configuração encontrada nos saurísquios é similar à da maioria dos répteis, sendo que a condição dos ornitísquios é considerada uma novidade evolutiva (ou uma sinapomorfia) que diferencia este grupo de todos os demais.

Além dos ornitísquios e dos saurísquios, temos em algumas regiões do mundo, formas de arcossauros que, apesar de bem proximamente relacionadas aos dinossauros, não são classificados dentro desse grupo. São os chamados dinossauromorfos basais, cujo grupo principal é Silesauridae **(Figura 14)**. Entre estes está o *Sacisaurus agudoensis* procedente da Formação Caturrita do Rio Grande do Sul (Triássico Superior) **(Figura 15)**. Entre as curiosidades dessa espécie está o fato de terem sido encontrados mais de uma dezena de fêmures direitos e nenhum esquerdo. Inicialmente se pensava que o *Sacisaurus* poderia representar um dinossauro ornitísquio primitivo (Langer *et al.*, 2007), porém hoje acredita-se que ele faça parte dos Silesauridae, considerados por alguns pesquisadores como formas que antecederam os dinossauros (Ezcurra, 2007). O *Sacisaurus* possivelmente teria se alimentado de plantas ou então seria um onívoro.

Clique aqui e visualize uma lista com as espécies de dinossauros do Brasil, tidas como válidas!

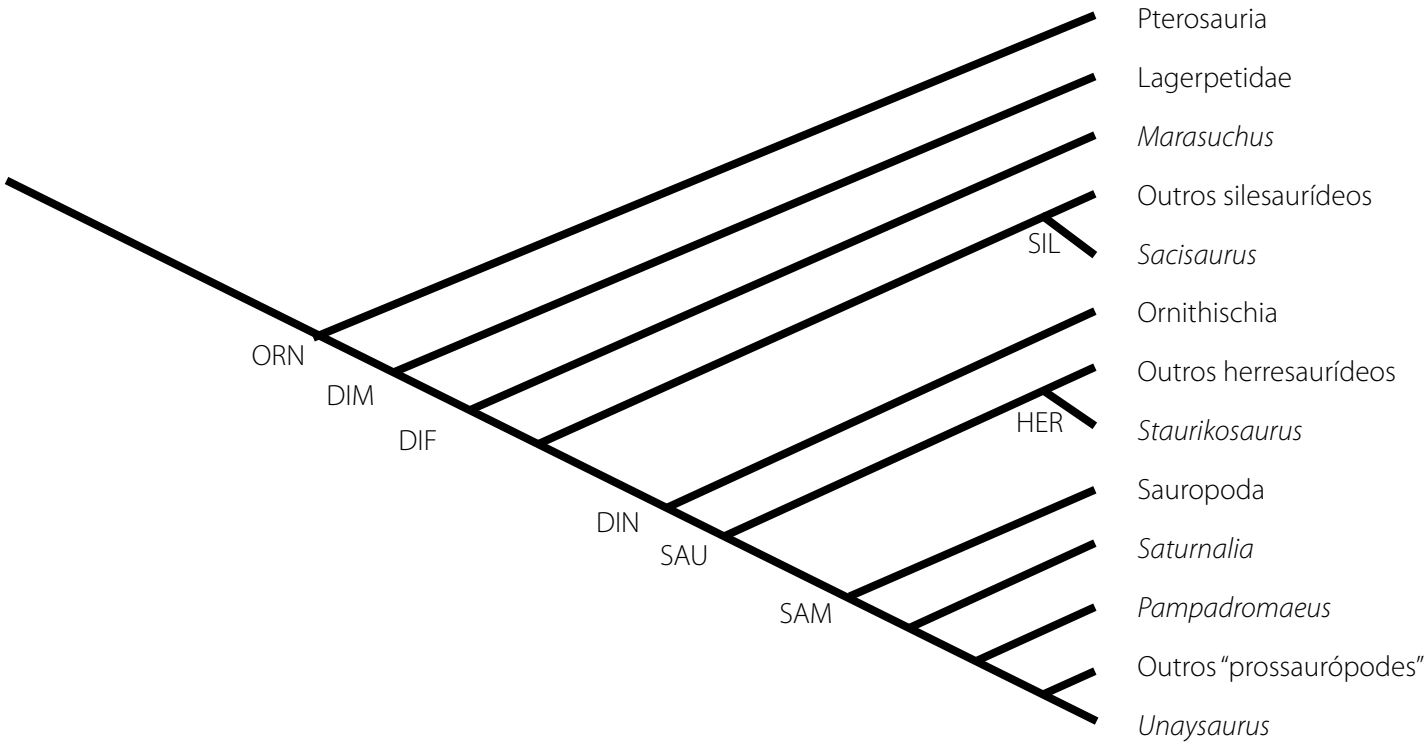


Figura 14. Cladograma ilustrando a relação de parentesco de diferentes grupos reptilianos que estão proximamente relacionados aos dinossauros, com destaque para as formas encontradas no Brasil.
DIF – Dinosauriformes;
DIM – Dinosauromorpha;
DIN – Dinosauria;
HER – Herrerasauridae;
ORN – Ornithodira;
SAM – Sauropodomorpha;
SAU – Saurischia;
SIL - Silesauridae
(Retirado de Kellner & Campos, 2012).

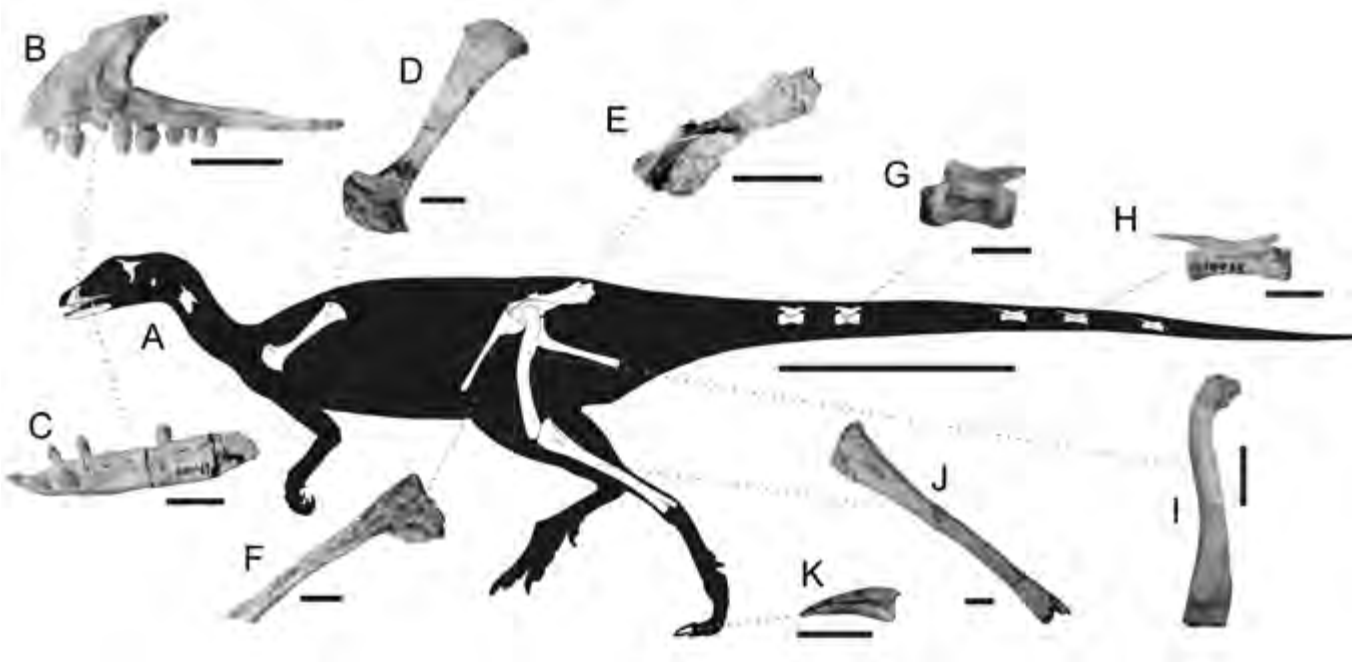


Figura 15. *Sacisaurus agudoensis*, procedente da Formação Caturrita. (A) desenho do esqueleto com as partes encontradas; (B) maxila; (C) dentário (D) escápula; (E) ílio; (F) púbis; (G) vértebra caudal da região média da cauda; (H) vértebra caudal da região posterior da cauda; (I) fêmur; (J) tíbia; (K) falange ungueal do pé. Modificado de Ferigolo & Langer (2007).

Ornithischia

O grupo Ornithischia reúne alguns dinossauros famosos, como o *Triceratops*, uma das estrelas do filme *Jurassic Park* **(Figura 16)**. O *Stegosaurus* **(Figura 17)** e os hadrossauros (dinossauros bico-de-pato) são outros exemplos de formas que fazem parte desse agrupamento. Além da posição do púbis **(Figura 3)**, existem diversas outras feições únicas dos dinossauros ornitísquios tais como a presença de um osso chamado de pré-dentario na parte anterior da mandíbula. Todos os integrantes desse grupo eram herbívoros.

Apesar de serem muito comuns em continentes como América do Norte e Ásia, os ornitísquios são relativamente raros na América do Sul. Apenas na Argentina esse grupo tem sido reportado com uma frequência comparativamente maior. No Brasil, a única evidência de ornitísquios vem de pegadas que foram descobertas na região de Sousa, na Paraíba. Aliás, nessa região foi criado um dos poucos parques paleontológicos do país, com o nome de "Parque dos Dinossauros". As pegadas desses répteis, como também de dinossauros saurísquios (em sua maioria terópodes) podem ser observadas no local, algumas formando longas pistas **(Figuras 11 e 18)**. Em termos de ossos, existem alguns relatos de vértebras atribuídos a Ornithischia reportados para o Brasil que, no entanto, ainda precisam ser confirmados.

Figura 16. Cena do filme *Jurassic Park* em que os paleontólogos encontram um *Triceratops* doente. Fonte: http://www.vh1.com/celebrity/2010-08-02/5-reasons-the-triceratops-definitely-existed/.

Figura 17. *Stegosaurus* montado no *American Museum of Natural History*, Nova Iorque, Estados Unidos. Foto: Alexander Kellner.

Figura 18. Pegadas atribuídas a dinossauros ornitísquios encontradas no Parque dos Dinossauros no município de Sousa, Paraíba. Retirado de Leonardi (1984).

Saurischia - Sauropodomorpha Basais

Os dinossauros saurísquios compreendem dois agrupamentos principais: os Sauropodomorpha e os Theropoda **(Figura 14)**. Este grupo é reconhecido por uma série de características anatômicas observadas, sobretudo, nas suas patas, tanto anteriores como posteriores (Sereno, 1999).

Alguns dinossauros saurísquios são formas basais que não se enquadram bem nos agrupamentos acima. O mais famoso é o *Staurikosaurus pricei*, a primeira espécie de dinossauro brasileiro a ser descrita e também a primeira a ter o seu esqueleto montado no país por ocasião da exposição *No tempo dos dinossauros,* em 1999, no Museu Nacional. Curiosamente, essa espécie é uma das formas que mais controvérsia tem gerado no meio científico. Conhecido apenas por um único esqueleto incompleto recuperado da Formação Santa Maria **(Figuras 19 e 20)**, o *Staurikosaurus* é um dos dinossauros mais antigos registrados até agora (ca. 220 milhões de anos atrás). Possui um comprimento estimado em 2,5 m e é classificado no grupo denominado de Herrerasauridae. Entre as controvérsias relacionadas à este grupo, que tem os seus principais representantes na Argentina (*Herrerasaurus ischigualastensis*), é a sua posição dentro do quadro evolutivo dos répteis. Muitos pesquisadores acreditam que se trata de dinossauros terópodes (Sereno & Novas, 1992), enquanto que outros o consideram como representando saurísquios basais e não como membro de Theropoda (Bittencourt & Langer, 2011). Há, ainda, aqueles que informalmente veem os herrerassaurídeos, (incluindo o *Staurikosaurus*) como dinossauromorfos basais, classificados fora de Dinosauria (veja em Kellner & Campos, 2000). Como o leitor pode observar, controvérsias na paleontologia não são muito raras...

Figura 19. Esqueleto recuperado de *Staurikosaurus pricei* (2,5 m) da Formação Santa Maria, Triássico do Rio Grande do Sul.
Foto: Alexander Kellner.

Figura 20. Reconstrução em vida de *Staurikosaurus pricei* perseguindo um pequeno cinodonte. Arte: Maurílio Oliveira (Museu Nacional, UFRJ).

Nos últimos anos têm sido encontrados vários sauropodomorfos no Brasil. Um destes é o *Unaysaurus tolentinoi*, descrito a partir de um único esqueleto que, apesar de incompleto, contêm um crânio bem preservado (**Figuras 21 e 22**). Esse material é mais um daqueles exemplos de importantes descobertas feitas por pessoas que não militam na ciência, tendo sido encontrado por um morador local (Kellner & Campos, 2012). *Unaysaurus* foi o primeiro sauropodomorfo basal descoberto no Brasil e possui relação de parentesco com espécies da Europa e África (Leal *et al*., 2004).

Figura 21. Esqueleto de *Unaysaurus tolentinoi* recuperado da Formação Caturrita, Triássico do Rio Grande do Sul. Foto: Alexander Kellner.

Figura 22. Partes do crânio e dentição de *Unaysaurus tolentinoi*. (A) maxilar; (B), mandíbula. Retirado de Leal *et al*. (2004).

Outro sauropodomorfo basal é o *Pampadromaeus barberenai*. Descoberto em 2010 (Cabreira *et al.*, 2011), procedente da Formação Santa Maria (Triássico), o achado apresenta um esqueleto parcial bem preservado, uma verdadeira raridade quando se fala em dinossauros basais **(Figura 23)**. Entre as suas características marcantes estão os dentes, que possuem serrilhas relativamente espessas **(Figura 24).** Um dos aspectos mais importantes desse material é mostrar que há 220 milhões de anos, existia uma importante diversidade de dinossauros basais no Rio Grande do Sul. À medida que novos exemplares forem sendo encontrados nesses depósitos, aumentará o nosso conhecimento acerca do surgimento e diversificação das primeiras formas de dinossauros que surgiram no planeta.

Para saber mais sobre os dinossauros basais do Triássico brasileiro, **clique aqui**.

Figura 23. Esqueleto de *Pampadromaeus barberenai*, dinossauro encontrado na Formação Santa Maria, Triássico do Rio Grande do Sul. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 24. Detalhe do crânio de *Pampadromaeus barberenai*. Foto: Luiz Flávio Lopes.

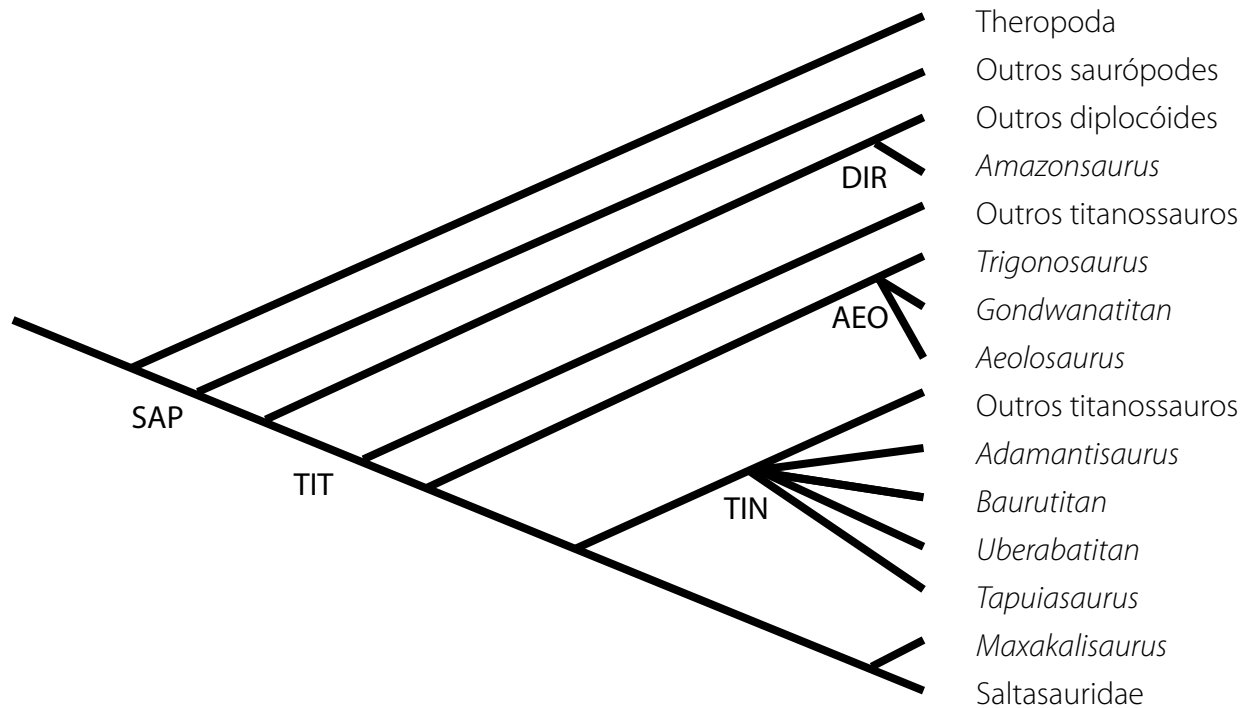
Saurischia - Sauropoda

O grupo dos saurópodes é o que está mais bem representado no Brasil. Ao total são nove espécies descritas tidas como válidas e o número continua aumentando (**clique aqui** para ver a lista das espécies brasileiras tidas como válidas).

Entre as feições típicas, os saurópodes (que podem ser considerados como sendo sauropodomorfos mais derivados) possuem pescoço e cauda longos e um crânio desproporcionalmente pequeno. Este grupo reúne os maiores dinossauros que já existiram, tais como o *Argentinosaurus* e o *Futalognkosaurus* **(Figura 6)** da Argentina, e o *Amphicoelias* dos Estados Unidos, todos com comprimentos estimados em mais de 30 metros.

No Brasil foram registrados, até o momento, dois grupos de saurópodes **(Figura 25)**. O primeiro, mais raro, é o Diplodocoidea que é relativamente comum nos Estados Unidos. O único representante brasileiro é o *Amazonsaurus maranhensis* procedente de depósitos cretáceos da bacia do Parnaíba. Apesar de incompleto, o achado é importante, pois registra, de forma conclusiva, a presença desses dinossauros no Brasil (Carvalho *et al*., 2003).

Figura 25. Cladograma apresentando a relação filogenética de diferentes saurópodes brasileiros.
AEO – Aeolosaurini
DIP - Diplodocoidea
SAP - Sauropoda
TIN - Titanosaurinae
TIT - Titanosauria
(Retirado de Kellner & Campos, 2012).



O segundo grupo, bem mais abundante, e que forma a maior parte de todos os restos dinossaurianos no Brasil, são os titanossauros. Até o momento foram computadas oito espécies válidas, número que tente a aumentar com o avanço das pesquisas. Os titanossauros foram particularmente abundantes na América do Sul (sobretudo na Argentina) e na África. A separação entre as espécies se dá, em especial, pelas características encontradas nas vértebras da cauda **(Figura 26)**.

Entre os saurópodes do grupo dos titanossauros mais completos recuperados no Brasil está o *Trigonosaurus pricei*. O material faz parte da enorme coleção feita pelo pesquisador L. I. Price em ponto denominado de Caieira, situado nas proximidades de Peirópolis no Estado de Minas Gerais. O *Trigonosaurus* é conhecido por dois exemplares incompletos. O primeiro é formado por parte de uma coluna vertebral, incluindo vértebras do pescoço, da região dorsal, sacral e da cauda, além de parte da pélvis. O segundo exemplar é formado apenas por um conjunto de vértebras caudais **(Figuras 27)** (Campos *et al*, 2005).

Figura 26. Vértebras caudais de duas espécies de titanossauros brasileiros: *Trigonosaurus pricei* (à esquerda) e *Gondwanatitan faustoi* (à direita). Cada vértebra tem cerca de 12 cm de comprimento. Retirado de Kellner *et al*. (1999).

Figura 27. Vértebras caudais da região média e posterior de *Trigonosaurus pricei*. Escala = 100 mm. Retirado de Campos *et al*. (2005).

Trigonosaurus é tido como um dinossauro relativamente pequeno, não ultrapassando 8 m de comprimento, que pertence ao grupo dos aeolossauríneos. Esses dinossauros parecem ter tido uma boa distribuição no Brasil e já haviam sido registrados anteriormente por intermédio do *Gondwanatitan* **(Figura 26)**, também de pequenas dimensões que foi recuperado da região de Presidente Prudente, São Paulo.

Outro titanossauro, este ainda mais completo do que o *Trigonosaurus*, é o *Maxakalisaurus topai*. O esqueleto dessa espécie é relativamente bem representado, tendo sido recuperado grande parte da coluna vertebral, partes da pélvis, da cintura peitoral e dos membros anteriores e posteriores. Com um comprimento estimado em 13 metros, esse foi o primeiro dinossauro brasileiro de grande porte a ser montado no país e pode ser visitado no Museu Nacional/UFRJ **(Figura 28)**. Juntamente com o material foi encontrada uma maxila com alguns dentes, algo bastante raro **(Figura 29)**. As feições que distinguem esse dinossauro dos demais se encontram, sobretudo, nas vértebras da cauda **(Figura 30)**. O achado foi realizado no município de Prata em Minas Gerais. Devido a sua importância e pelo fato de existirem mais dinossauros na região, existe um movimento local para a organização de um museu de história natural, o que seria algo de muito positivo no nosso país, tão carente desse tipo de instituição. Segundo a pesquisa original, *Maxakalisaurus topai* está proximamente relacionado a formas da Argentina (Kellner *et al*. 2006).

Figura 28. *Maxakalisaurus topai*, primeiro esqueleto de um dinossauro brasileiro de grande porte a ser montado (Museu Nacional, UFRJ). Foto: Alexander Kellner.

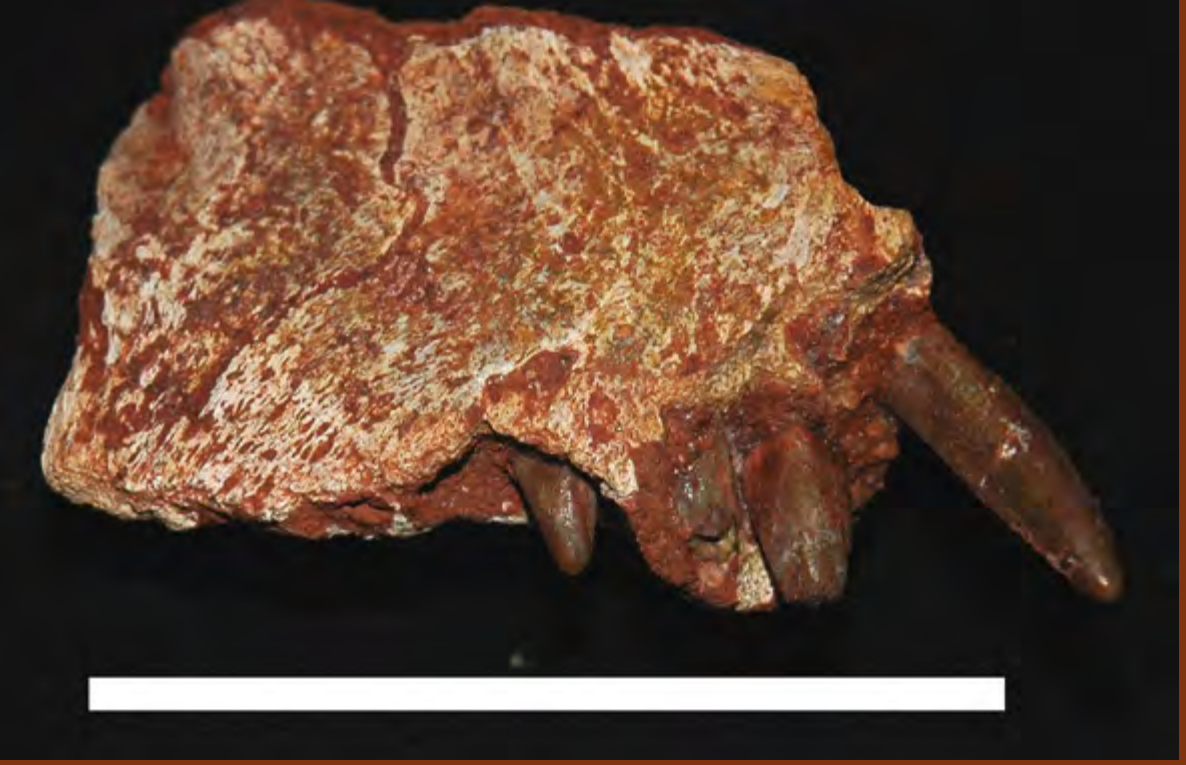


Figura 29. Maxilar de *Maxakalisaurus topai*. Escala = 50 mm. Modificado de Kellner *et al*. (2006).

Figura 30. Vértebras caudais de *Maxakalisaurus topai*. Escala = 100 mm. Modificado de Kellner *et al.* (2006).

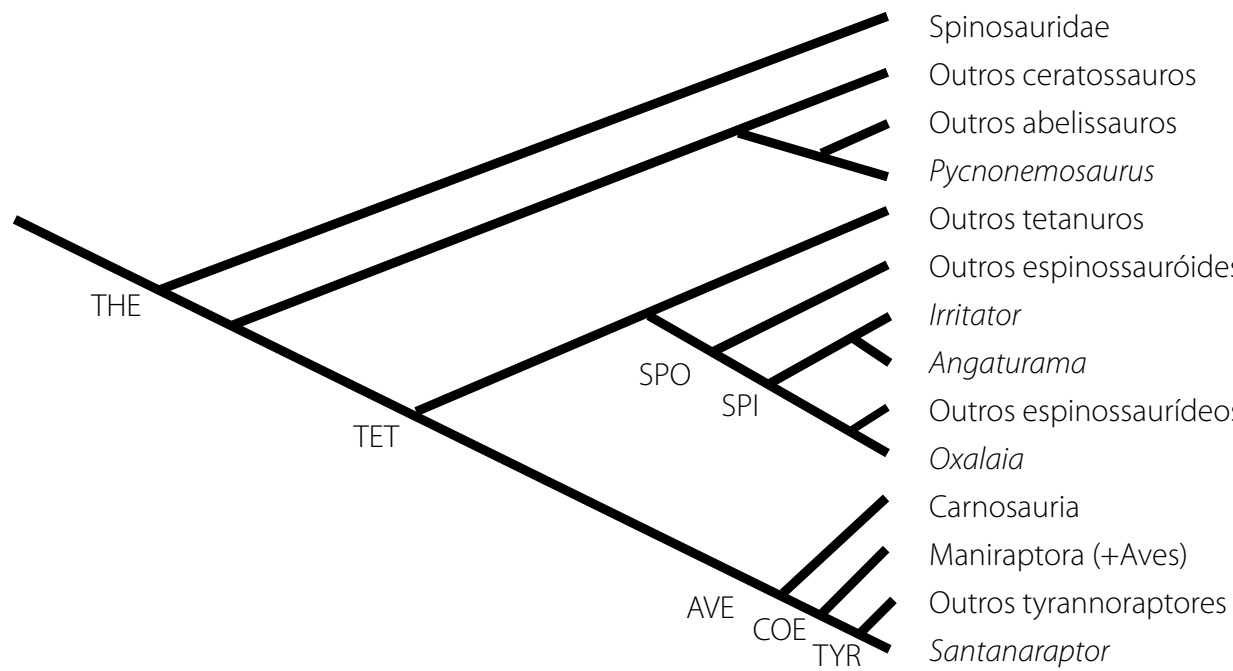
Saurischia - Theropoda

Certamente um dos grupos mais fascinantes de dinossauros é o dos terópodes que reúne, sobretudo, formas carnívoras. Algumas são bem conhecidas do grande público, sendo o mai famoso o *Tyrannosaurus rex* **(Figura 4)**. Em geral, possuem dentes achatados lateralmente com margens serrilhadas, mas existem outros que eram totalmente desprovidos de dentes, como os Ornithomimidae e os Oviraptoridae, tidos como onívoros (Weishampel *et al*. 2004).

Os terópodes são subdivididos em diversos grupos **(Figura 31)**, a maioria dos quais não são encontrados no Brasil (Sereno, 1999). Importante ressaltar que também as aves fazem parte desse grupo, sendo consideradas como descendentes dos dinossauros.

Entre os principais grupos de terópodes estão os abelissauros. Incialmente encontrados na Argentina, restos desses animais carnívoros foram também coletados em diversas partes

Figura 31. Cladograma indicando a relação de parentesco de diferentes terópodes brasileiros.
ABE - Abelisauridae
AVE - Avetheropoda
CER - Ceratosauria
COE – Coelurosauria
TET - Tetanurae
THE - Theropoda
SPI - Spinosauridea
SPO - Spinosauroidea
TYR - Tyrannoraptora
(Retirado de Kellner & Campos, 2012).



da África e da América do Sul, incluindo o Brasil. De algumas espécies foram encontrados os crânios, que se caracterizam por possuir projeções. Outra característica importante era os membros anteriores bastante reduzidos, de forma similar ao observado no *T. rex*: Os abelissauros formavam o topo da cadeia alimentar nos ecossistemas onde viviam.

O único abelissauro descrito no Brasil é o *Pycnonemosaurus nevesi*, outro exemplo de uma importante descoberta feita por pessoas não ligadas à ciência. Os restos desse dinossauro foram encontrados por lavradores na Fazenda Roncador, situada no Mato Grosso, em camadas formadas há 80 milhões de anos. A notícia chegou ao paleontólogo L. I. Price que coletou o material, formado por dentes, vértebras caudais, uma tíbia, e outros restos **(Figuras 32 e 33)**. O comprimento estimado para esse dinossauro é de aproximadamente 7 a 8 metros **(Figura 34)**.

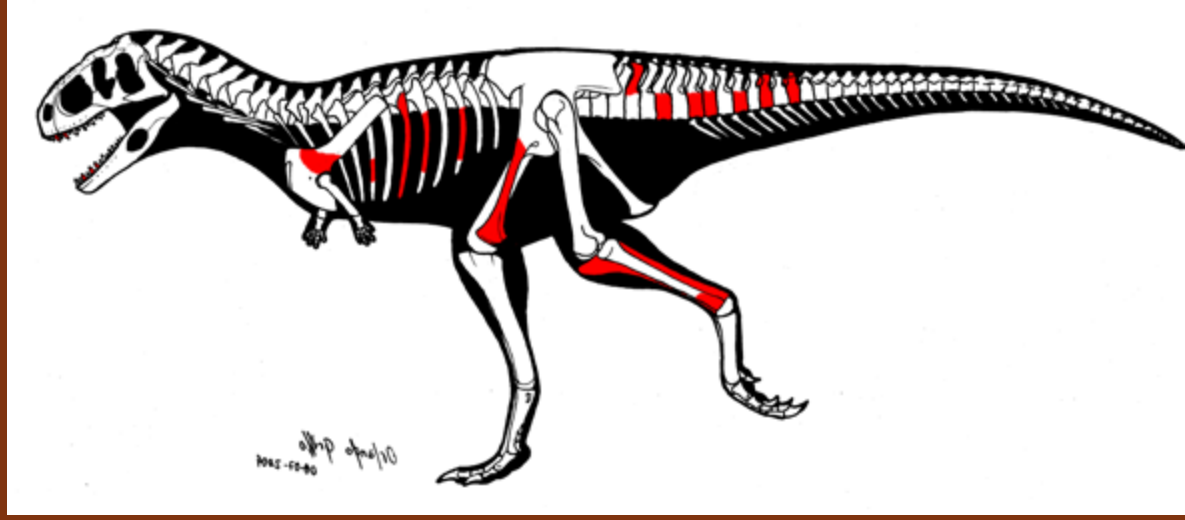


Figura 32. Desenho esquemático de *Pycnonemosaurus nevesi*, com as partes encontradas em vermelho. Arte: Orlando Grillo (Museu Nacional, UFRJ).

Figura 33. Dente de *Pycnonemosaurus nevesi* mostrando as margens finamente serrilhadas. Escala = 10 mm. Foto: Alexander Kellner.

Figura 34. Reconstrução do crânio de *Pycnonemosaurus nevesi*. Escultura de Maurílio Oliveira (Museu Nacional, UFRJ). Foto: Alexander Kellner.

Um dos mais interessantes grupos de terópodes encontrados no Brasil são os espinossauros. Considerados como um dos mais misteriosos representantes de Theropoda, eles se caracterizam por possuir um crânio alongado e dentes com uma seção transversal circular (e não lateralmente comprimida, como nos demais terópodes), que podem ser finamente serrilhados ou totalmente desprovidos de serrilhas. Também têm os espinhos neurais das vértebras dorsais e sacrais bem desenvolvidos formando um tipo de "vela" em seu dorso **(Figura 35)**. Devido a essas características anatômicas, os cientistas acreditam que os espinossauros passavam mais tempo dentro d'água quando comparados a outros dinossauros, se alimentando basicamente de peixes.

O primeiro espinossauro encontrado no Brasil foi o *Angaturama limai* **(Figura 35)**, inicialmente baseado na parte anterior de um crânio procedente da Formação Romualdo (Bacia do Araripe). Depois foram encontrados outros materiais, tentativamente associados a essa espécie, cujo comprimento é estimado entre 7 e 8 metros.

Outro membro de Spinosauridae é o *Oxalaia quilombensis*, procedente da Ilha do Cajual, no Maranhão. Esta espécie, baseada principalmente na parte anterior de um crânio **(Figura 36)**, é tida como o maior dinossauro carnívoro brasileiro com um comprimento estimado de 12 m **(Figura 37)**. Os parentes mais próximos de *Oxalaia* são os espinossauros encontrados na África, particularmente o *Spinosaurus*, conhecido por exemplares in-

Figura 35. Dinossauro espinossauro *Angaturama limai* em exposição no Museu Nacional/UFRJ. Foto: Alexander Kellner.

Figura 36. Pré-maxila de *Oxalaia quilombensis* em vista ventral A medida do exemplar é 20 cm, o que dá uma estimativa do comprimento total do crânio em 1,35 m. Modificado de Kellner *et al.* (2011).

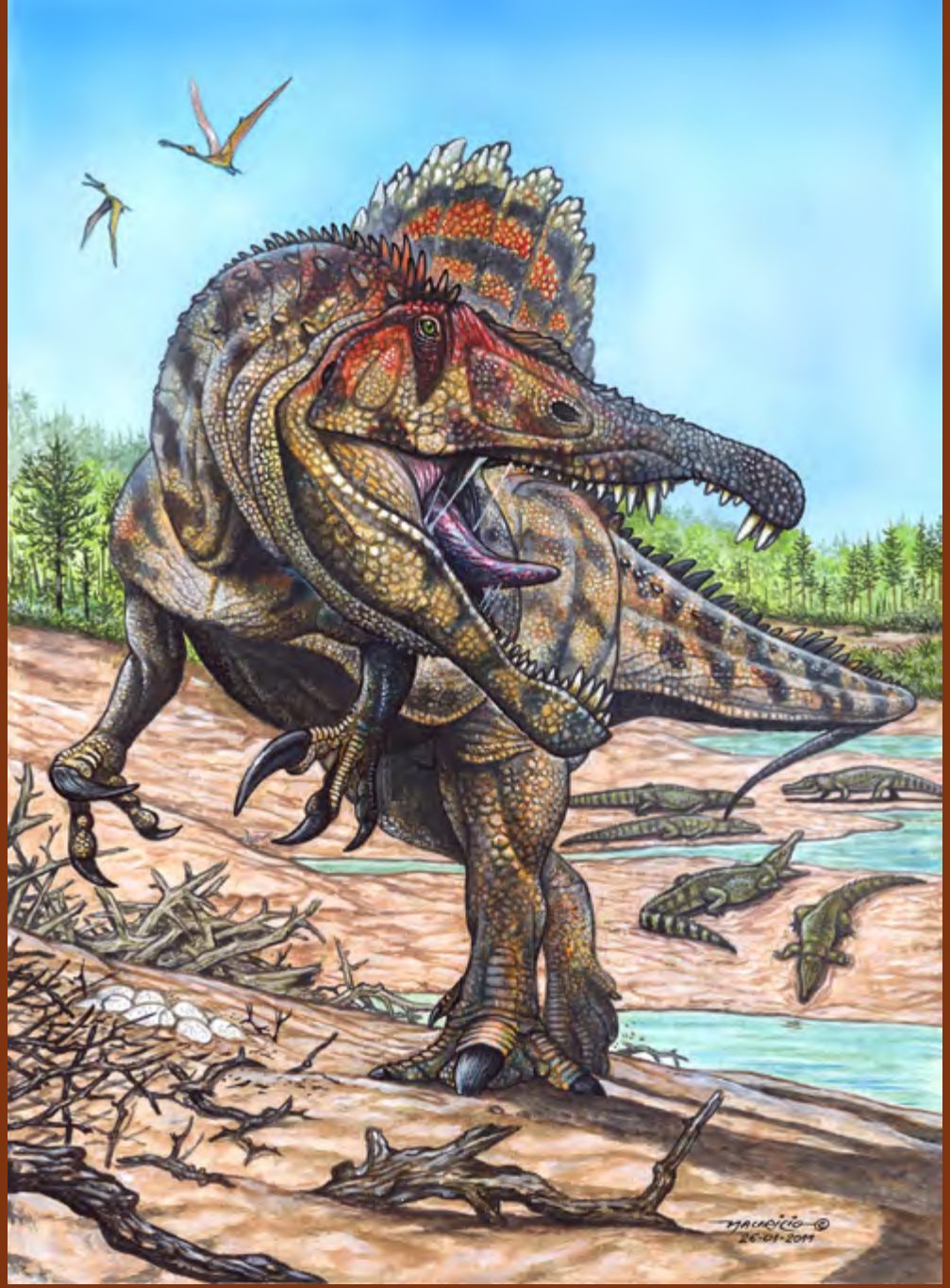


Figura 37. Dinossauro espinossauro *Oxalaia quilombensis*. Arte: Maurílio Oliveira (Museu Nacional, UFRJ).

completos, coletados no Egito e no Marrocos. Essa relação de parentesco confirma a hipótese da existência de uma fauna comum de dinossauros entre o Brasil e a região norte da África, antes da separação dos continentes **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES).**

Além dos dinossauros terópodes mencionados (veja tabela para lista completa), um dos mais importantes achados no Brasil é o *Santanaraptor placidus* **(Figura 38)**, descrito a partir de um esqueleto incompleto encontrado na Formação Romualdo (Cretáceo, Bacia do Araripe). Junto aos ossos desse animal, foi encontrado tecido mole preservado, particularmente o couro, fibras musculares e vasos sanguíneos **(Figura 39)**. Ao contrário de outros tecidos moles de dinossauro relatados até então, a preservação do material de *Santanaraptor* é excepcional, uma vez que parte da matéria orgânica foi substituída por fostato de cálcio, mantendo a sua forma original. Apesar de ter tido um tamanho bastante modesto comparado a outros dinossauros terópodes (1.6 metros de comprimento), essa particularidade da preservação fez do *Santanaraptor* o dinossauro mais famoso do Brasil. Predadora, esta espécie deveria se alimentar de animais menores, talvez até mesmo de filhotes de pterossauros, que são relativamente abundantes nas camadas da Formação Romualdo, onde esse dinossauro foi encontrado **(Figura 5)**.

Figura 38. *Santanaraptor placidus*, reconstrução do esqueleto (1,6 m), que se encontra exposto no Museu Nacional/ UFRJ. Foto: Alexander Kellner.

Figura 39. Tecido mole fossilizado de *Santanaraptor*, mostrando fibras musculares (à esquerda) e vasos sanguíneos (à direita). Retirado de Kellner *et al.* (1999).

Além de espécies e grupos mencionados, convêm relembrar que as aves são tidas, do ponto de vista técnico, como pertencentes ao grupo dos dinossauros. Esta constatação tem por base estudos que demonstram que as primeiras formas avianas são derivadas de um grupo dos dinossauros terópodes (Sereno, 1999). Até mesmo as penas, outrora vistas como características exclusivas das aves, são encontradas com frequência cada vez maior em espécies de dinossauros que não são classificadas dentro de aves, como o *Microraptor* **(Figura 7)**.

O registro fóssil de aves durante o Mesozoico, quando viveram os dinossauros não-avianos, é muito escasso no Brasil e resume-se a penas **(Figura 40)**. A única exceção são alguns ossos isolados descobertos em rochas cretáceas de São Paulo que ainda não foram descritas, e, também, uma ave procedente do Ceará (Formação Crato), reportada por Carvalho *et al.* (2015).

Figura 40. Pena fóssil exibindo padrão bandeado de coloração, procedente da Formação Crato, Bacia do Araripe. Foto: Alexander Kellner.

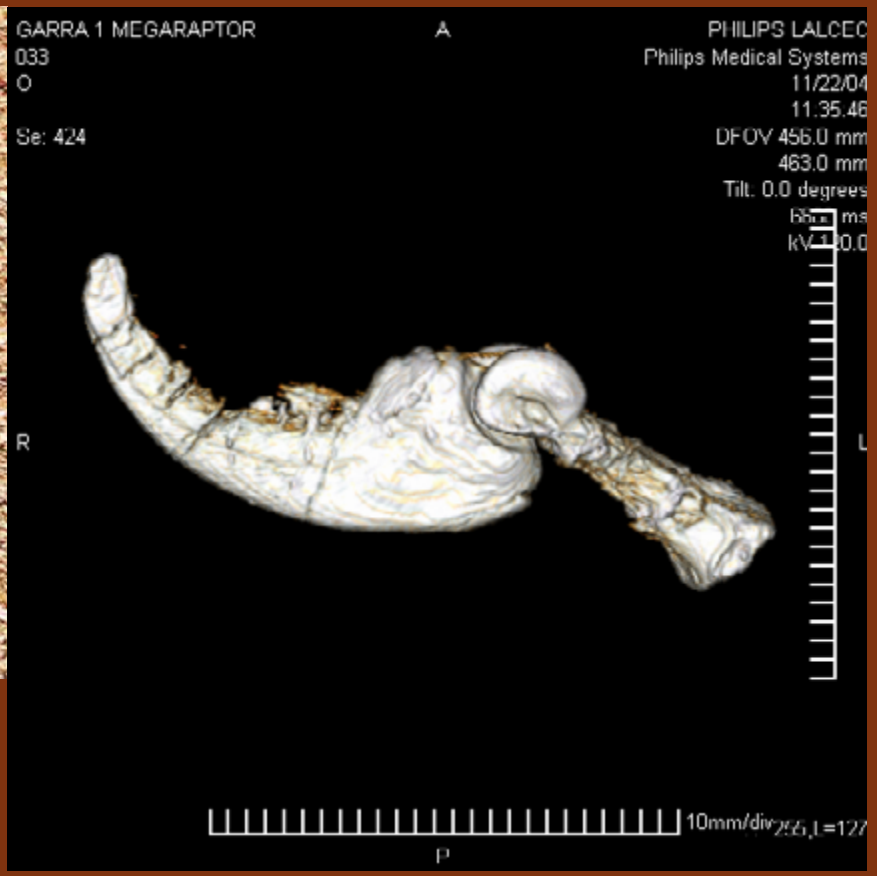


Figura 41. Tomografia da garra do dinossauro carnívoro *Megaraptor,* encontrado na Argentina. Foto: Juan Porfiri.

Por último convêm salientar que a pesquisa dos dinossauros, como dos fósseis em geral, tem se tornado cada vez mais sofisticada, com emprego de técnicas cada vez mais avançadas, tais como a tomografia computadorizada **(Figura 41)**, que, inclusive, já vem sendo utilizada por pesquisadores brasileiros.

COMENTÁRIOS FINAIS

Apesar das limitações de acesso à informação sobre a paleontologia, particularmente a carência de salas de exposição, tanto em número como em qualidade, pode ser constatado um grande interesse pela pesquisa dos fósseis no Brasil. Tendo os dinossauros como carro-chefe, houve um crescimento contínuo, ao longo dos anos, na busca de informação sobre fósseis e, também, um aumento na visitação aos poucos centros de pesquisa, com exposições permanentes de paleontologia, existentes no território nacional **(ver capítulo PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO)**.

De qualquer maneira, a pesquisa brasileira em dinossauros tem aumentado bastante, resultado direto de um maior (mesmo que ainda muito tímido) financiamento para a pesquisa. Como resultado direto disso, novos espécimes têm sido encontrados, sobretudo no Rio Grande do Sul e em Minas Gerais. Porém, está claro que, num país de proporções continentais, as descobertas realizadas até hoje estão bem abaixo do esperado e certamente o número de achados vai aumentar.

Existem muitos mais exemplares a serem descobertos no Brasil e muitos novos estudos a serem feitos. Quem sabe, no futuro, algumas dessas descobertas não poderão ser feitas pelo leitor desse capítulo?

LISTA DAS ESPÉCIES DE DINOSSAUROS DO BRASIL TIDAS COMO VÁLIDAS

Para a classificação dos diferentes grupos de dinossauros foram compilados dados de Upchurch *et al.* (2004), Holtz (2004), Holtz *et al.* (2004), Nesbitt *et al.* (2009) e Bittencourt & Langer (2011). Os parênteses indicam a hierarquia dos clados (como as caixas maiores dentro das caixas menores – ver **figura 12**).

Dinosauriformes

Silesauridae

Sacisaurus agudoensis Ferigolo & Langer, 2007.

(Dinosauriformes (Dinosauria))

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia)))

Herrerasauridae

Staurikosaurus pricei Colbert, 1970.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia))))

Saturnalia tupiniquim Langer, Abdala, Richter & Benton, 1999.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Sauropodomorpha)))))

Pampadromaeus barberenai Cabreira, Schultz, Bittencourt, Soares, Fortier, Silva & Langer, 2011.

Unaysaurus tolentinoi Leal, Azevedo, Kellner & Rosa, 2004.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Sauropodomorpha (Sauropoda (Diplodocoidea)))))))

Amazonsaurus maranhensis Carvalho, Ávila & Salgado, 2003.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Sauropodomorpha (Sauropoda (Titanosauria (Titanosaurinae)))))))

Adamantisaurus mezzalirai Santucci & Bertini, 2006.

Baurutitan britoi Kellner, Campos & Trotta, 2005.

Uberabatitan ribeiroi Salgado & Carvalho, 2008.

Tapuiasaurus macedoi Zaher, Pol, Carvalho, Nascimento, Riccomini, Larson, Juarez-Valieri, Pires-Domingues, Silva Jr. & Campos, 2011.

Brasilotitan nemophagus Machado, Avilla, Nava, Campos & Kellner, 2013.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Sauropodomorpha (Sauropoda (Titanosauria (Aeolosaurinae))))))))

Gondwanatitan faustoi Kellner & Azevedo, 1999.

Trigonosaurus pricei Campos, Kellner, Bertini & Santucci, 2005.

Aeolosaurus maximus Santucci & Arruda-Campos, 2011.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Sauropodomorpha (Sauropoda (Titanosauria)))))))

Grupo não definido (pré-Saltasauridae)

Maxakalisaurus topai Kellner, Campos, Azevedo, Trotta, Henriques, Craik & Silva, 2006.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia))))

Theropoda *incertae sedis*

Guaibasaurus candelariensis Bonaparte, Ferigolo & Ribeiro, 1999.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Theropoda (Ceratosauria (Abelisauridae))))))

Pycnonemosaurus nevesi Kellner & Campos, 2002.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Theropoda (Tetanurae (Spinosauroidea (Spinosauridae))))))))

Irritator challengeri Martill, Cruickshank, Frey, Small & Clarke, 1996.

Angaturama limai Kellner & Campos, 1996.

Oxalaia quilombensis Kellner, Azevedo, Machado, Carvalho & Henriques, 2011.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Theropoda (Tetanurae (Avetheropoda (Coelurosauria))))))))

Compsognathidae *incertae sedis*

Mirischia asymmetrica Naish, Martill & Frey, 2004.

(Dinosauriformes (Dinosauria (Saurischia (Eusaurischia (Theropoda (Tetanurae (Avetheropoda (Coelurosauria (Tyrannoraptora)))))))))

Santanaraptor placidus Kellner, 1999.

VOLTE AO SUMÁRIO

REFERÊNCIAS

ALLPORT, S. 1860. On the discovery of some fossil remains near Bahia in South America. Q. J. Geol. Soc. London 16: 263-268.

BERTINI, R. J.; MARSHALL, L.G.; GAYET; M. & BRITO P. 1993. Vertebrate faunas from the Adamantina and Marília (Upper Bauru Group, Late Cretaceous, Brazil) in their stratigraphic and paleobiogeographic context. N. Jahrb. Geol. Pal. 188(1):71-101.

BITTENCOURT, J. S. & LANGER, M. 2011. Mesozoic dinosaurs from Brazil and their biogeographical implications. Anais da Academia Brasileira de Ciências 83(1): 23-60.

CABREIRA S. F.; SCHULTZ C. L.; BITTENCOURT J. S.; SOARES, M. B.; FORTIER, D. C.; SILVA, L.R. & LANGER, M. C. 2011. New stem-sauropodomorph (Dinosauria, Saurischia) from the Triassic of Brazil. Naturwissenschaften 98:1035-1040.

CAMPOS D. A.; KELLNER A. W. A.; BERTINI R. J. & SANTUCCI, R. M. 2005. Description of a titanosaurid caudal series from the Bauru Group, late Cretaceous of Brazil. Arquivos do Museu Nacional 63(3): 565-593.

CANDEIRO C. R. A.; SANTOS, A. R.; BERGQVIST, L. P.; RIBEIRO L. C. B. & APESTEGUIA, S. 2008. The Late Cretaceous fauna and flora of the Uberaba area (Minas Gerais State, Brazil. J. S. Am. Earth Sci. 25: 203-216.

CARVALHO, I. S.; AVILLA L. D. & SALGADO, L. 2003. Amazonsaurus maranhensis gent. et. sp. nov. (Sauropoda, Diplodocoidea) from the Lower Cretaceous (Aptian-Albian) of Brazil. Cretaceous Research 24:697-713.

CARVALHO, I. S.; NOVAS, F.; AGNOLIN, F. L.; ISASI, M. P.; FREITAS, F. I. & ANDRADE, J. A. 2015. A mesozoic bird from Gondwana preserving feathers. Nature Communications 6(7141): 1-5.

EZCURRA, M. D. 2007. The cranial anatomy of the coelophysoid therapod Zupaysaurus rougieri from the Upper Triassic of Argentina. Historical Biology 19(2)185-202.

HOLTZ T. R. 2004. Tyrannosauroidea. In: D. B. WEISHAMPEL; P. DODSON & H. OSMOLSKA (eds), The Dinosauria, 2nd ed., Berkeley: University of California, p. 111-136.

HOLTZ T. R.; MOLNAR R. E. & CURRIE, P. J. 2004. Basal Tetanurae. In: D. B. WEISHAMPEL; P. DODSON & H. OSMOLSKA (eds), The Dinosauria, 2nd ed., Berkeley: University of California, p. 71-110.

KELLNER, A. W. A. 2005. Museus e a divulgação científica no campo da paleontologia. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ 28(1): 116-130.

KELLNER, A. W. A. 2006. Pterossauros, os senhores do céu do Brasil. Rio de Janeiro: Vieira Lentz. 176p.

KELLNER, A. W. A. & CAMPOS, D. A. 2000. Brief review of dinosaur studies and perspectives in Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências 72(4): 509- 538.

KELLNER, A. W. A. & CAMPOS, D. A. 2012. Dinossauros: senhores da Terra na Era Mesozoica. In: Y. HASUI; C.D.R. CARNEIRO; F. F. M. ALMEIDA & A. BARTORELLI (eds.). Geologia do Brasil, Beca-Ball, p. 747-762 .

KELLNER, A. W. A.; CAMPOS, D. A.; AZEVEDO, S. A. K.; TROTTA, M. N. F.; HENRIQUES, D. D. R.; CRAIK, M. M. T. & SILVA H. P. S. 2006. On a new titanosaur sauropod from the Bauru Group, Late Cretaceous of Brazil. Boletim do Museu Nacional, Geologia 74:1-31.

KELLNER, A. W. A.; SCHWANKE, C. & CAMPOS, D. A. 1999. O Brasil no Tempo dos Dinossauros. Museu Nacional, Série Livros n. 7, 60p.

LANGER, M. C.; FRANÇA, M. A. & GABRIEL S. 2007. The pectoral girdle and forelimb anatomy of the stemsauropodomorph Saturnalia tupiniquim (Late Triassic, Brasil). Spec. Pap. Palaeontol. 77:113–137.

LEAL, L. A.; AZEVEDO, S.A.; KELLNER A. W. A. & ROSA A .A. S. 2004. A new early dinosaur (Sauropodomorpha) from the Caturrita Formation (Late Triassic), Paraná Basin, Brazil. Zootaxa 690:1-24.

LEONARDI, G. 1984. Le impronte fossili di dinosauri. In: J.F. BONAPARTE et al. (eds.). Sulle orme dei dino-sauri. Venezia, Erizzo, p. 161-186.

NOVAS, F.1996. Dinosaur monophyly. Journal of Vertebrate Paleontology 16(4):601-605.

NESBITT, S. .J.; IRMIS, R. B.; PARKER, W. G.; SMITH, N. D.; TURNER, A. H. & ROWE, T. 2009. Hindlimb osteology and distribution of basal dinosauromorphs from the Late Triassic of North America. Journal of Vertebrate Paleontology 29(2):498-516.

PADIAN, K. 1997. Phylogeny of Dinosaurs. In: P.J. CURRIE & K. PADIAN (eds.) Encyclopedia of dinosaurs. San Diego Academic Press, p. 546-551.

SARGEANT, W. A. S. 1997. Early discoveries. In: P.J. CURRIE & K. PADIAN (eds.) Encyclopedia of dinosaurs. San Diego Academic Press, p. 340-347.

SERENO, P. C. 1999. The evolution of Dinosaurs. Science 284: 2137-47.

SERENO, P. C. & NOVAS, F. E. 1992. The complete skull and skeleton of an early dinosaur. Science 258:1137–1140.

UPCHURCH, P.; BARRETT, P. M. & DODSON P. 2004. Sauropoda. In: D. B. WEISHAMPEL; P. DODSON & H. OSMOLSKA (eds), The Dinosauria, 2nd ed., Berkeley: University of California, p. 259-322.

VIEIRA, M. 1999. Campeão de público. Veja Rio: 82 (15/09/1999).

WEISHAMPEL, D. B.; DODSON, P. & OSMÓLOSKA, H. 2004. The Dinosauria. 2nd ed. University of California Press, Berkeley, London, 861p.

XU, X.; ZHOU, Z.; WANG, X.; KUANG, X.; ZHANG, F. & DU, X. 2003. Four-winged dinosaurs from China. Nature 421(6921): 335-340.

ZAHER, H.; POL, D.; CARVALHO, A. B.; NASCIMENTO, P.; RICCOMINI, C.; LARSON, P.; JUAREZ-VALIERI, R; PIRES-DOMINGUES R.; SILVA, N. & CAMPOS, D. A. 2011. A complete skull of an Early Cretaceous sauropod and the evolution of advanced titanosaurians. PLoS ONE 6(2): e16663. doi:10.1371/journal.pone.0016663.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Reconhecendo icnofósseis de dinossauros
Cruzadinos brasileiros
Dinossauros em arame: da anatomia à biomecânica
Dinossauro reciclável
Construindo cladogramas de área
Os dinossauros e a Panbiogeografia

11

TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?

Cristina Bertoni-Machado

Partindo desta pergunta, qualquer paleontólogo começa sua busca por respostas. A formação dos fósseis está associada a uma série de acontecimentos biológicos e geológicos iniciados a partir da morte de um organismo. Sucede-se então um conjunto de eventos, como a decomposição (necrólise), desarticulação, transporte e soterramento dos restos, até a ocorrência final dos processos físico-químicos que transformam os sedimentos em rocha e fossilizam os organismos nela depositados **(ver capítulo INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA)**.

A área da paleontologia que se ocupa em desvendar todos os processos acima mencionados é a **Tafonomia**, que é a ciência que estuda os processos de preservação e como eles afetam as informações no registro fossilífero, englobando duas amplas subdivisões, a **Bioestratinomia** e a **Fossildiagênese** **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**.

Com base nisto, pode-se dizer que a Tafonomia é uma excelente ferramenta no auxílio às questões paleoecológicas que surgem quando temos um fóssil em mãos. Se um pesquisa-

dor dispusesse em uma mesa de laboratório, restos esqueletais fossilizados de algum animal que viveu no passado geológico, baseado apenas em suas feições anatômicas, poderia dizer que organismo é esse, qual o parentesco dele com outros organismos e qual seu hábito alimentar. Porém, com esta observação preliminar, limitada aos restos fossilizados, não poderia dizer em qual local o animal vivia, como era o clima na época, e tantas outras questões que fazem parte do campo de estudo da **Paleoecologia** (ver a **figura 1** e também **o capítulo A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS**).

Para se chegar a conclusões paleoecológicas acerca de um fóssil ou de uma assembleia fóssil ou tafocenose, é necessário primeiramente se fazer uma análise tafonômica básica. Esta análise, que consiste em estudar os processos de morte, necrólise, desarticulação, transporte, intemperismo, soterramento e, por fim, de diagênese dos fósseis **(Figura 2)**, fornecerá importantes pistas sobre o que aconteceu com determinado organismo desde o momento da sua morte até o dia em que o encontramos fossilizado, completo, ou muitas vezes, só parcialmente preservado.

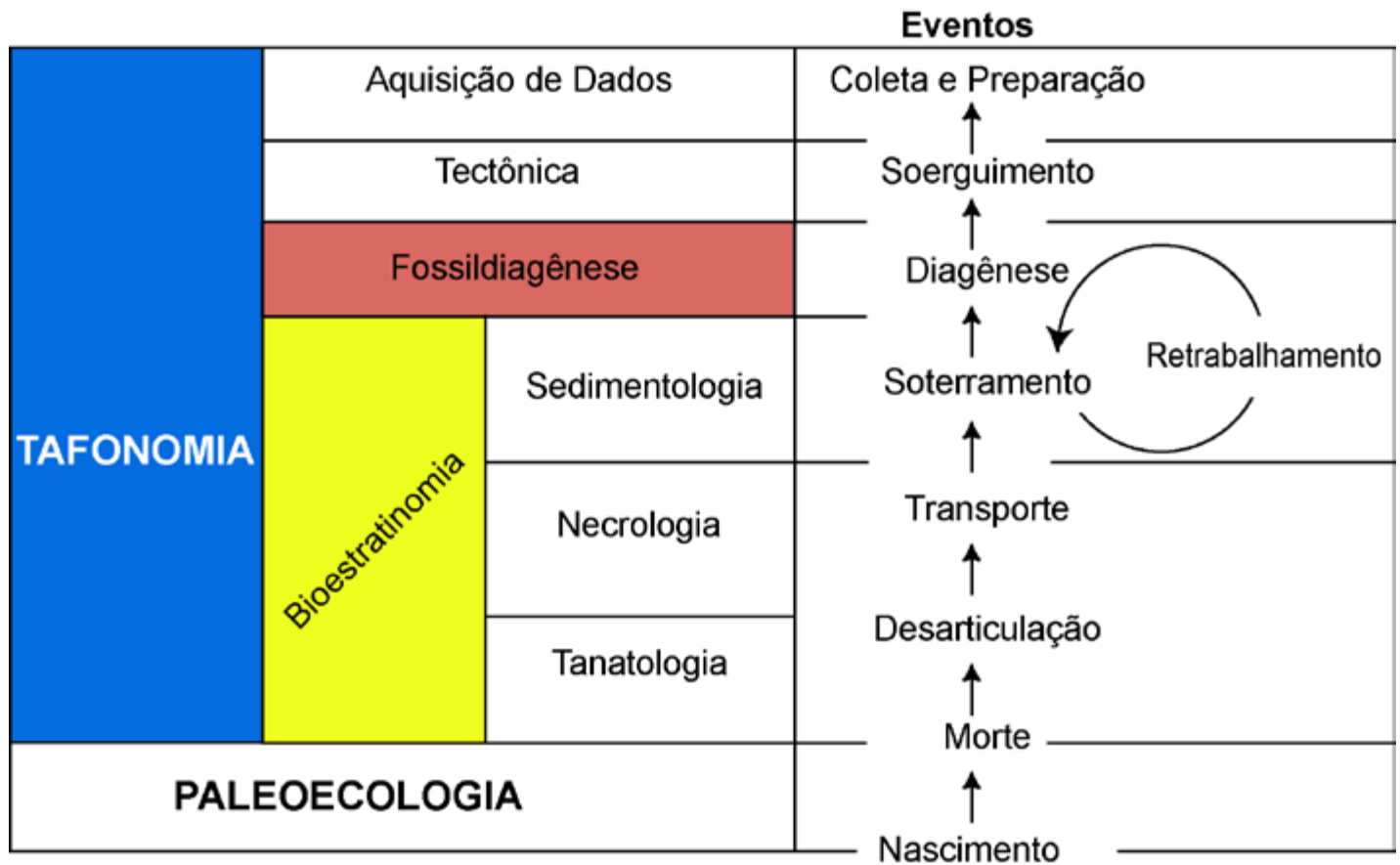


Figura 1. Relação entre a Tafonomia, e suas subdivisões (Bioestratinomia e Fossildiagênese), e a Paleoecologia. Modificado de Holz & Simões (2002).

A partir do momento da morte de um organismo, uma série de processos bioestratinômicos pode ocorrer no ambiente deposicional, produzindo assinaturas tafonômicas que vão ficar impressas nos restos fossilizados, caso estes restos sejam incorporados na litosfera e sofram a ação de processos diagenéticos, até transformarem-se em fósseis. Abaixo estão relacionadas, de forma geral, as principais etapas em envolvidas desde a morte até o soterramento final. Nos próximos capítulos, **TAFONOMIA DE VERTEBRADOS: O ENIGMA DOS OSSOS, TAFONOMIA DE INVERTEBRADOS: O ENIGMA DAS CONCHAS** e **TAFONOMIA EM PALEOBOTÂNICA: O ENIGMA DAS PLANTAS**, você vai conhecer melhor as particularidades de cada grupo de fósseis perante estes processos. No capítulo **FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO** estão listados os principais processos diagenéticos sofridos pelos organismos.

ANÁLISE TAFONÔMICA BÁSICA

MORTE

Para que se iniciem os processos tafonômicos, é necessário que haja a morte do organismo. Há muitas maneiras de morrer e a concentração fossilífera resultante está intimamente relacionada a estas maneiras. Portanto, sempre que possível, o estudo da mortalidade deve ser efetuado, já que muitas vezes há relação entre o evento que matou e o que soterrou determinado organismo. A análise tafonômica pode fornecer pistas sobre a causa mortis.

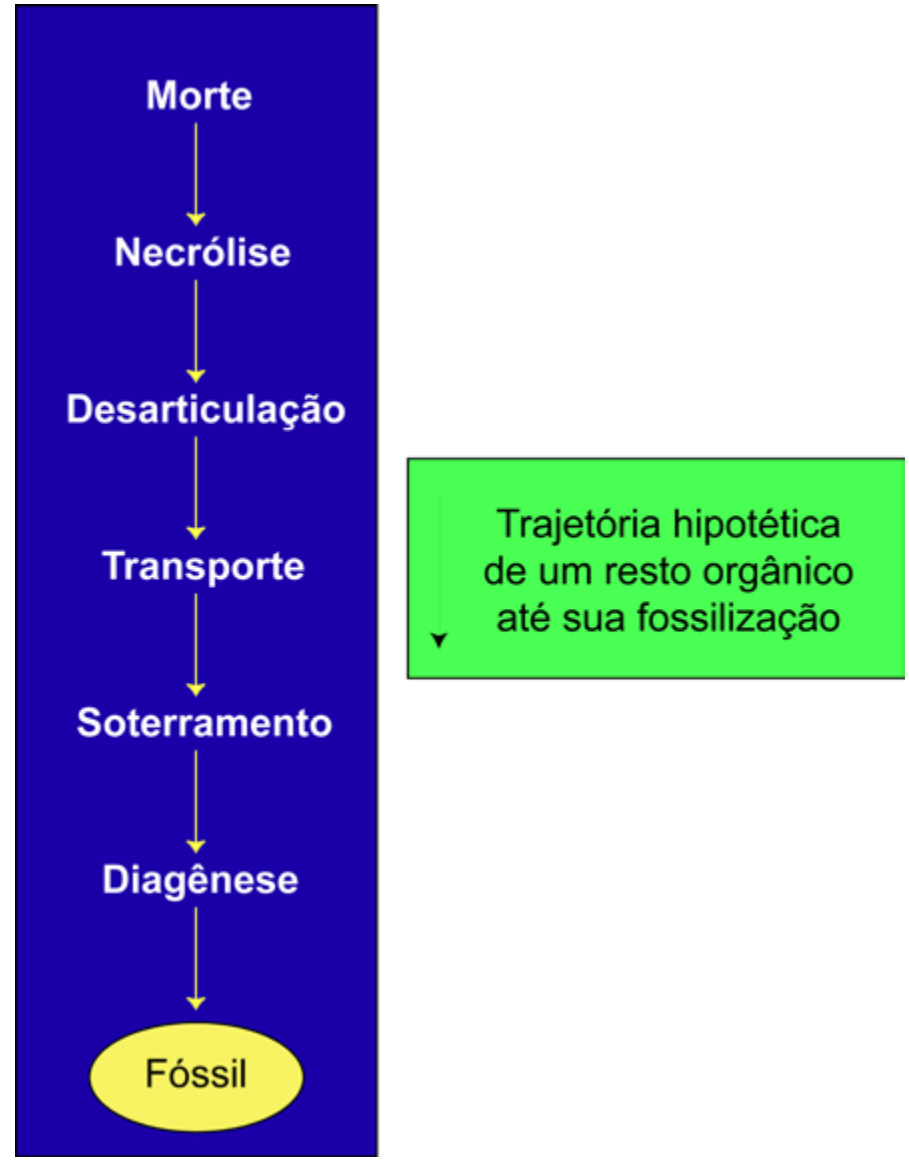


Figura 2. Resumo das etapas necessárias para se efetuar uma análise tafonômica básica, reconstituindo a trajetória do resto orgânico desde sua morte até a fossilização. Modificado de Holz & Simões (2002).

Tipos de Morte

Existem dois tipos básicos de morte na Natureza, chamadas de morte seletiva e morte não-seletiva (ou catastrófica) **(Figura 3)**. A morte seletiva afeta determinadas faixas de idade da população e é causada por fatores como doenças, predação e envelhecimento. De um modo geral, este tipo de morte afeta principalmente os organismos mais jovens e mais velhos, pois estão mais vulneráveis a estes fatores.

Por outro lado, a morte não-seletiva atinge grande parte da população, indistintamente. Isto ocorre quando há eventos climáticos de maior magnitude, como enchentes, tempestades ou grandes secas. Neste caso, praticamente todos os indivíduos da população são atingidos, não existindo nenhuma preferência por classes de idade.

Holz & Simões (2002) dizem que quando uma população passa por eventos de morte seletiva, a tanatocenose apresentará duas classes dominantes de idade, que representam os grupos mais vulneráveis da população: jovens e velhos. Isso resultaria em uma bimodalidade, porque somente estas duas classes de idade seriam encontradas na tanatocenose. Já em um evento de morte não-seletiva, a tanatocenose resultante será bastante parecida com a **distribuição de idades da população original** (biocenose), portanto, não ocorrerá esta bimodalidade.

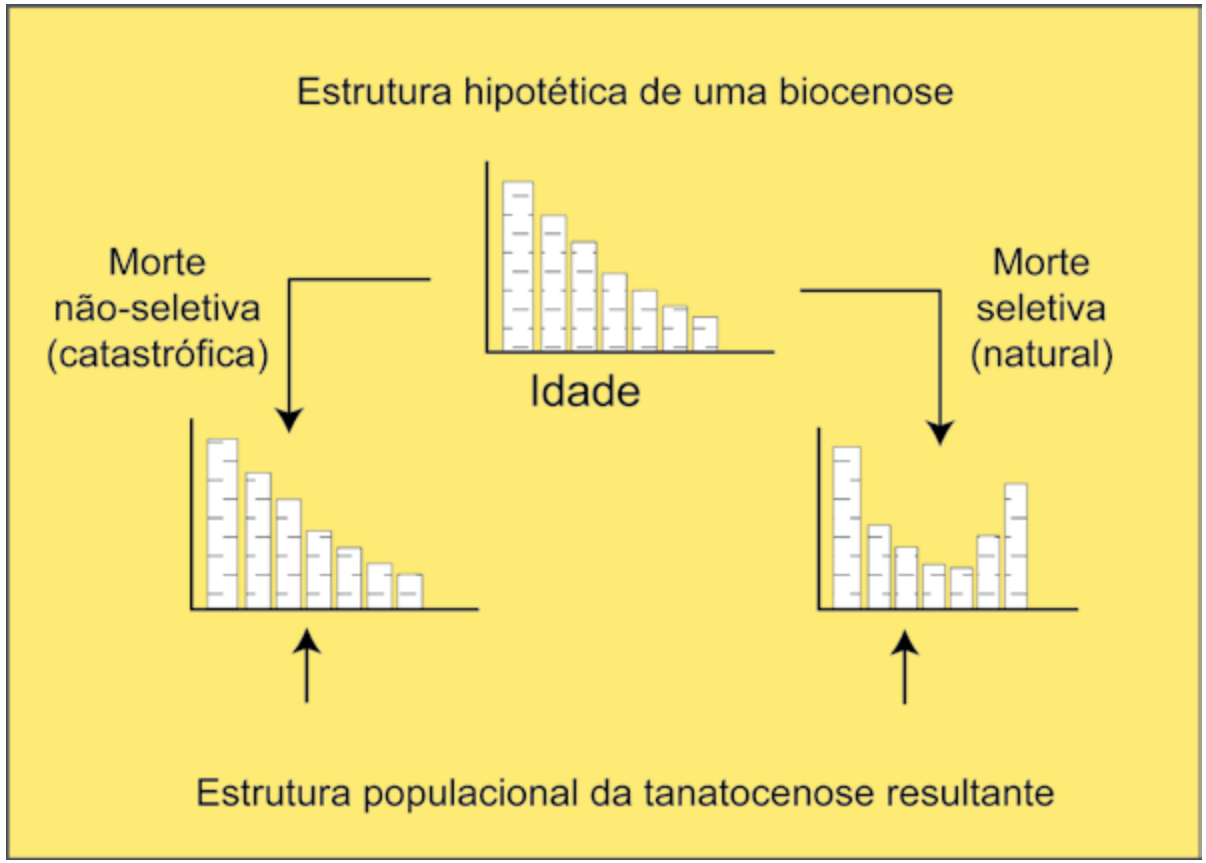


Figura 3. Relação do tipo de morte e da estrutura populacional. Observe a bimodalidade que ocorre quando há um evento de morte seletiva. Quando ocorre uma morte catastrófica, a tanatocenose resultante é praticamente um espelho da biocenose original. Modificado de Holz e Simões (2002).

A causa da morte

Com base na concentração biogênica da tanatocenose, podemos ter uma ideia do tipo de morte sofrida, mas este resultado não nos revela a causa da morte. Essa é uma questão bastante difícil de responder, já que muitas vezes a resposta não está só no fóssil, mas também no ambiente deposicional onde ele foi encontrado.

Desta maneira, quando a análise estatística dos restos indicar o padrão de bimodalidade, ou seja, um tipo de morte seletiva, o paleontólogo deverá buscar as respostas nos próprios materiais fósseis, diferentemente do que acontece quando se tem uma indicação estatística de que houve uma morte do tipo não-seletiva (catastrófica), já que a maior parte destes indícios são revelados nas rochas onde se encontram os fósseis.

Sempre se deve ter em mente que o registro sedimentar é dominantemente episódico, ou seja, apenas os grandes eventos (enchentes, tempestades, etc.) ficam depositados na forma de sedimentos. No dia-a-dia, as taxas de erosão e de deposição de sedimentos são muito baixas e esses fenômenos raramente ficam registrados nas rochas. No ambiente continental, por exemplo, grandes enchentes acarretam um aumento na capacidade de carga de um rio (capacidade de transporte de sedimentos) e o rio extravasa, levando grande parte destes sedimentos para suas margens. Estes eventos ficarão registrados como camadas de sedimentos finos na planície de inundação **(Figura 4)** e é durante estes eventos que a biota é soterrada e preservada, ou ainda, é nestes eventos que os organismos morrem e são soterrados, gerando assim uma assembleia fossilífera, caracterizada por morte não-seletiva (catastrófica) **(Figura 5)**.

Figura 4. Fragmento de mandíbula de um dinossauro que viveu no Rio Grande do Sul, no período Triássico **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO).** Os sedimentos finos, avermelhados, onde os ossos estão inseridos são típicos de planícies de inundação gerados por eventos de enchentes. Foto. Cristina Bertoni-Machado.

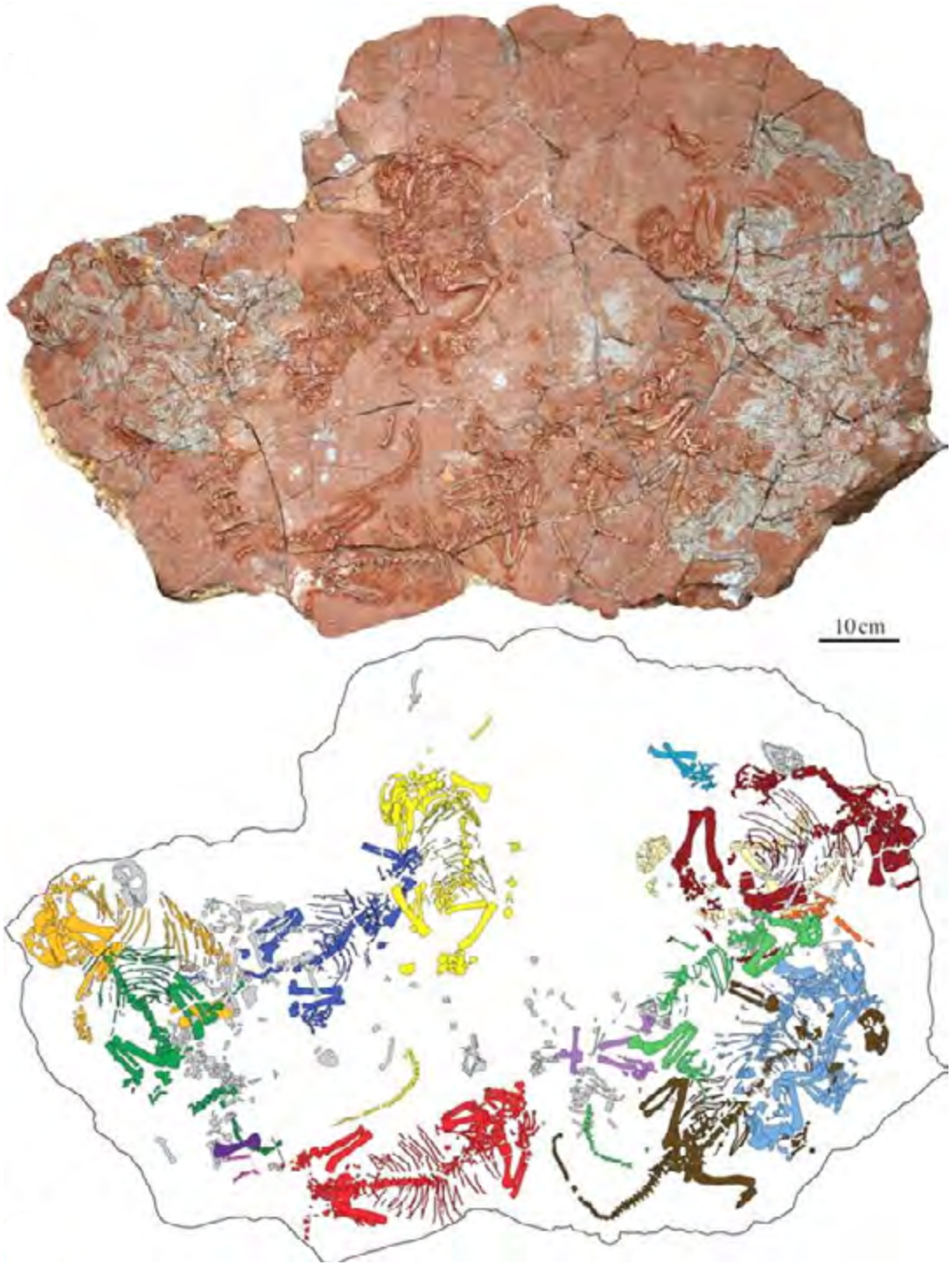


Figura 5. Exemplo de evento de mortalidade não-seletiva no registro fóssil. Pelo menos 15 espécimes do anomodonte *Suminia* foram encontrados em associação, praticamente completos, em um depósito do Permiano da África do Sul. A amostra é composta de indivíduos adultos e juvenis. Cada espécime está representado por uma cor. Modificado de Fröbisch & Reisz (2009).

Em sistemas marinhos também ocorrem ambos os tipos de morte. Na plataforma marinha, em condições normais, uma fauna bentônica se desenvolve em sucessivos ciclos de vida, sem ser afetada por nenhum grande evento de sedimentação. Neste caso, os animais que morrem de uma forma não-seletiva ficam distribuídos na plataforma, associados aos animais ali viventes. Quando uma grande tempestade ocorre sobre o mar, o fundo marinho também é bastante remexido, o que pode causar morte de muitos animais bentônicos. Os cadáveres destes animais são misturados aos restos dos organismos que já estavam mortos antes da tempestade. Tempestades também provocam morte de animais nectônicos e, mesmo, plantônicos. O resultado deste processo é um evento de mortalidade catastrófica que afeta toda a biota, indiscriminadamente **(Figura 6)**.

Um outro exemplo de morte catastrófica que pode ser citado em ambiente marinho é a concentração fóssil de mesossauros, répteis aquáticos extintos encontrados em sedimentos de idade permiana **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**, localizados em afloramentos da Bacia do Paraná (SP, PR, SC e RS) **(Figura 7)**. Estes fósseis, que abrangem restos esqueletais de diferentes classes de idade, foram encontrados associados a tempestitos, estruturas sedimentares cujas características indicam eventos de tempestade. Portanto, a associação entre a informação que nos fornecem os fósseis e as que as rochas indicam, é de suma importância quando se precisa identificar a causa da morte.

Figura 6. Associação fossilífera do Ordoviciano contendo inúmeros restos de invertebrados (trilobitas, braquiópodes, briozoários e moluscos bivalves), vitimados por evento de mortalidade catastrófica (não-seletiva) em ambiente marinho. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

TRANSPORTE

Quando um animal morre, se não for soterrado imediatamente, ele geralmente se desarticula e seus restos esqueletais tendem a ser transportados para longe de onde o animal morreu. Isso também ocorre com restos vegetais, como as folhas que se desprendem de um ramo, por exemplo. O maior agente de transporte é a água. Correntes fluviais e marinhas podem transportar organismos ou seus restos a grandes distâncias. O estudo do transporte é uma das análises mais fundamentais na tafonomia, já que, muitas vezes, o local onde o fóssil foi encontrado não reflete o ambiente no qual o organismo vivia. Para uma melhor compreensão dos mecanismos envolvidos no transporte hidráulico, é preciso lembrar que, quando submetido a uma corrente (marinha ou fluvial), um resto orgânico (bioclasto) vai sofrer os mesmos processos físicos que um clasto sedimentar. Assim, clastos e bioclastos mais densos só serão transportados se houver correntes mais fortes. Já os clastos e bioclastos menores (em geral menos densos), terão um potencial de transporte maior, podendo ser levados a grandes distâncias. Também é importante lembrar que uma carcaça inteira pode ser transportada a grandes distâncias se sua densidade for minimizada pela presença de gases de putrefação, durante a fase de decomposição.

Sempre que fazemos análises paleoecológicas com o intuito de reconstruir determinado ambiente de vida, é necessário analisar os fósseis a partir do ponto de vista de quão transportados eles foram. Inferir a vida dos organismos em seus paleoambientes (aqueles ambientes antigos, guardados

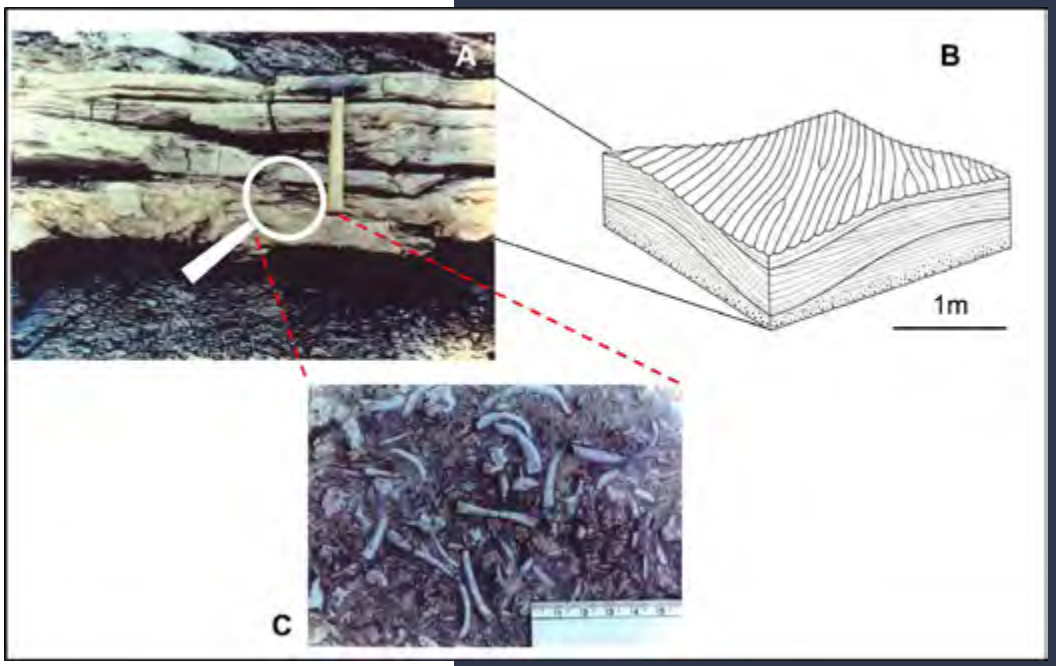


Figura 7. (A) Detalhe de tempestito do afloramento Passo de São Borja, Permiano do Rio Grande do Sul; (B) Representação esquemática de um tempestito, mostrando sua forma sigmoide; (C) Detalhe da concentração fossilífera encontrada associada ao tempestito, caracterizada por ossos de mesossaurídeos isolados e fragmentados. Fotos (A e C): Marina B. Soares; (B) imagem modificada de Duke, 1985.

no registro fóssil) depende do entendimento de onde estes viveram, e não onde foram soterrados. Desta maneira, o paleontólogo deve saber diferenciar uma assembleia fóssil de acordo com o transporte sofrido pelos organismos.

Uma assembleia **autóctone** é aquela onde os restos se encontram preservados no mesmo ambiente onde os organismos viviam. Por outro lado, uma assembleia **alóctone** é aquela constituída por fósseis que foram transportados de seu ambiente original. Estes conceitos são bastante importantes já que, muitas vezes, organismos são encontrados longe do seu verdadeiro hábitat e, caso o transporte não seja levado em consideração, o paleontólogo poderá interpretar erroneamente a presença destes organismos num determinado ambiente, o que levará a problemas graves nas reconstruções paleoecológicas. Apesar de existirem muitos estudos sobre a questão da transportabilidade dos elementos esqueletais, nem sempre é fácil identificar quanto um material foi transportado antes de ser soterrado.

NECRÓLISE E DESARTICULAÇÃO

Logo que um organismo morre, dá-se início ao processo chamado de necrólise, que consiste na decomposição dos tecidos moles do corpo. Este fenômeno ocorre com a matéria orgânica de qualquer organismo, seja animal, vegetal e, mesmo, seres microscópicos. Em geral, as alterações pós-morte ocorrem nos primeiros dias ou semanas depois da morte e são importantes porque ilustram como o tipo de morte influencia na história tafonômica de um resto orgânico. Geralmente entre o tempo de morte e soterramento de um determinado organismo, a carcaça vai perdendo os tecidos moles que a mantinham coesa, facilitando, desta maneira, a sua desarticulação. Além disso, o processo de necrólise é acelerado devido à ação de microorganismos decompositores (bactérias ou fungos que geram a putrefação), de insetos, ou ainda a grandes organismos carniceiros (necrófagos). Por isso é tão difícil encontrarmos fósseis de organismos completos.

Esqueletos fósseis articulados de vertebrados ou moluscos bivalves, por exemplo, só são preservados quando: (1) o evento que matou o animal foi o mesmo que o soterrou; (2) quando o esqueleto ficou exposto em ambientes onde a taxa de decomposição dos tecidos é muito baixa (devido à carência de oxigênio, ao frio ou à aridez); (3) quando o tempo decorrido entre a morte do animal e o seu soterramento foi bastante curto.

Dentro do sedimento a taxa de decomposição diminui, pois a temperatura é mais baixa e inibe o desenvolvimento das bactérias, ou porque dificulta o acesso de insetos necrófagos ao organismo. Exemplos destes casos são os mamutes encontrados em geleiras, que apresentam pele, pelos, vísceras, etc., intactos, e restos mumificados em ambientes áridos **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO).**

Figura 8. Esqueleto de vaca em estágio intermediário de desarticulação. Nas fotos pode-se observar que os ossos do crânio e dos membros já estão desarticulados e levemente transportados para longe do resto do esqueleto, mas a coluna vertebral ainda se mantém firmemente conectada. Isso ocorre porque os ligamentos que a mantém unida são mais resistentes que os demais. Foto: Cristina Bertoni-Machado.

Mas o que a necrólise dos tecidos moles tem a ver com a desarticulação? Articulação é definida como dois ou mais elementos esqueletais em sua posição anatômica original. Os ossos e as conchas só se mantêm articulados porque há tecidos moles, tais como músculos, tendões e cartilagens unindo-os. Quando estes tecidos se decompõem, começa o processo de desarticulação, que é a separação dos elementos de um esqueleto **(Figuras 8 e 9)**. A desarticulação vai ser determinada pela anatomia básica do organismo e por fatores externos como a necrólise, já mencionada, o transporte, o pisoteio e/ou a necrofagia.

Figura 9. Partes desarticuladas de crinoides do Ordoviciano, da espécie *Clyptocrynus decadactylus*. Houve tempo suficiente entre morte e soterramento para que as partes moles que mantiveram os elementos esqueletais unidos se decompusessem. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

De uma perspectiva tafonômica, o estudo da desarticulação é bastante importante porque fornece subsídios para o entendimento dos eventos ocorridos no período pós-morte/pré-soterramento, já que os elementos que, em vida, estavam articulados, desarticulam-se e podem ser espacialmente dissociados ou ainda espalhados. A sequência de desarticulação vai depender da anatomia corporal, do clima e do tempo decorrido entre a morte e o soterramento.

CONCLUSÕES

Depois de termos as noções básicas de tudo que pode acontecer com um organismo depois de sua morte e posterior entrada no registro sedimentar, podemos concluir que quando estamos diante de um fóssil, estamos diante de um objeto extremamente raro. Fósseis são restos de organismos, mas também são partes de um quebra-cabeça muito maior, complexo e fascinante: os ecossistemas do passado. Através dos estudos tafonômicos, integrados aos estudos sedimentológicos (sobre as rochas onde os fósseis são encontrados) podemos reconstituir como era o ambiente do passado no qual os organismos antigos viviam. Tais estudos são englobados pela Paleoecologia, cujo objetivo é descrever os ecossistemas do passado e compreender a sua estrutura e funcionamento, permitindo, assim, recolocar os organismos fósseis no contexto físico e biológico da sua época (de Ricqlés, 1989). Uma vez que o registro geológico e fóssil é incompleto, e que as amostras disponíveis muitas vezes resultam de vários processos que tendenciam o registro ecológico original, uma sólida base de conhecimentos tafonômicos se faz necessária. Assim, a análise tafonômica dos fósseis é um pré-requisito fundamental para a paleoecologia.

REFERÊNCIAS

FRÖBISCH, J. & REISZ, R.R. 2009. THE LATE PERMIAN HERBIVORE SUMINIA AND THE EARLY EVOLUTION OF ARBOREALITY IN TERRESTRIAL VERTEBRATE ECOSYSTEMS. PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY OF LONDON 276: 3611- 3618.

DUKE, W.L. 1985. HUMMOCKY CROSS-STRATIFICATION, TROPICAL HURRICANES, AND INTENSE WINTER STORMS. SEDIMENTOLOGY 32:167-194.

DE RICQLÈS, A. 1989. LES MÉCANISMES HÉTÉROCHRONIQUES DANS LE RETOUR DES TÉTRAPODES AU MILIEU AQUATIQUE. COLLOQ. INT. CNRS: DIJON, ONTOG. EVOL.171 - 178.

HOLZ, M. & SIMÕES, M. G. 2002. ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DE TAFONOMIA. PORTO ALEGRE: EDUFRGS, 231 P.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

O tanque de fossilização
A história de um fóssil
Jogo Paleocombate

12

TAFONOMIA DE INVERTEBRADOS: O ENIGMA DAS CONCHAS

Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano

Quando somos crianças, os passeios pelas praias ou rios nunca estão completos sem uma caminhada à beira d'água para coletar conchinhas, não é mesmo? Mas, além de reparar na beleza das conchas em si, algumas pessoas mais curiosas imediatamente começam a pensar em várias questões: onde viviam os animais que possuíam aquelas conchas? Perto da praia ou mais para o fundo do mar? Por que algumas conchas estão quebradas e com uns furinhos ou tubinhos em cima, enquanto outras ainda estão inteiras e bem preservadas? Quem, ou o que, é o responsável pelas alterações que vemos nas conchas **(Figura 1)**?

Figura 1. Criança coletando conchas e outros restos de invertebrados na Praia do Forno, em Búzios (Rio de Janeiro/RJ). Foto: Luiza Ponciano.

Estas e outras perguntas podem ser respondidas quando pensamos na jornada que as conchas e outros tipos de restos orgânicos (pedaços de corais, estrelas-do-mar, bolachas-de-praia, ouriços, algas, troncos, folhas, etc.) enfrentaram até chegarem às praias e outros ambientes, como rios e lagoas. A fim de reconhecer os eventos que deixaram as suas marcas nestes restos orgânicos, temos que analisar a fundo todas as evidências, como numa investigação policial. Por exemplo, é muito importante prestar atenção no tipo, quantidade e distribuição dos furinhos e tubinhos que cobrem as conchas, assim como no formato das suas bordas e variedade de tamanhos. Estas características podem ser interpretadas como "impressões digitais" ou "assinaturas" dos eventos que causaram as alterações nas conchas durante a sua jornada até a praia, sendo chamadas de assinaturas tafonômicas. A análise destas evidências nos permite desvendar a origem dos restos orgânicos e estimar o tempo que eles ficaram expostos na superfície do fundo do mar até serem transportados para a praia, entre outras questões. De um modo geral, podemos descobrir quais eventos ou processos físicos, químicos e biológicos foram os responsáveis por originar toda a diversidade de assinaturas tafonômicas que observamos nos restos orgânicos, tanto fósseis como recentes **(Figura 2)**.

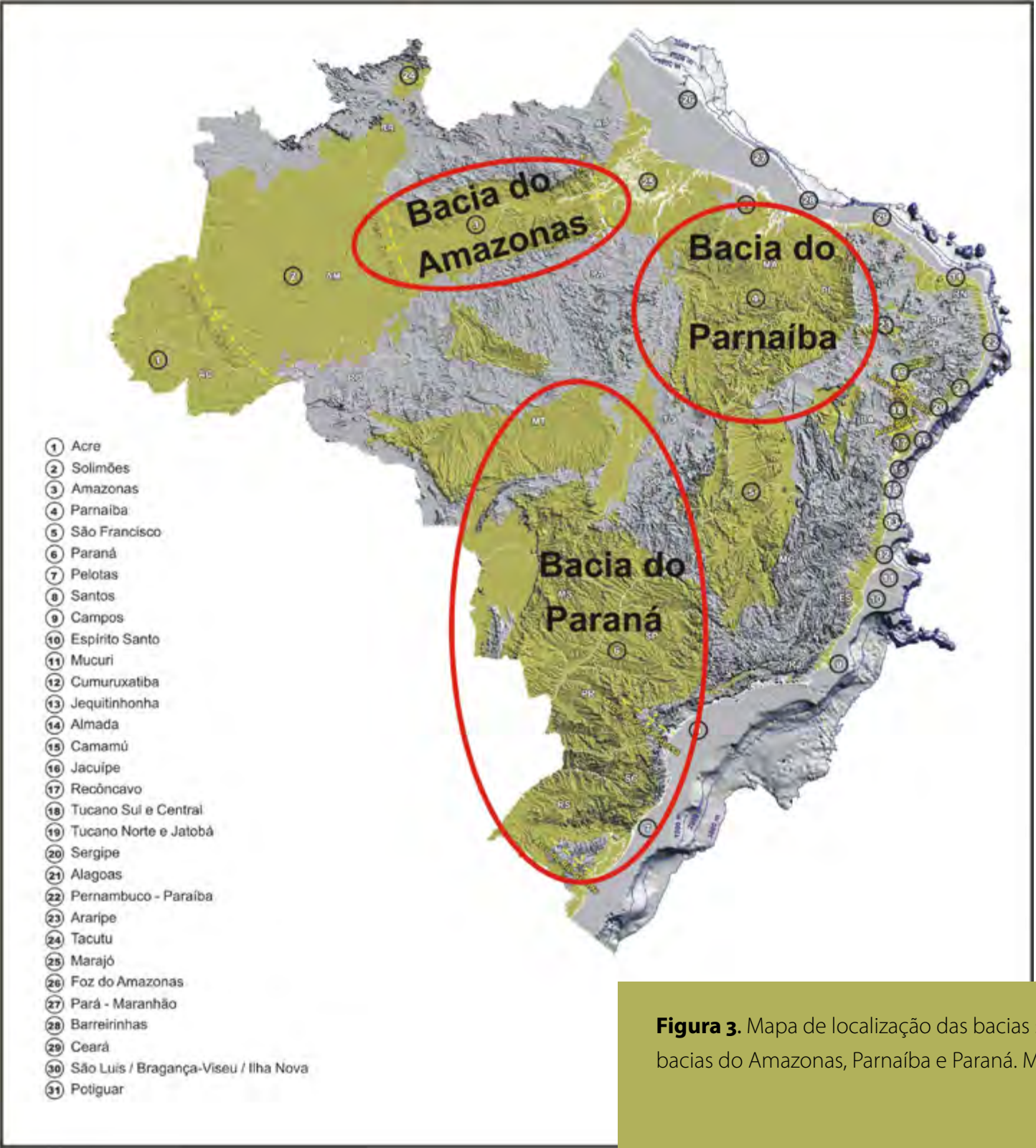
Estas questões são objeto de estudo da Tafonomia **(ver capítulo TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?)**, e, neste capítulo, iremos nos concentrar em como desvendar os segredos das conchas e de outros restos de invertebrados. Portanto, nosso foco serão os assuntos relacionados à Tafonomia de Invertebrados.

Figura 2. Exemplos de conchas de biválvios, gastrópodes e outros restos de invertebrados recentes com diversos exemplos de feições analisadas pela Tafonomia. Foto: Luiza Ponciano.

A Tafonomia é uma disciplina muita ampla, e uma de suas divisões que merece destaque é a Tafonomia atualística ou **actuopaleontologia**. Esta parte da Tafonomia estuda os processos físicos, químicos e biológicos, em ambientes modernos, que geram assinaturas tafonômicas nos restos orgânicos recentes semelhantes àquelas encontradas nos fósseis. Deste modo, as correlações entre as assinaturas tafonômicas e os processos observados em ambientes atuais podem auxiliar no estudo do registro fóssil e na reconstituição de ambientes antigos. Entretanto, a escala de tempo **(ver capíulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)** relacionada à formação dos fósseis (de milhares a milhões de anos) é bem maior que a escala de tempo humana (de dezenas a centenas de anos). Assim sendo, os processos e ambientes relacionados ao registro fóssil são mais diversificados e usualmente de maior magnitude que os atuais.

Apesar dos diversos processos tafonômicos que podem destruir completamente os restos orgânicos, algumas partes mais resistentes, como as conchas e carapaças de **invertebrados**, conseguem ser preservadas no registro geológico. Estes restos orgânicos, já fossilizados, são encontrados em rochas sedimentares **(ver capíulo O CICLO DAS ROCHAS)**, formando depósitos chamados de concentrações fossilíferas. Estas são definidas como qualquer acumulação relativamente densa de restos esqueléticos maiores que 2 mm (denominados genericamente de bioclastos), independentemente da composição taxonômica ou do estado de preservação (Kidwell *et al*., 1986). Portanto, o modo de ocorrência das concentrações fossilíferas é bem diferente daquela visão inicial das conchas na praia! Vamos conhecer, a seguir, alguns exemplos de concentrações com invertebrados fósseis que existem em nosso país.

As principais ocorrências se concentram no interior do Brasil, nas **bacias sedimentares** do Amazonas, Parnaíba e Paraná **(Figura 3)**, em diversos tipos de depósitos marinhos. Como assim, depósitos marinhos no interior do Brasil? Sim, isso mesmo! Há muitos milhões de anos atrás, especialmente durante o período chamado Devoniano **(ver capíulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**, o nível do mar estava mais alto que o atual, e grande parte do nosso território foi inundado por mares rasos que ocupavam principalmente as regiões Norte, Nordeste e Sul do Brasil (Ponciano *et al.*, 2010).



A acumulação de sedimentos e restos de organismos nestes locais permitiu a preservação de invertebrados marinhos nas rochas de regiões que atualmente são muito diferentes de um mar, como a floresta amazônica, o sertão nordestino e os campos do sul do Brasil. A maior parte destes depósitos ainda está escondida embaixo da superfície, mas nos estados do Piauí e Tocantins **(Bacia do Parnaíba)** estas rochas com invertebrados marinhos são facilmente encontradas nos cortes de estradas, morros e rios, constituindo os afloramentos fossilíferos da Bacia do Parnaíba **(Figura 4)**. **(ver capítulo PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO)** ver também Fonseca & Melo, 1987; Melo, 1988; Carvalho *et al*., 1997; Ponciano *et al*., 2010; Fonseca & Ponciano, 2011; Ponciano *et al*., 2012).

Na **Bacia do Amazonas**, a densa cobertura da floresta e dos solos dificulta o acesso aos afloramentos, que estão em sua maioria restritos aos leitos e margens de rios e igarapés **(Figura 5)**. Estes acompanham ao norte e ao sul o curso do Rio Amazonas, em especial no Estado do Pará (Melo, 1988; Fonseca, 2004; Ponciano & Machado, 2007a,b; Ponciano, 2011; Fonseca & Ponciano, 2011).

Figura 3. Mapa de localização das bacias sedimentares brasileiras, com destaque para as bacias do Amazonas, Parnaíba e Paraná. Modificado de http://www.phoenix.org.br.

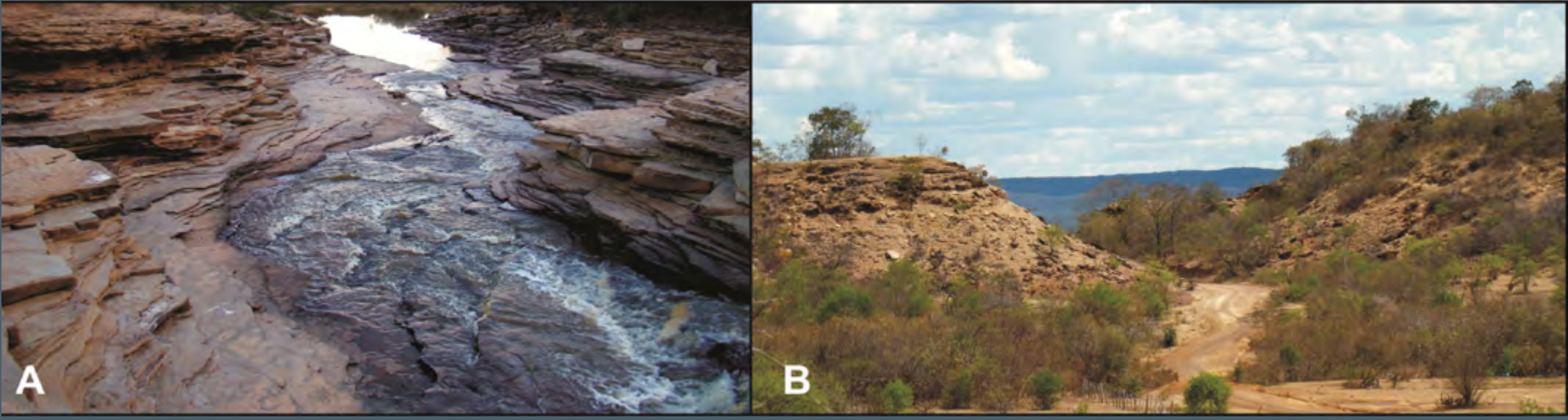


Figura 4. Afloramentos fossilíferos da Formação Pimenteira (Devoniano, Bacia do Parnaíba) no Rio Sambito (A) e em morros (B). Município de Pimenteiras, Estado do Piauí. Foto: Luiza Ponciano.

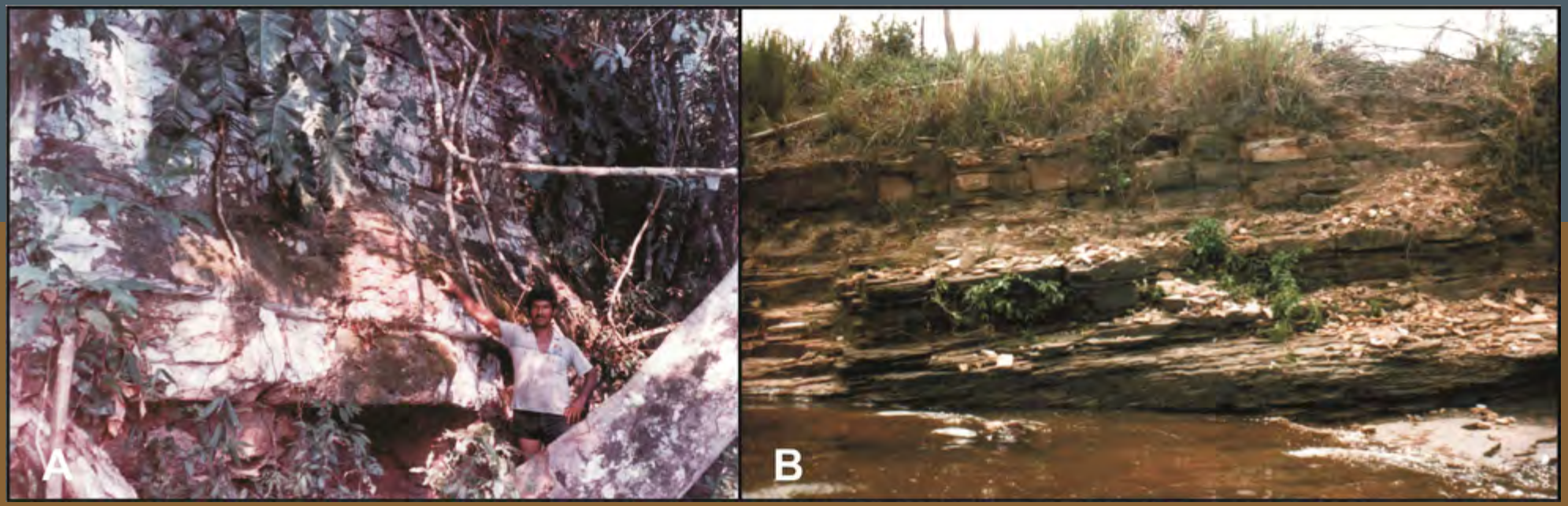


Figura 5. Afloramentos fossilíferos das formações Maecuru (A) e Ererê (B), ambos nas margens do Rio Maecuru, Estado do Pará (Devoniano, Bacia do Amazonas) Fotos: J.H.G. de Melo.

No sul, os cortes de ferrovias no Estado do Paraná **(Figura 6)** são os afloramentos fossilíferos mais conhecidos do Devoniano da **Bacia do Paraná**. Entretanto, os invertebrados devonianos desta bacia também podem ser encontrados em cortes de estrada e margem de rios da região Centro-oeste, nos estados de Mato-Grosso e Goiás (Melo, 1988; Bosetti *et al*., 2007; Scheffler & Fernandes, 2007; Kunzler *et al*., 2011).

Através da realização de análises tafonômicas nestes afloramentos fossilíferos, um simples paredão de rochas no meio da atual floresta amazônica pode ser transformado em um ambiente marinho repleto de invertebrados devonianos que já foram extintos **(Figura 7)**. Mas como é possível fazer esta transformação? Que invertebrados são esses no desenho ao lado? Vamos descobrir?

Figura 6. Afloramentos fossilíferos da Formação Ponta Grossa (Devoniano, Bacia do Paraná) em (A) corte da Estrada de Ferro Central do Paraná e (B) leito do Rio Caniú, Município de Ponta Grossa, Estado do Paraná. Fotos: Luiza Ponciano.

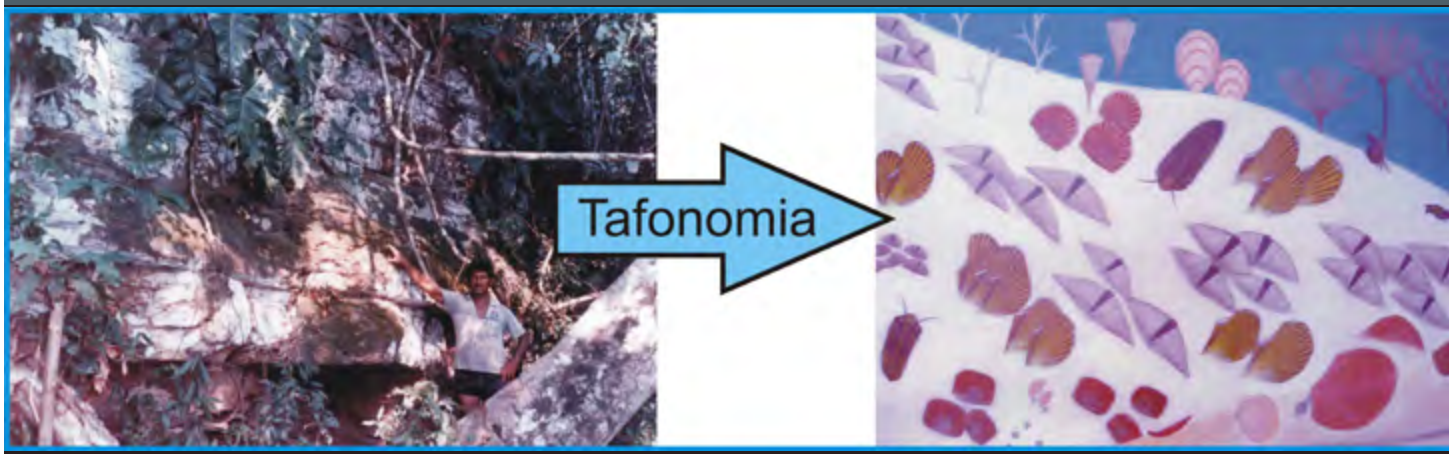


Figura 7. Afloramento fossilífero da Formação Maecuru (Bacia do Amazonas) e o resultado da reconstituição do ambiente e de como viviam os invertebrados que habitavam a região durante o Devoniano. Foto: J.H.G. de Melo. Desenho: Luiza Ponciano.

PRESERVAÇÃO DOS INVERTEBRADOS

Após terem conseguido escapar ao menos parcialmente do ciclo natural de decomposição da matéria orgânica, apenas uma pequena parcela dos restos de invertebrados consegue se tornar um fóssil. Pois é. Como já vimos em outros capítulos deste livro, virar um fóssil não é tarefa fácil, e demora muito tempo. Por isso cada fóssil encontrado tem de ser admirado como um verdadeiro milagre da Natureza!

De um modo geral, os restos de invertebrados fósseis são mais abundantes em antigos depósitos de ambientes marinhos, mas também podem ocorrer em ambientes fluviais e lacustres. Atualmente, os moluscos biválvios e gastrópodes são os invertebrados mais comuns. Porém, na Era Paleozoica, os braquiópodes eram os organismos predominantes nos mares rasos que ocupavam o nosso território, especialmente durante o Devoniano. Neste período, os braquiópodes ocorriam associados a outros invertebrados marinhos de ocorrência mais esparsa, como biválvios, gastrópodes, trilobitas, tentaculitídeos, equinodermos, corais, briozoários e conulários **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**.

Como os invertebrados são muito diversificados, cada grupo apresenta diferentes hábitos de vida (fixos ou livres, infauna ou epifauna etc.), tamanhos, formatos, densidades, tipos de esqueleto **(Quadro 1)** e composição mineralógica **(Quadro 2)**. Por este motivo, as assinaturas tafonômicas de cada grupo devem ser analisadas separadamente, pois, além das variáveis ambientais (chamadas de fatores extrínsecos), as próprias características dos bioclastos (fatores intrínsecos) podem favorecer ou prejudicar a sua preservação.

Quadro 1 . Classificação dos diferentes tipos de esqueleto de invertebrados. Modificado de Speyer & Brett (1988).

TÁXON	TIPO DE ESQUELETO				
	Maciço	**Arborescente**	Univalve	Bivalve	Multielemento
Corais	X	X			
Briozoários	X	X			
Braquiópodes				X	
Moluscos biválvios				X	
Moluscos gastrópodes			X		
Moluscos cefalópodes			X		
Trilobitas					X
Equinodermos					X

Quadro 2. Composição mineralógica do esqueleto dos principais tipos de organismos, segundo Mendes (1988). Modificado de Simões & Holz (2004).

MINERAL	GRUPO TAXONÔMICO
Calcita	Foraminíferos Braquiópodes Ostracodes Equinodermos
Aragonita	Corais Briozoários Moluscos cefalópodes
Calcita ou Aragonita	Briozoários Moluscos biválvios Moluscos gastrópodes
Hidroxiapatita	Vertebrados (ossos e dentes)

A ESCRITA DA NATUREZA

Existem várias etapas pelas quais os invertebrados têm de passar até se tornarem fósseis, para muito tempo depois serem encontrados nos afloramentos fossilíferos (morte – desarticulação – transporte – soterramento – retrabalhamento – soterramento final – diagênese – soerguimento – coleta. **(ver capítulo TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?)**. Ao longo desta jornada, os restos de invertebrados vão adquirindo as assinaturas tafonômicas sobre as quais falamos no início do capítulo (furinhos, formato das bordas, etc.). Podemos compará-las com a escrita dos povos antigos, que antes do papel e computadores utilizavam as rochas, conchas e outros materiais para registrarem o que acontecia em sua época, como numa versão antiga da "linha do tempo" do *facebook*. Do mesmo modo, os processos tafonômicos causam várias alterações nos restos orgânicos ao longo do tempo, como um tipo de registro "escrito" pela Natureza. Esta escrita pode ser decifrada através da análise das assinaturas tafonômicas, possibilitando a reconstituição dos ambientes e hábitos de vida dos organismos do passado.

Este tipo de estudo é feito através da classificação das concentrações fossilíferas, que normalmente envolve duas grandes fases. A primeira fase é a caracterização das assinaturas tafonômicas, para reconstituir da melhor forma possível a história dos restos orgânicos antes e durante a formação do depósito fossilífero. A segunda etapa é a caracterização da rocha associada aos bioclastos, além da disposição tridimensional da concentração fossilífera como um todo (chamada de biofábrica), a fim de se identificar os processos finais de deposição (Kidwell, 1991).

Entretanto, a caracterização destas duas grandes fases não é um procedimento simples, pois cada depósito fossilífero analisado é único, repleto de particularidades. Isto gera uma grande variedade de metodologias, mas geralmente as assinaturas tafonômicas mais utilizadas são: o grau de articulação e o grau de fragmentação dos restos esqueléticos; a seleção das classes de tamanhos e dos diferentes tipos de valvas (no caso dos biválvios e braquiópodes); a orientação e o posicionamento da concavidade dos bioclastos; o estado de suas bordas e as interações bióticas (incrustação e bioerosão = "tubinhos e furinhos").

TRADUZINDO AS ASSINATURAS TAFONÔMICAS

Agora vamos analisar como as assinaturas tafonômicas que encontramos nos invertebrados são interpretadas e traduzidas em informações úteis para realizar as reconstituições paleoambientais e paleoecológicas. Um importante questionamento é qual a quantidade e o tipo de assinaturas tafonômicas que têm de ser consideradas para a resolução do enigma das conchas que estamos pesquisando. Quais assinaturas devemos escolher? Será que a análise de somente uma ou duas assinaturas é suficiente para desvendar a origem das concentrações fossilíferas?

Para responder estas questões temos de conhecer as correlações que são feitas entre os processos físicos, químicos e biológicos e as assinaturas tafonômicas que estão listadas abaixo. Estas informações podem ser encontradas de modo mais detalhado nos seguintes trabalhos: Brett & Baird (1986); Speyer & Brett (1986, 1988, 1991); Davies *et al*. (1989); Kidwell (1991); Kidwell & Bosence (1991), Kidwell *et al*. (2001), Simões & Holz (2004); Ponciano (2009) e Ponciano *et al.* (2012).

(1) Desarticulação (Figuras 8, 9 e 10)

Ocorre devido à decomposição de partes moles (ligamentos e tecidos conectivos), estando associada com o tempo e a frequência de exposição dos restos orgânicos na interface sedimento-água, o tipo de esqueleto dos organismos e a energia e química do meio. Sugere transporte e/ou retrabalhamento por processos físicos, como correntes e ondas, mas também pode estar relacionada com a bioturbação dos depósitos e o ataque de predadores ou necrófagos. A desarticulação dos organismos geralmente se inicia pelas partes esqueléticas mais móveis e frágeis, e pode ser completa ou incompleta. Nos biválvios, por exemplo, as valvas podem estar articuladas e fechadas, articuladas e parcialmente abertas, abertas e ainda conectadas (conhecidas como valvas em "borboleta") ou completamente separadas (desarticuladas). Valvas articuladas e fechadas indicam soterramento muito rápido (altas taxas de sedimentação) e/ou ambientes de baixa energia, anóxicos (com muito pouco ou sem oxigênio) e com temperaturas baixas. Valvas articuladas, mas abertas, sugerem soterramento rápido, e valvas desarticuladas estão associadas AA taxas de sedimentação lentas (com maior tempo de exposição entre a morte dos organismos e o seu soterramento) e/ou a ambientes de maior energia, como o marinho raso. A preservação de esqueletos multielementos (como de equinodermos e triobitas) articulados indica soterramento muito rápido, no intervalo de tempo de algumas horas a poucos dias.

Figura 8. Exemplo de uma sequência de desarticulação em biválvios recentes; (A) valvas articuladas e fechadas, (B) valvas articuladas e parcialmente abertas, (C) valvas em "borboleta" (abertas e ainda conectadas), e (D) valvas completamente desarticuladas.

Figura 9. À esquerda (A), o trilobita *Burmeisteria notica* totalmente articulado (Devoniano da Bacia do Paraná, número 55-I da coleção do DNPM/RJ, com 14 cm de comprimento). À direita (B), cinco céfalos desarticulados da mesma espécie (Devoniano da Bacia do Parnaíba, número 5006-I, da mesma coleção). Fotos: (A) modificada de Lima (1989) e (B) Luiza Ponciano.

Figura 10. Fósseis de braquiópodes terebratulídeos articulados do afloramento Oiti (Devoniano, Bacia do Parnaíba, Piauí). Coleção Fósseis Paleozoicos da UNIRIO (número 455-BQ). Escala = 1 cm. Fotos: Luiza Ponciano.

(2) Fragmentação (Figuras 11 e 12)

Bioclastos fragmentados indicam transporte e/ou retrabalhamento por processos físicos (como correntes e ondas) em ambientes de alta energia, mas também estão vinculados a processos químicos e biológicos. A união destes processos é especialmente favorável ao aumento da frequência desta assinatura, como no caso de bioclastos que sofrem transporte ou retrabalhamento após terem sido enfraquecidos previamente por bioerosão, dissolução e outros processos. O grau de fragmentação normalmente é maior em ambientes de alta energia, como o marinho raso. Devido à ação das ondas, o choque entre os bioclastos e destes com as outras partículas sedimentares (como os grãos de areia) favorece o aumento da fragmentação, durante o retrabalhamento ou transporte por tração junto ao fundo. Esqueletos inteiros ou pouco fragmentados, especialmente aqueles mais delicados, como os dos equinodermos e briozoários, indicam soterramento muito rápido e/ou ambientes de baixa energia (águas calmas, protegidas e/ou mais profundas). A fragmentação também pode indicar predação, devido ao esmagamento e quebra das conchas por organismos durófagos (como caranguejos e peixes). Portanto, esta assinatura é utilizada para inferir o grau de transporte e/ou retrabalhamento dos bioclastos, o grau de energia e as taxas de sedimentação do ambiente e a ocorrência de predação. A fragmentação também pode sofrer influência da compactação dos sedimentos e da bioturbação dos depósitos por outros organismos.

Figura 11. Diversos estágios de fragmentação do braquiópode ***P****leurochonetes comstocki*, em amostra coletada no afloramento Oiti (Devoniano, Bacia do Parnaíba, Piauí). Coleção Fósseis Paleozoicos da UNIRIO (número 05-BQ). Escala = 1 cm. Foto: Luiza Ponciano.

Figura 12. Fragmentos de diversos tamanhos de trilobitas, moluscos, briozoários e braquiópodes do Ordoviciano. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Escala = 5 cm. Foto: Luiz Flávio Lopes.

(3) Seleção (Figura 13)

A seleção preferencial de classes de tamanhos e/ou de tipos de valvas sugere exposição dos bioclastos na interface sedimento-água, sendo originada por processos físicos (seleção hidráulica por ondas ou correntes durante o transporte ou retrabalhamento), químicos (dissolução) ou biológicos (ver abaixo). É uma assinatura utilizada para inferir a energia do ambiente e as taxas de sedimentação. A ausência de seleção indica um ambiente calmo (de baixa energia), onde os bioclastos não teriam sofrido transporte significativo, mas também pode estar relacionada com o soterramento rápido, devido às altas taxas de sedimentação. A seleção também é influenciada pela susceptibilidade diferencial dos restos orgânicos a fragmentação, abrasão e dissolução. Portanto, diversas características têm de ser observadas, como o tamanho, densidade, formato, espessura e composição mineralógica dos bioclastos (por exemplo, as conchas aragoníticas são menos estáveis que as calcíticas, e o carbonato de cálcio se dissolve quando o pH é menor que 7, ou seja, em ambientes ácidos). Processos bióticos, como a destruição seletiva por predadores, o tipo de hábito de vida dos organismos (isolado ou em grupos) e/ou o transporte diferencial dos bioclastos por organismos como peixes, caranguejos e pássaros (inclusive através de pelotas fecais), também devem ser considerados.

Figura 13. Laje repleta de valvas de braquiópodes com tamanhos muito similares (afloramento Oiti, Devoniano, Bacia do Parnaíba, Piauí), evidenciando a seleção por tamanho. Coleção Fósseis Paleozoicos da UNIRIO (número 452-BQ). Escala = 1 cm. Foto: Luiza Ponciano.

(4) Orientação em planta (Figuras 14 e 15)

A orientação em planta está relacionada com o transporte e/ou retrabalhamento dos restos esqueléticos por processos físicos (como correntes e ondas) ou biológicos. Pode ser classificada como polimodal, unimodal ou bimodal, segundo a proposta de Kidwell *et al*. (1986). Os fósseis mais adequados para este tipo de análise apresentam conchas alongadas, como alguns biválvios, gastrópodes e tentaculitídeos. A orientação unimodal (todos os ápices voltados num mesmo sentido) está relacionada a correntes unidirecionais em ambientes fluviais, deltaicos e marinhos rasos. Correntes bidirecionais, como as ondas (fluxo oscilatório) e marés em ambientes marinhos produzem orientação bimodal, com os ápices apontando em sentidos opostos e perpendiculares à direção da corrente. Já a orientação polimodal (ápices das conchas orientados em vários sentidos) pode estar relacionada com um soterramento muito rápido ou com a bioturbação dos depósitos, a ação de correntes de turbidez ou a ação de correntes com velocidades baixas, que não foram suficientes para reorientar a posição original dos bioclastos.

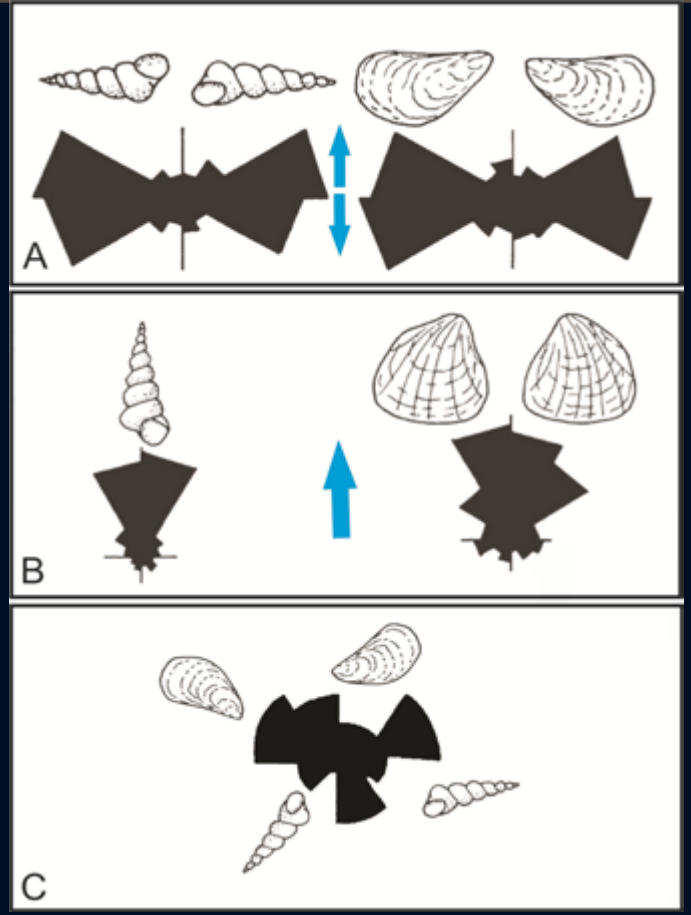


Figura 14. Padrões de orientação em planta dos bioclastos (gastrópodes e biválvios). As setas apontam os sentidos de propagação das ondas (A) e das correntes unidirecionais (B). (A) orientação bimodal; (B) orientação unimodal; e (C) orientação polimodal. Modificado de Allen (1990).

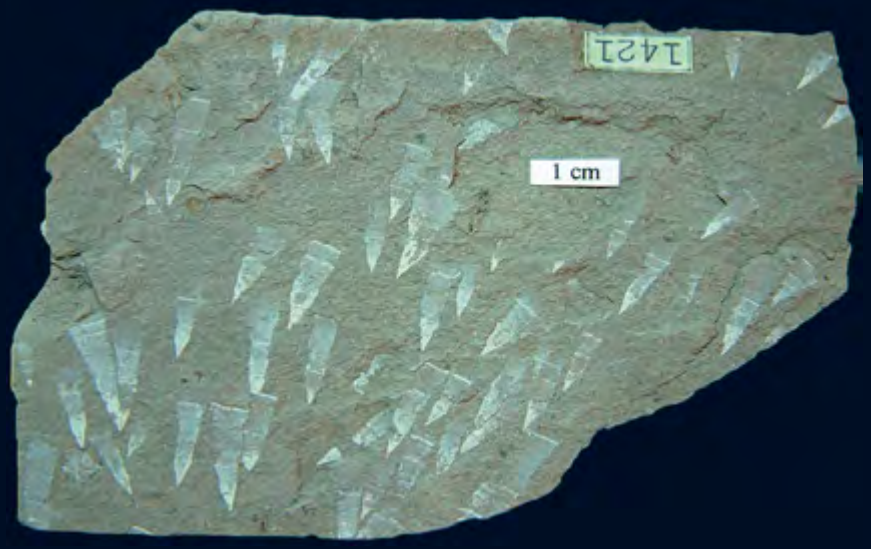


Figura 15. Valvas de moluscos gastrópodes *Praehyalocylis maxima*, do Oligoceno da Alemanha, com orientação unimodal. Fonte: Cahuzac & Janssen (2010) - http://goo.gl/aqs1aV.

(5) Orientação em seção (Figura 16)

A orientação em seção está relacionada com o transporte e/ou retrabalhamento dos restos esqueléticos por processos físicos (como correntes e ondas) ou biológicos. Pode ser classificada como concordante, oblíqua e perpendicular, segundo a proposta de Kidwell *et al*. (1986). A orientação predominantemente concordante é característica de concentrações fossilíferas formadas em condições turbulentas, com o retrabalhamento e redeposição dos bioclastos através de decantação. Também pode ser relacionada com a compactação dos sedimentos ou com a posição original de vida dos organismos. As orientações oblíqua e perpendicular podem indicar modificações na orientação dos bioclastos por predadores, necrófagos, bioturbação ou a manutenção da posição de vida, caso seja compatível (como nos biválvios escavadores). Também podem representar posturas de escape ou estarem relacionadas com a reorientação de grandes acúmulos de bioclastos por correntes unidirecionais ou ondas. Bioclastos imbricados sugerem a influência de correntes unidirecionais, enquanto bioclastos aninhados indicam a ação de ondas.

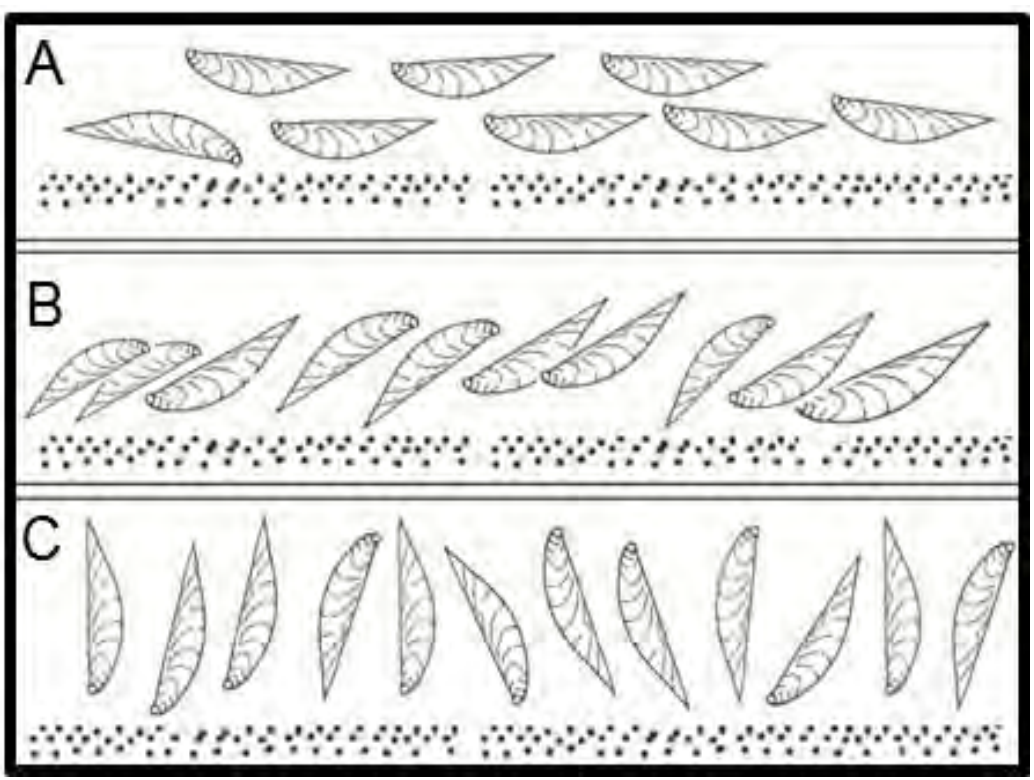


Figura 16 . Bioclastos com orientação em seção (A) concordante; (B) oblíqua e (C) perpendicular.

(6) Posicionamento da concavidade (Figuras 17 e 18)

O predomínio de bioclastos com a concavidade para cima (posição hidrodinamicamente instável) é uma feição característica de concentrações fossilíferas formadas em condições turbulentas, com a redeposição dos bioclastos por decantação. Entretanto, em alguns casos, a concavidade para cima pode estar relacionada com a posição original de vida de alguns braquiópodes. Bioclastos com a concavidade para baixo indicam reorientação por correntes de fundo para esta posição mais estável, mas também podem representar a posição original de vida dos organismos. A ausência de uma orientação preferencial da concavidade dos bioclastos pode ser correlacionada com bioturbação dos depósitos ou com correntes de velocidades muito baixas.

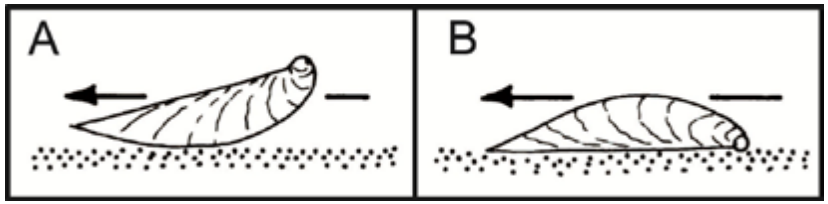


Figura 17. (A) Bioclasto com a concavidade para cima (posição hidrodinamicamente instável) e (B) bioclasto com a concavidade para baixo, após sofrer reorientação pelas correntes de fundo. Modificado de Allen (1990).

Figura 18. Moluscos biválvios *Nuculites pacatus* (Devoniano da Bacia do Paraná), com as valvas posicionadas com a concavidade para baixo. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

(7) Estado das bordas (Figura 19)

O estado das bordas está relacionado com o tempo e a frequência de exposição dos bioclastos na interface sedimento-água, além de com o grau de energia do ambiente. Bioclastos com bordas arredondadas são indicadores de abrasão e/ou dissolução, sendo resultantes de retrabalhamento em ambientes de alta energia com um acentuado grau de transporte e/ou tempo de exposição. De outro modo, bioclastos com bordas sem modificações aparentes ou angulosas sugerem ausência ou baixo grau de abrasão e/ou dissolução, podendo indicar rápido soterramento após a morte ou baixo grau de transporte e retrabalhamento. A bioerosão também pode ocasionar o arredondamento das bordas dos bioclastos. Bordas angulosas também podem ser oriundas de processos biológicos, como predação e bioturbação. O estado das bordas também estaria relacionado com o tipo de transporte dos bioclastos. Bioclastos de maior densidade e tamanho, cujo tipo de transporte predominante é por tração, mostram maior arredondamento das bordas. Já a suspensão, tipo dominante de transporte em bioclastos menores e menos densos, resulta em bordas sem modificações aparentes ou angulosas. Esta correlação entre a densidade e o tamanho/formato dos bioclastos com o tipo de transporte e o estado das bordas foi observada nas concentrações de invertebrados do Devoniano da Bacia do Parnaíba (Ponciano, 2009; Ponciano *et al*., 2012).

Figura 19. Exemplos de estados das bordas em biválvios recentes; (A) bordas com poucas modificações aparentes (bem preservadas); (B) bordas angulosas e (C) bordas arredondadas. Fotos: Luiza Ponciano.

(8) Incrustação (Figura 20)

Ocorre devido à infestação dos restos esqueléticos por organismos incrustantes como briozoários, algas e serpulídeos (vermes marinhos), sendo relacionada com a exposição dos bioclastos na interface sedimento-água, com a quantidade de nutrientes disponíveis e com os tipos de substratos presentes no fundo do mar. A incrustação pode ocorrer antes da morte, quando encontrada somente nas superfícies externas dos organismos, ou após a morte, quando presente nas superfícies internas e/ou externas. Trabalhos mais antigos indicavam as incrustações como evidência de um longo tempo de exposição na interface sedimento-água. Entretanto, novas pesquisas com restos de invertebrados recentes sugerem que a incrustação é adquirida no breve intervalo entre a morte e o soterramento inicial dos organismos. A presença de incrustação também estaria relacionada com o tamanho dos bioclastos (Kidwell *et al*., 2001), hipótese corroborada nos fósseis brasileiros pela presença de incrustações somente nas maiores valvas (com cerca de 20 a 40 mm de largura) de braquiópodes devonianos da Bacia do Parnaíba (Ponciano *et al*., 2012).

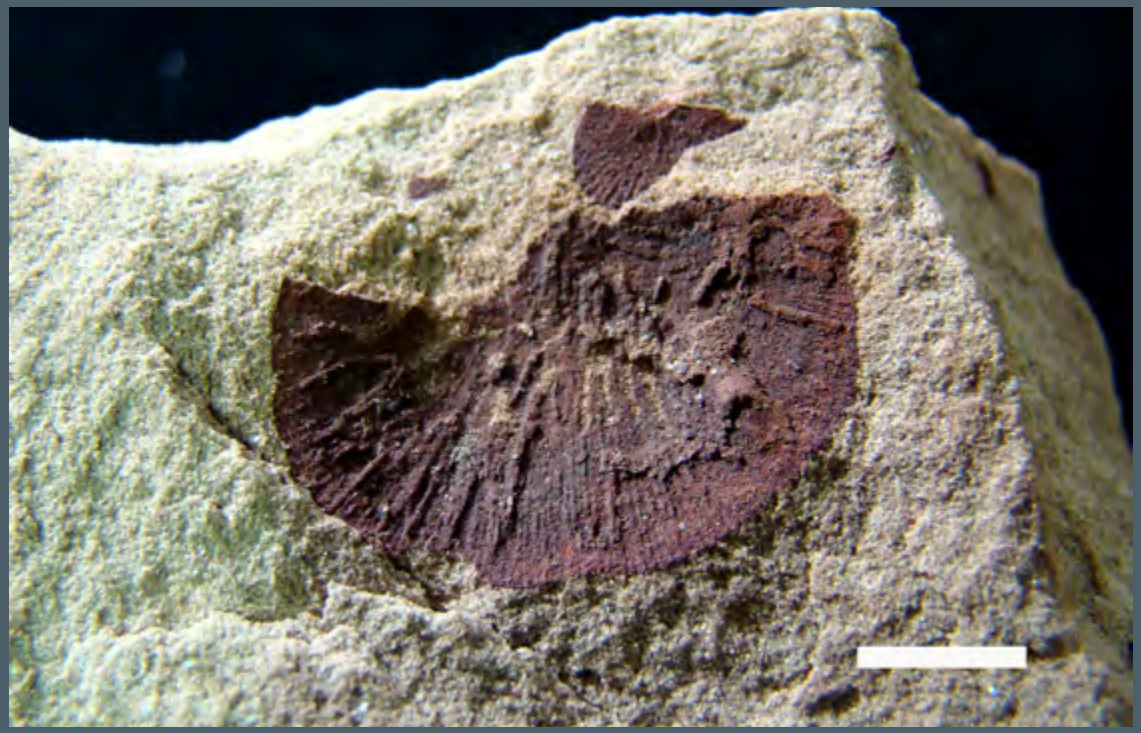


Figura 20. Incrustação em valva ventral do braquiópode *Pleurochonetes comstocki*, oriunda do afloramento Oiti (Devoniano, Bacia do Parnaíba, Piauí). Coleção Fósseis Paleozoicos da UNIRIO (número 444-BQ). Escala = 1 cm. Foto: Luiza Ponciano.

(9) Bioerosão (Figura 21)

Ocorre devido à infestação dos restos esqueléticos por esponjas, foraminíferos e diversos outros organismos perfuradores e predadores, como gastrópodes **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**. Evidências de bioerosão intensa são consideradas indicativas de bioclastos que permaneceram expostos durante um tempo significativo na interface sedimento-água, e também estão relacionadas com a quantidade de nutrientes disponíveis e com os tipos de substratos presentes no fundo do mar. A bioerosão pode ocorrer antes (perfurações incompletas de gastrópodes) ou após a morte dos organismos, e neste segundo caso estudos recentes sugerem que a bioerosão pode ser adquirida rapidamente no breve intervalo entre a morte e o soterramento inicial dos organismos, assim como a incrustação.

Figura 21. Exemplos de bioerosão em biválvios recentes. Foto: Luiza Ponciano.

RESOLVENDO O ENIGMA

Como vimos acima, cada assinatura tafonômica pode ser correlacionada com diversos processos físicos, químicos ou biológicos, sugerindo várias causas para a origem da assinatura em análise. Portanto, isoladamente elas não fornecem informações objetivas, apontando inclusive para diferentes direções.

Podemos comparar as assinaturas tafonômicas com os instrumentos de uma orquestra sinfônica, ou de uma banda de rock. Quando tocados separadamente, os sons de cada instrumento podem parecer estranhos e a música não é identificada claramente. É preciso que um conjunto de instrumentos seja tocado ao mesmo tempo para se atingir o resultado desejado, ou seja, a música completa.

Da mesma forma, a análise das assinaturas tafonômicas tem de ser realizada de forma combinada, a fim de proporcionar evidências confiáveis para a interpretação da origem das concentrações fossilíferas e do ambiente deposicional associado aos restos orgânicos. Portanto, respondendo à pergunta acima, só uma ou duas assinaturas geralmente não são suficientes para resolver os enigmas das conchas. Além disso, a escolha do melhor conjunto de assinaturas para fazer este tipo de estudo irá variar de acordo com o tipo de material.

São muitas informações e variáveis, mas nenhuma investigação interessante é resolvida facilmente, não é mesmo? Então vamos lá, que tal aproveitar o próximo passeio à praia ou outro lugar que tenha conchas e outros restos de invertebrados para começar a sua própria investigação?

REFERÊNCIAS

ALLEN, J. R. L. 1990. Transport - Hydrodynamics - shells. In: D. E. G. BRIGGS & P.R. CROWTHER (eds.). Palaeobiology: a synthesis. London: Blackwell, p. 227-230.

BOSETTI, E. P.; PEYERL, D.; HORODYSKI, R. S. & ZABINI, C. 2007. Formação Ponta Grossa: História, Fácies e Fósseis. In: I SIMPÓSIO DE PESQUISA EM ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA e III SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ENSINO E GEOLOGIA NO BRASIL, Anais, Campinas: Unicamp, p. 353-360.

BRETT, C.E.; BAIRD, G.C. 1986. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. Palaios 1: 207-227.

CARVALHO, M. G. P.; EDGECOMBE, G. D. & LIEBERMAN, B.S. 1997. Devonian calmoniid trilobites from the Parnaiba Basin, Piaui State, Brazil. American Museum Novitates 3192: 1-11.

DAVIES, D. J.; POWELL, E. N. & STANTON, R. J Jr. 1989. Taphonomic signature as a function of environmental process: shells and shell beds in a hurricane-influenced inlet on the Texas coast. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 72: 317-352.

FONSECA, V. M. M. & MELO, J. H. G. 1987. Ocorrência de Tropiloleptus carinatus (Conrad) (Brachiopoda, Orthida) na Formação Pimenteira, e sua importância paleobiogeográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, Rio de Janeiro. Anais Rio de Janeiro: SBP, p. 505- 537.

FONSECA, V. M. M. 2004. Chonetoidea (Brachiopoda) do Devoniano Médio das Bacias do Amazonas e Parnaíba, Brasil. Archivos do Museu Nacional, 62: 193-215.

FONSECA, V. M. M. & PONCIANO, L. C. M. O. 2011. Braquiópodes do Devoniano Médio das Bacias do Amazonas e Parnaíba. In: CARVALHO, I. S. et al. (orgs.). Paleontologia: Cenários de Vida. Rio de Janeiro: Interciência, v. 4, p. 169-190.

KIDWELL, S. M.; FURSICH, F. T. & AIGNER, T. 1986. Conceptual framework for the analysis of fossil assemblages. Palaios 1: 28-238.

KIDWELL, S.M. 1991. The stratigraphy of shell concentrations. In: P.A. ALLISON & D.E.G. BRIGGS (eds.). Taphonomy - Releasing the data locked in the fossil record. Topics in Geobiology, Plenum Press, New York, v.9, p. 211-290.

KIDWELL, S. M. & BOSENCE, D. W. J. 1991. Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. In: P.A. ALLISON & D.E.G. BRIGGS (eds.). Taphonomy - Releasing the data locked in the fossil record. Topics in Geobiology, Plenum Press, New York, v.9, p. 115- 209.

KIDWELL, S. M.; ROTHFUS, T. & BEST, M. M. R. 2001. Sensitivity of taphonomic signatures to sample size, sieve size, damage scoring system, and target taxa. Palaios 16: 26-52.

KUNZLER, J.; FERNANDES, A. C. S.; FONSECA, V. M. M.; JRAIGE, S. & PONCIANO, L. C. M. O. 2011. Do acaso à relevância: a primeira coleta de fósseis devonianos do flanco norte da Bacia do Paraná. In: I. S. CARVALHO et al. (orgs.). Paleontologia: Cenários de Vida. Rio de Janeiro: Interciência, v. 4, p. 765-773.

LIMA, M. R. 1989. Fósseis do Brasil. Editora da Universidade de São Paulo, 119p.

MELO, J. H. G. 1988. The Malvinokaffric Realm in the Devonian of Brazil. In: N .J. MCMILLAN; A. F. EMBRY & D. J. GLASS (eds.). Devonian of the World. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, Calgary, v.14, n. 1, p. 669-703.

PONCIANO, L. C. M. O. & MACHADO, D. M. C. 2007a. Macroinvertebrados da Formação Maecuru (Devoniano, Bacia do Amazonas, Brasil) - Considerações Tafonômicas. In: I. S. CARVALHO et al. (orgs.). Paleontologia: Cenários de Vida. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, p. 131-137.

PONCIANO, L. C. M. O. & MACHADO, D. M. C. 2007b. Hábitos de vida da associação Schuchertella agassizi – Pthychopteria eschwegei, Formação Maecuru, Devoniano, Bacia do Amazonas, Brasil. Anuário do Instituto de Geociências 30: p.129-138.

PONCIANO, L. C. M. O. 2009. Tafofácies da Formação Cabeças, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 100 p.

PONCIANO, L. C. M. O.; FONSECA, V. M. M.; FERNANDES, A. C. S.; MACHADO, D.M. C. & SOUZA, A. R. 2010. Afloramento Fossilífero de Oiti, Bacia do Parnaíba, PI - Registro de um mar devoniano no Nordeste do Brasil. In: M. WINGE et al. (orgs.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, vol. 3. Disponível em: http://vsites.unb.br/ig/ sigep/sitio051/sitio051.pdf

PONCIANO, L. C. M. O. 2011. Fósseis devonianos da Bacia do Amazonas. Florianópolis: Bookess editora, 1ª ed., 144 p. Disponível em: http://www.bookess.com/ read/4135-fosseis-devonianos-da-bacia-do-amazonas

PONCIANO, L. C. M. O.; FONSECA, V. M. M. & MACHADO, D. M. C. 2012. Taphofacies analysis of late early Givetian fossil assemblages of the Parnaíba Basin (State of Pi¬auí, northeast Brazil). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 326-328: 95-108.

SCHEFFLER, S. M. & FERNANDES, A. C. S. 2007. Crinoidea da Formação Ponta Grossa (Devoniano, Bacia do Paraná), Brasil. Arquivos do Museu Nacional 65 (1): 83-98.

SIMÕES, M. G. & HOLZ, M. 2004. Tafonomia: Processos e ambientes de fossilização. In: I. S. CARVALHO (ed.). Paleontologia. 1ª ed., Rio de Janeiro: Interciência, p. 19-46.

SPEYER, S. E. & BRETT, C. E. 1986. Trilobite taphonomy and Middle Devonian taphofacies. Palaios 1:312-327.

SPEYER, S. E. & BRETT, C. E. 1988. Taphofacies models for epeiric sea environments: middle Paleozoic examples. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology

63:225–262.
SPEYER, S. E. & BRETT, C. E. 1991. Taphonomic controls: background and episodic processes in fossil assemblage preservation. In: P.A. ALLISON & D.E.G BRIGGS, D.E.G. (eds.) Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record. New York: Plenum Press, p. 501-545.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Identificando as assinaturas tafonômicas

Decifrando as concentrações fossilíferas

Jogo Paleocombate

VOLTE AO SUMÁRIO

13

TAFONOMIA DE VERTEBRADOS: O ENIGMA DOS OSSOS

Cristina Bertoni-Machado

Neste capítulo, vamos tratar um pouco mais sobre a Tafonomia de Vertebrados – o estudo dos processos pelos quais os restos ósseos se transformam em fósseis –, importante ferramenta para a reconstrução de ambientes do passado.

Fósseis de vertebrados podem ser preservados nos mais diversos tipos de rochas, as quais são resultantes de diferentes tipos de ambientes do passado. Com exceção dos peixes, de alguns répteis aquáticos (como, por exemplo, mesossauros, tartarugas marinhas, plesiossauros e ictiossauros) e de pterosauros, que normalmente são preservados em ambiente marinho, a maior parte dos vertebrados ocorre em sistemas continentais. Desta forma, pacotes de rocha que representam antigos ambientes lacustres e fluviais serão excelentes locais para a busca de fósseis, já que os vertebrados terrestres dependem de água para viver, e, portanto, é natural encontrá-los próximos a corpos d'água.

De fato, nos sistemas continentais, os principais depósitos onde são encontrados restos de vertebrados fósseis são os depósitos fluviais. Por sua grande capacidade de erosão, transporte e deposição de sedimentos, os rios são os principais agentes transformadores da paisagem. Como transformam a paisa-

gem, alteram também o que está sobre ela, incluindo aí os restos orgânicos depositados nos sedimentos característicos do sistema fluvial. Deste modo, a tafonomia de vertebrados está intimamente relacionada com a dinâmica dos sistemas fluviais, principalmente no que diz respeito às questões do transporte e do intemperismo.

Os sistemas fluviais podem apresentar diversas classificações de acordo com a morfologia, mas, de forma geral, eles apresentam quatro principais ambientes deposicionais **(Figura 1)**: o canal, a margem do canal, a planície proximal e a planície distal.

O que acontece em termos de deposição de sedimentos nos diversos ambientes fluviais afetará diretamente a preservação dos organismos (lembrando que para um resto orgânico se tornar um fóssil ele precisa ser soterrado!). Em dias "normais", o transporte e a deposição de sedimentos ocorrem nos canais e nas margens dos canais dos rios, sendo que as planícies permanecem muito tempo expostas, sem que nenhum sedimento chegue até elas. Nos eventos episódicos, como as grandes enchentes (eventos que realmente carregam bastante sedimento, o suficiente para soterrar diversos restos orgânicos), o excesso de sedimento transportado pelo rio extravasa e acaba sendo depositado na planície.

Em geral, podemos relacionar as feições tafonômicas com o ambiente deposicional fluvial. Portanto, algumas assinaturas tafonômicas são esperadas para cada tipo de ambiente **(Quadro 1)**.

Figura 1. Principais ambientes de deposição de sedimentos num sistema fluvial. Fonte: www.faculty.gg.uwyo.edu.

Quadro 1. Ambiente deposicional e características tafonômicas gerais das assembleias fossilíferas encontradas (com base em Behrensmeyer & Hook, 1992).

Contexto ambiental	Características tafonômicas
Canal	Ocorrência comum de vertebrados articulados e desarticulados
Margem	Ocorrência incomum de vertebrados; quando ocorrem estão desarticulados
Planície de inundação	Nos sedimentos mal drenados ocorrem peixes desarticulados e tetrápodes articulados, enquanto na planície bem drenada ocorrem tetrápodes tanto articulados quanto desarticulados; é comum a evidência de necrofagia/carnivoria.

Nota-se que a relação entre o sistema fluvial e a preservação dos vertebrados é bastante intrínseca e pode ser resumida da seguinte maneira: os rios alteram a paisagem e, por consequência, tudo que está nela. As carcaças de vertebrados terão sido mais ou menos transportadas de acordo com a proximidade do canal e da época em que este rio está (normal ou de enchentes); o intemperismo será maior em épocas normais, pois os ossos ficarão mais tempo expostos na planície antes de serem soterrados.

Assim, na situação normal o transporte estará mais restrito aos animais que estiverem incorporados ao canal, enquanto nas planícies o principal agente tafonômico será o intemperismo. Já em épocas de enchentes, todo o sistema será alterado pela grande quantidade de sedimentos que chegarão junto com a corrente hidráulica, e ocorrerá transporte tanto nos organismos que estiverem no canal, quanto nos que estiverem depositados nas planícies.

VERTEBRADOS X TRANSPORTE

É sabido que a desarticulação de um organismo e o transporte sofrido por seus restos estão intimamente relacionados, uma vez que muitas vezes o transporte se inicia quando a desarticulação ainda não terminou. Torna-se importante salientar, então, que nem sempre um baixo grau de desarticulação significa pouco transporte.

O que ocorre, às vezes, é que carcaças inchadas pelos gases da putrefação, que ainda não tiveram os tecidos rompidos e se encontram cheias de gás no seu interior (o que diminui a densidade), são incorporadas pela carga do canal e podem ser transportadas por longas distâncias antes que estes gases escapem e a carcaça afunde. As **figuras 2** e **3** referem-se a casos atuais que ilustram este tipo de fenômeno.

É bastante importante observar processos deste tipo já que, muitas vezes, organismos são encontrados bem longe do seu verdadeiro habitat e caso o transporte não seja levado em consideração o paleontólogo poderá interpretar erroneamente a presença de determinado fóssil em um ambiente.

Mas como podemos identificar as chamadas carcaças d'água?

Figura 2. Em outubro de 2006, mais de 30 toneladas de peixes foram transportadas para as margens do Rio dos Sinos, na região metropolitana de Porto Alegre, RS. Fonte: http://goo.gl/LBKlE9.

Figura 3. Em janeiro de 2010, 38 carcaças inchadas de porcos foram encontradas nas praias da zona sul de Porto Alegre (Praia do Lami, na foto). Estes porcos morreram devido a uma grande enchente que fez o rio Taquari transbordar, inundando suas margens. As carcaças foram transportadas por muitos quilômetros. Fonte: http://goo.gl/fxjxhc).

Em geral, carcaças que foram soterradas sem terem sido transportadas mostram a típica curvatura cervical **(Figura 4)**. Esta feição ocorre logo após a morte devido à contração dos tendões causada pela desidratação do corpo. Já em carcaças transportadas em meio aquático, observa-se um modo caótico na disposição do esqueleto, sem sinais de contração de tendões. Isso ocorre porque, quando os gases de putrefação escapam da carcaça, o organismo afunda e a preservação ocorre do jeito que a carcaça se acomodou no fundo do corpo d'água, aleatoriamente **(Figura 5)**.

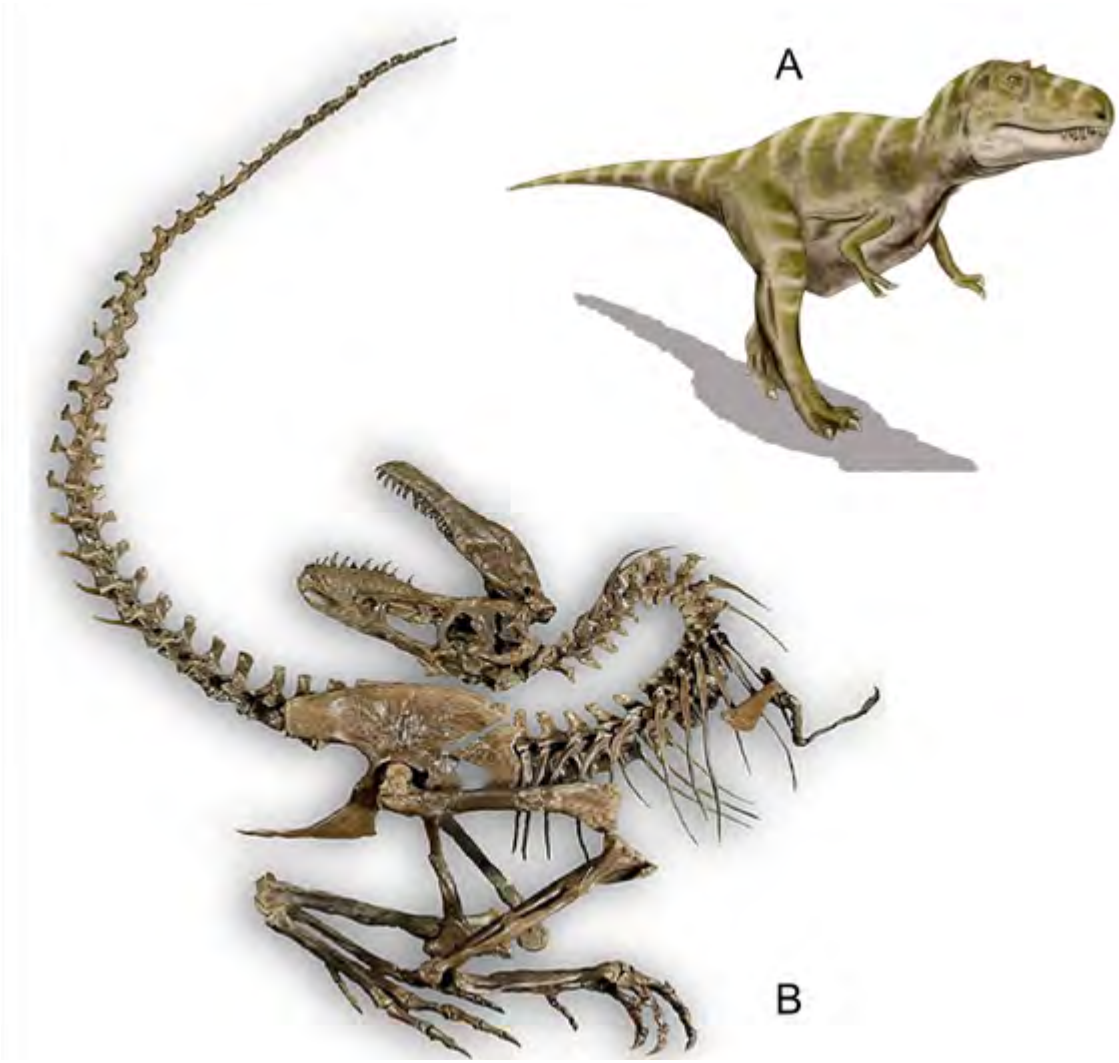


Figura 4. *Gorgosaurus*, um dinossauro carnívoro parente do *Tyrannosaurus*. Em (A), sua reconstrução em vida, em (B), esqueleto fossilizado. Este espécime de dinossauro apresenta uma curvatura cervical bastante comum em carcaças preservadas sem terem sofrido transporte. Modificado de http://goo.gl/GSL7Zg e de http://goo.gl/bgO1ut.

O leitor poderá observar, portanto, que, apesar de algumas pistas que as carcaças fornecem, não é fácil identificar se um esqueleto foi ou não transportado antes de ser soterrado. Mas, pelo menos, ele terá em mente que se deve ter cuidado ao fazer certas especulações a respeito do habitat onde o animal vivia, já que muitas vezes podemos nos equivocar dizendo que um determinado organismo vivia num determinado ambiente só por ter sido encontrado lá, mas não necessariamente quer dizer que ele vivia ali!

Depois de totalmente desarticulado, um esqueleto resume-se a um conjunto de ossos isolados, os quais podem também ser submetidos a transporte. Para começar a elucidar a questão da transportabilidade dos ossos isolados na água, um pesquisador chamado Voorhies (1969) estudou de que forma ossos de mamíferos se comportavam quando transportados em um canal fluvial. Atrás de sua casa corria um rio, e este pesquisador resolveu jogar esqueletos completos, mas já sem seus tecidos conectivos, no canal deste rio, e observar quais elementos eram mais transportados e quais eram menos. Desta maneira, ele chegou a um padrão conhecido até hoje como Grupos de Voorhies **(Quadro 2)**. Como resultado de suas observações, ele estabeleceu três grupos. No Grupo I encontram-se os elementos removidos quase imediatamente pela corrente, sendo compostos por falanges, carpais (ossinhos das mãos) e tarsais (ossinhos dos pés), e ossos porosos como o esterno e as vertebrais sacrais. No Grupo II se encontram os restos removidos aos poucos, como os fêmures, úmeros, tíbias, fíbulas e costelas. Por fim, no Grupo III estão os chamados "depósitos residuais", compostos por elementos pesados e pouco transportáveis como o crânio e a mandíbula.

Figura 5. Rincossauro do Triássico do Rio Grande do Sul, que foi transportado como carcaça d'água. Esp[ecime depositado no Museu Padre Daniel Cargnin, Mata, RS. Observar a posição caótica do esqueleto. Foto: Marcel Santos.

Quadro 2. Grupos de Voorhies, característicos de concentrações por transporte hidráulico.

GRUPO	ELEMENTOS
I	Falanges, ulnas, rádios, esterno, tarsais, carpais e vértebras
II	Úmero, fêmur e costelas
III	Crânio, mandíbula e dentes

Desta maneira, a análise dos Grupos de Voorhies é de fundamental importância para aclarar a questão da transportabilidade seletiva dos ossos. Concentrações cujo maior número de ossos pertence ao Grupo I englobam elementos muito transportados, geralmente alóctones, o que dificulta muito qualquer inferência sobre o habitat dos animais.

As concentrações ricas em elementos esqueléticos do Grupo II podem apresentar algum grau de aloctonia, mas não tanto a ponto de não se poder especular sobre o local onde o animal vivia.

Já as caracterizadas por restos do Grupo III, por serem depósitos residuais, não devem ter sofrido transporte e muito provavelmente são autóctones.

Portanto, para se entender de que forma uma determinada concentração fossilífera foi formada pela ação do transporte seletivo, o tafônomo deverá tentar, ao menos, verificar se, na sua assembleia fossilífera em análise, há uma separação dos restos segundo os Grupos de Voorhies. Um exemplo prático é apresentado aqui, publicado por **Bertoni-Machado e colaboradores** em 2010.

Na região de Candelária, RS, encontrou-se uma tafocenose formada quase que exclusivamente por crânios e mandíbulas de cinodontes **(Figuras 6 e 7)**.

A preparação do material em laboratório revelou uma assembleia monotípica, formada exclusivamente por espécimes do gênero *Massetognathus*, um cinodonte bastante comum em rochas triássicas do Brasil e da Argentina.

Os fósseis estavam concentrados em uma área de cerca de $1m^2$. Estes fósseis, pertencentes ao Grupo I de Voohries, caracterizavam-se por serem elementos pouco transportáveis. Além disso, estavam inseridos em uma rocha de granulação muito fina, um pelito, que é indicativa de ausência de transporte hidráulico **(ver capítulo TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?)**.

Descartada a acumulação por transporte fluvial, a conclusão dos autores apontou para uma assembleia fóssil produzida por um agente biogênico, como um predador ou um animal carniceiro que se alimentava desses cinodontes e acumulava as carcaças em uma área preferencial de alimentação (provavelmente uma região de planície próxima a um rio – ver **figura 1**). Depois de se alimentar das partes mais nutritivas (membros, vísceras), sobravam as partes menos "palatáveis", como crânios e mandíbulas. Estes ficaram acumulados na planície, sendo soterrados posteriormente por lama e transformando-se em fósseis.

Figura 6. À esquerda, equipe do Laboratório do Setor de Paleovertebrados da UFRGS, finalizando a coleta do bloco contendo os fósseis; à direita, bloco já aberto mostrando todos os restos ósseos identificados (numerados). Fotos: Cristina Bertoni-Machado.

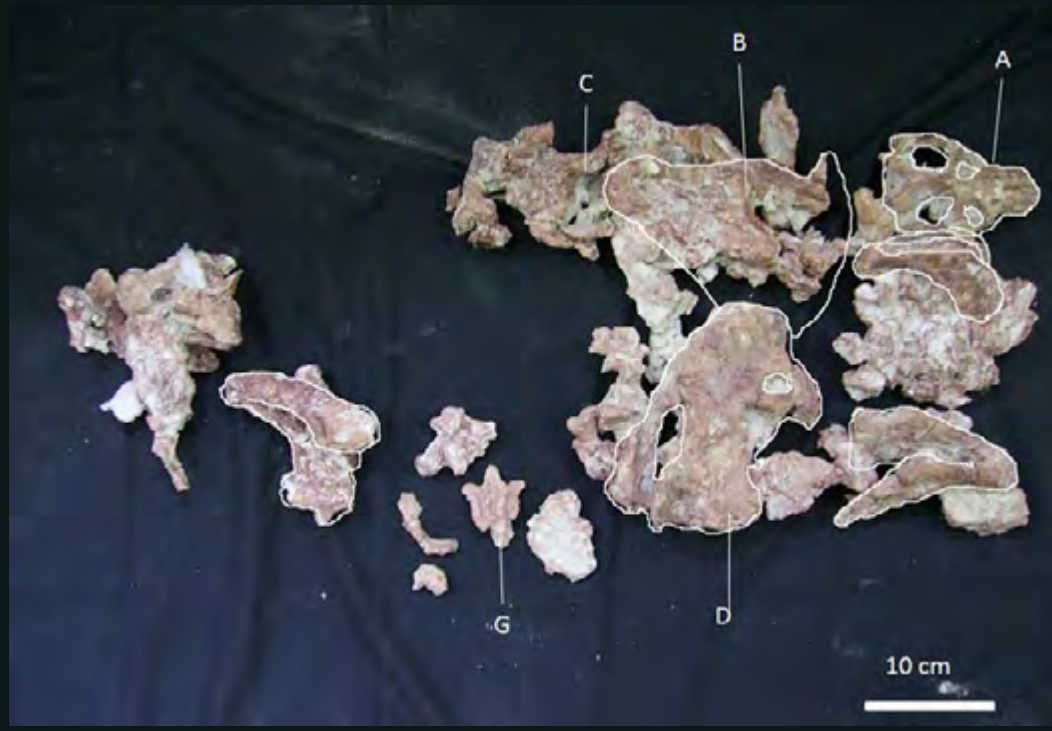


Figura 7. Espécimes de *Massetognathus* previamente preparados. As letras A até G indicam crânios e mandíbulas. Fotos: Felipe Kislowski.

VERTEBRADOS X DESARTICULAÇÃO

A sequência de desarticulação é um fator importante na análise da história tafonômica de um vertebrado, e esta é determinada pelo tipo de articulação do elemento ósseo no esqueleto. Em vertebrados, a sequência normal de desarticulação, segundo Toots (1965), segue a seguinte ordem **(Figura 8)**:

1º) desconexão do crânio da coluna vertebral;
2º) desencaixe da mandíbula;
3º) desconexão das cinturas pélvica e escapular;
4º) desconexão dos membros em ossos isolados;
5º) desencaixe das costelas;
6º) desarticulação da coluna vertebral.

Ao final das etapas acima resumidas, o fator intemperismo e as várias fraturas decorrentes deste processo começam a predominar sobre as etapas da desarticulação.

Em termos gerais, o que ocorre antes que o intemperismo comece a atuar são alterações na sequência normal de desarticulação esqueletal. Os fatores alteradores mais comuns são a ação de carnívoros/necrófagos, que arrancam pedaços da carcaça, o pisoteamento do esqueleto por outros animais, ou, ainda, o soterramento total (que impede que o esqueleto se desarticule) ou o soterramento

parcial (onde a porção soterrada se mantém conectada, enquanto aquela exposta à superfície se desarticula).

A importância da análise do grau de desarticulação se dá pelo fato de que, em geral, restos esqueletais com um baixo grau de desarticulação indicam pouco tempo decorrido entre a morte e o soterramento final, enquanto um maior grau de desarticulação indica maior tempo decorrido entre estas duas etapas.

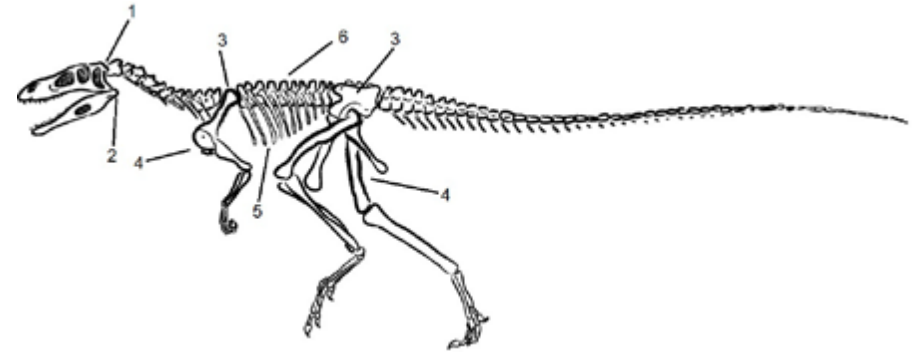


Figura 8. Desenho de esqueleto de dinossauro mostrando a ordem das etapas de desarticulação (1 a 6), segundo Toots (1956).

VERTEBRADOS X INTEMPERISMO

Os ossos, quando expostos, se decompõem, e sua destruição faz parte do ciclo natural de reciclagem de nutrientes pelo solo. A chance de um osso virar um fóssil depende da intensidade dos processos destrutivos e da sorte de ser soterrado antes da completa destruição **(Figura 9)**. O conjunto de processos físico-químicos pelos quais os ossos expostos passam quando estão na superfície chama-se intemperismo.

Poucos são os trabalhos sobre intemperismo nos ossos, sendo esta uma das características tafonômicas menos observadas quando se analisam assembleias fósseis. Um trabalho clássico é o de Behrensmeyer (1978), que propôs os seguintes estágios de intemperismo (F**igura 10)**.

Estágio 0 (zero): as superfície do osso não apresenta sinais de rachaduras nem de lascas. Geralmente os ossos estão frescos, com restos de tecidos moles nas cavidades e pele ou restos de ligamentos e músculos recobrindo a superfície do osso;

Figura 9. Esqueleto totalmente desarticulado de mamífero atual, exposto ao ambiente, e vulnerável a pisoteamento e intemperismo. Na fase anterior, de necrólise, organismos necrófagos devem ter alterado a sequência normal de desarticulação da carcaça. Por estar distante de um corpo d'água, a chance de ter sido soterrado foi praticamente nula. Foto: Cristina Bertoni-Machado.

Estágio 1: ossos começam a apresentar rachaduras. Gordura, pele e outros tecidos podem não estar mais presentes;

Estágio 2: as camadas mais superficiais dos ossos começam a soltar lascas, associadas a rachaduras; pequenas lascas de ossos podem se soltar. Rachaduras mais profundas começam a se formar até a parte mais superficial dos ossos estar totalmente rachada. Pequenos pedaços remanescentes de ligamentos, cartilagem e pele podem ainda estar presentes;

Estágio 3: a superfície óssea é caracterizada por pedaços ásperos de osso compacto, com uma superfície fibrosa; nestes fragmentos todas as camadas externas e concêntricas de osso foram removidas e, gradualmente, toda a superfície do osso assume esta característica. O intemperismo não ultrapassa 1,5 mm da superfície do osso e as fibras ósseas ainda se encontram firmemente ligadas umas as outras. Tecidos moles são raros neste estágio.

Estágio 4: a superfície do osso se apresenta com uma textura fibrosa, ocorrem grandes e pequenas lascas que podem se soltar quando o osso é movido, e até as cavidades mais internas já se encontram intemperisadas.

Estágio 5: o osso está se desintegrando, com grandes lascas se soltando e sendo facilmente quebrado quando movido. A forma original do osso pode ser difícil de identificar.

Behrensmeyer (1978) afirma que o intemperismo atua mais na parte exposta do osso do que na parte em contato com o solo. Portanto, encontrar um osso com dois estágios de intemperismo não é algo tão incomum, mas a principal conclusão desta autora é que ossos encontrados nos estágios o a 3 ficaram, no máximo, 10 anos expostos, enquanto os ossos encontrados nos estágios 3 a 5 ficaram até 15 anos expostos. Isso levou à conclusão de que a duração de um osso exposto no ambiente é de, no máximo, 20 anos.

Figura 10. Ossos em diferentes estágios de intemperismo, de acordo com Behrensmeyer (1978). Em (A), ísquio (osso do quadril) em estágio 1; em (B) vértebras em estágio 2; e em (C) fragmento de osso longo em estágio 4.

VERTEBRADOS X FOSSILDIAGÊNESE

Os processos de fossilização, ou fossildiagenéticos, começam logo após o soterramento do esqueleto ou dos ossos isolados, pois o acúmulo gradual de sedimentos desencadeia todo um conjunto de ações físicas e químicas que levam à sua progressiva consolidação dentro de rocha sedimentar. Os ossos, depois de soterrados e associados ao sedimento, irão sofrer estas mesmas ações, podendo se transformar em fósseis. Os fatores pressão listostática (pressão exercida pelas camadas de sedimento acima dos ossos) e temperatura são imprescindíveis para que ocorram os processos físico-químicos que levam à fossilização.

A diagênese, apesar de ser facilmente comprovada (se há um fóssil, ele sofreu diagênese!), é difícil de ser identificada, uma vez que, na maioria dos casos, há substituição e adição de outros minerais ao fosfato de cálcio (mineral original do osso), ou até mesmo a dissolução do osso e posterior preenchimento com outros minerais que estejam solúveis no subsolo, gerando um molde.

Vários minerais presentes no sedimento circundante ao osso soterrado podem penetrar nos seus canais, poros e cavidades **(Figura 11)**, produzindo o processo da Permineralização, que é o modo mais comum de preservação de restos de vertebrados. Os minerais permineralizantes mais comuns são calcita (carbonato de cálcio), sílica (quartzo), óxidos de ferro (hematita) e manganês.

Para saber mais sobre fossildiagênese, ver capítulo **FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO.**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Num estudo com mamíferos atuais, observou-se que a probabilidade é de que apenas um osso em cada 1.000 venha a se tornar um fóssil. Para se ter uma ideia, cada ser humano tem aproximadamente 206 ossos em seu corpo. Para encontrarmos apenas um osso fossilizado, seria necessário que esqueletos de 5 pessoas passassem "com segurança" pelos processos de necrólise, desarticulação, transporte e soterramento e, por fim, diagênese. Portanto, podemos concluir que, quando estamos diante de um osso fóssil, estamos diante de um objeto extremamente raro. E só a tafonomia vai contar com ferramentas metodológicas para que possamos entender o que aconteceu durante essa longa trajetória que culmina no achado deste objeto único que é o fóssil.

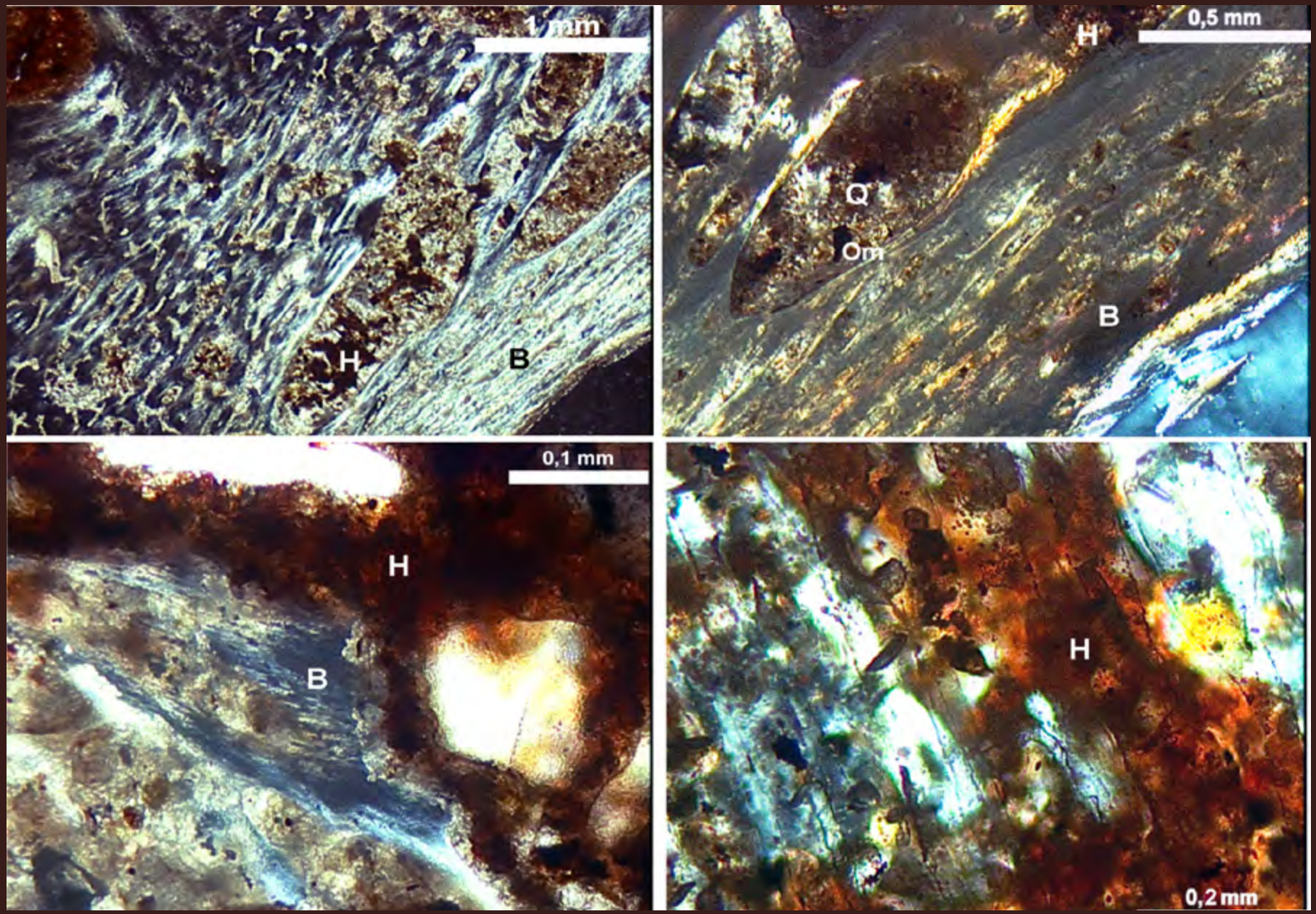


Figura 11. Fragmentos de fósseis de anfíbios permianos, evidenciando o preenchimento de canais e poros ósseos. Legendas: B = osso (bone), Q = quartzo, Om = minerais opacos, H = hematita. Imagens de microscopia óptica feitas por Cristina Bertoni-Machado.

REFERÊNCIAS

BEHRENSMEYER, A.K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. Paleobiology 4, 150-162.

BERTONI-MACHADO, C.; SOARES, M. B.; KISLOWSKI, F. F. & DENTZIEN-DIAS, P. C. 2008. Uma Peculiar Tafocenose Controlada por Ação Biogênica no Triássico Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisas em Geociências 35: 57-69.

TOOTS, H. 1965. Sequence of disarticulation in mammalian skeletons. Contributions to Biology 4(1):37-39.

VOORHIES, M. R. 1985. A Miocene rhinoceros herd buried in volcanic ash. National Geographic Society Research Reports 19: 671-688.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Ambientes de Fossilização
A sequência de desarticulação de um vertebrado
Intemperismo em ossos
Tafonomia experimental: transporte
Jogo Paleocombate
Tafonogame: o jogo da fossilização

14

TAFONOMIA EM PALEOBOTÂNICA: O ENIGMA DAS PLANTAS

Guilherme Arsego Roesler
Roberto Iannuzzi

Uma das áreas mais interessantes e que mais desperta curiosidade dentro da Paleontologia é da reconstrução de ambientes pretéritos, algo que é objeto de estudo da Paleoecologia **(ver capítulo A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS)**. Sempre que pensamos no passado remoto, em dinossauros, ou em organismos ainda mais antigos e seus ambientes, ficamos interessados em descrever como era a paisagem do lugar e época onde estes organismos viveram. Uma das ferramentas muito utilizadas para reconstrução dos ambientes terrestres é a Paleobotânica. Mas, para uma reconstituição adequada da paisagem é fundamental que o hábitat das plantas encontradas no registro fóssil seja desvendado. Então, sempre que um paleobotânico se depara com um afloramento **(Figura 1)** contendo fósseis **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)** de vegetais, algumas perguntas devem ser feitas:

Figura 1. Vista geral do Afloramento Morro do Papaléo, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, RS. Foto: Roberto Iannuzzi.

- O que terá acontecido com este vegetal para ele vir parar aqui?
- Esse vegetal está inserido no ambiente no qual ele foi preservado (fossilizado) ou foi carregado de outra área por meio dos processos sedimentares?
- Estas plantas eram os únicos organismos presentes no ambiente original, ou os processos de preservação possibilitaram apenas a fossilização seletiva dos vegetais encontrados?

Plantas, diferentemente de animais, em geral, são incorporadas aos sedimentos na forma de fragmentos ou partes. Por causa disto, dificilmente você encontrará no registro fóssil uma planta preservada por completo. Existem vários eventos que promovem a fragmentação das partes ou órgãos vegetais, uns estão relacionados ao meio, tais como tempestades, chuvas, ventanias, deslizamentos, enchentes, etc., outros são intrínsecos às plantas, como a dispersão de esporos, grãos de pólen, sementes e frutos, ou a perda espontânea de folhas. Deste modo, as diversas partes ou órgãos vegetais são fossilizados e preservados destacados e isolados do restante da planta-mãe ou produtora.

Por sua vez, as diversas partes (ou órgãos) vegetais passíveis de fossilização possuem diferentes potenciais de preservação e resistência ao retrabalhamento **(ver capítulo TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?).** Esporos e grãos de pólen **(ver capítulo A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS)** têm um potencial extremamente alto de preservação, podendo ser redepositados diversas vezes, durante intervalos de até mi-

lhões de anos. Folhas **(Figura 2)**, apesar de possuírem um bom potencial de preservação, não têm praticamente nenhuma capacidade de resistir ao retrabalhamento, sendo facilmente destruídas por qualquer remobilização do depósito sedimentar. Sementes **(Figura 3)** mostram potencial de preservação semelhante ao das folhas, mas com a possibilidade de resistir a algum retrabalhamento. Troncos **(Figura 4 e 5)**, por outro lado, apresentam um comportamento tafonômico semelhante aos ossos de vertebrados **(ver capítulo TAFONOMIA DE VERTEBRADOS: O ENIGMA DOS OSSOS)**, podendo ser retrabalhados umas poucas vezes (Spicer, 1991). Raízes e frutificações (estróbilos, pinhas, flores, frutos) **(Figura 6)** apresentam baixo potencial de preservação, sendo, por isso, raros no registro fóssil. Estes não possuem, em geral, tecidos resistentes à decomposição, o que causa sua rápida degradação, muitas vezes, enquanto estão ainda em conexão com a planta-mãe, inviabilizando assim sua incorporação aos sedimentos e/ou fossilização.

Podemos observar na **figura 7** as situações comentadas acima. Observe como existem diversas folhas caídas ao chão, prontas para serem carreadas até um corpo d'água próximo (lago, rio, etc.) e incorporadas aos sedimentos, assim que houver a primeira chuva forte. Do mesmo modo, esporos, grãos de pólen, sementes, entre outros restos na serapilheira poderão ser carreados e depositados também, e se tiverem "a sorte" de serem fossilizados, darão origem a belas compressões e impressões de restos vegetais. Podemos também perceber que as raízes já estão incorporadas ao sedimento, necessitando apenas de algum evento sedimentar (inundação) que as soterre e pre-

Figura 2. Folha de *Glossopteris* sp. do Permiano Inferior, Bacia do Paraná, Afloramento Morro do Papaléo, RS. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 3. Semente de Gimnosperma, *Samaropsis* sp. Permiano Inferior, Bacia do Paraná, Afloramento Morro do Papaléo, RS. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

Figura 4. Contra-molde de um caule de licófita arborescente, *Brasilodendron* sp., do Permiano Inferior, Bacia do Paraná, Afloramento Quitéria, RS. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Luiz Flávio Lopes.

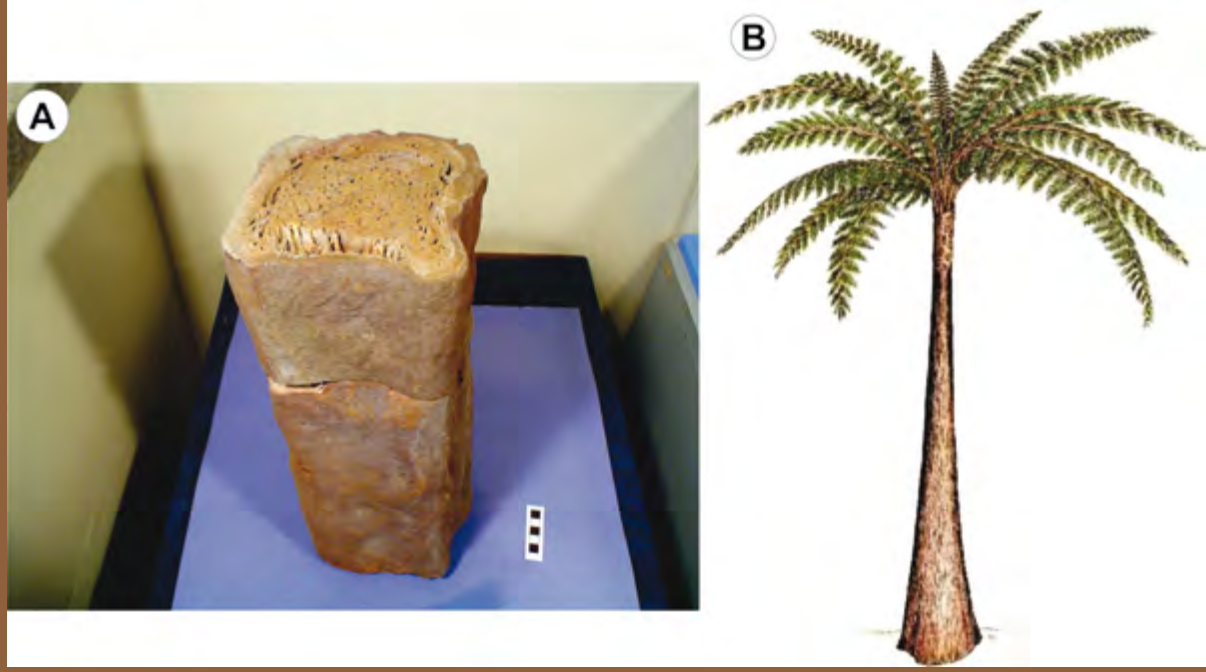


Figura 5. (A) Tronco de pteridófita arborescente, *Tietea* sp., do Permiano Inferior da Bacia do Parnaíba, Monumento das Árvores Fossilizadas, TO; (B) Reconstituição de *Tietea* sp. feita pela artista Françoise Gantet, 1997 Foto: http://goo.gl/YbZY5N).

Figura 6. *Arberia* sp., frutificação relacionada ao morfogênero *Glossopteris*. Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Afloramento Bainha, Criciúma, SC. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Guilherme Roesler.

serve este solo, o que acontecerá por meio de processos de fossilização, tais como permineralização **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**. O tronco pode tanto ser soterrado em um evento que preservaria as raízes, e nesse caso encontraríamos as raízes e troncos preservados no ambiente em que viveram (preservação autóctone) e, devido a sua conservação em posição de vida, poderíamos inclusive recriar a distribuição das árvores nessa floresta através de estudos paleoecológicos. Porém, os troncos também podem ser incorporados ao registro paleontológico de outra forma. Imaginem essa floresta durante uma grande tempestade. Raios matando algumas árvores, outras sendo derrubadas pelo vento, e segue-se a isso uma grande enxurrada que arrasta os troncos para o rio.

Todos já vimos em algum momento desenhos ou filmes mostrando o trabalho de madeireiras que utilizam um rio para transportar os troncos ou toras de madeira. E essa é uma excelente solução para transporte, pois os troncos são, junto com os grãos de pólen e os esporos, os órgãos vegetais mais suscetíveis a transporte. Na verdade, temos registro de troncos atravessando grandes extensões de mar, viajando de um continente a outro, quando carregados por correntes marítimas. Troncos transportados dessa forma, e depois fossilizados, são importantes para a Paleontologia, mas não podem ser utilizados para reconstruir um ambiente, pois foram preservados a milhares

Figura 7. Foto-montagem com os principais elementos tafonômicos no depósito de folhas.
(A) Ambiente com corpo d'água transportando folhas para sua deposição no sedimento.
(B) Folhas fossilizadas depositadas dentro do sedimento.

de quilômetros de seu sítio de vida ou habitat original. Outro problema enfrentado, e que os mais atentos já podem ter percebido, é que um evento como o descrito ajudaria a preservar os troncos, mas provavelmente destruiria completamente as folhas e raízes.

Como podemos observar no texto acima, uma das perguntas mais importantes quando falamos de Tafonomia é o quanto o material foi transportado. Os fósseis vegetais (assim como os de invertebrados e vertebrados) podem ser classificados em três níveis dependendo do seu grau de transporte:

Autóctone – material sem transporte, normalmente identificado por ser encontrado em posição de vida (ex:, troncos e caules em preservados em posição de vida);

Parautóctone – material transportado, mas que ainda se mantém preservado dentro do seu ambiente natural de vida ou hábitat (ex: folhas, ramos, sementes e outras partes aéreas das plantas remobilizadas durante uma enchente dentro da planície de inundação ou várzea de um rio).

Alóctone – material transportado para fora do seu ambiente natural de vida ou habitat, onde fica preservado (ex: caules da vegetação que margeia o rio arrastados por uma tromba d'água através do canal até a foz ou desembocadura do rio, sendo depositados em um ambiente marinho raso).

Além disso, para realizar uma interpretação Tafonômica e, por consequência, compreender a origem dos fósseis vegetais preservados em um depósito fossilífero, é necessário que ao longo do estudo do afloramento se observem e determinem quais são as feições tafonômicas presentes, ou seja, as características deixadas pela história tafonômica dos restos ou vestígios. Dentre as principais feições tafonômicas que podem ser observadas nos fósseis vegetais podemos destacar:

(1) O grau de integridade: as partes ou órgãos se apresentam íntegros ou fragmentados e/ou deformados e/ou rompidos **(Figura 8)**;

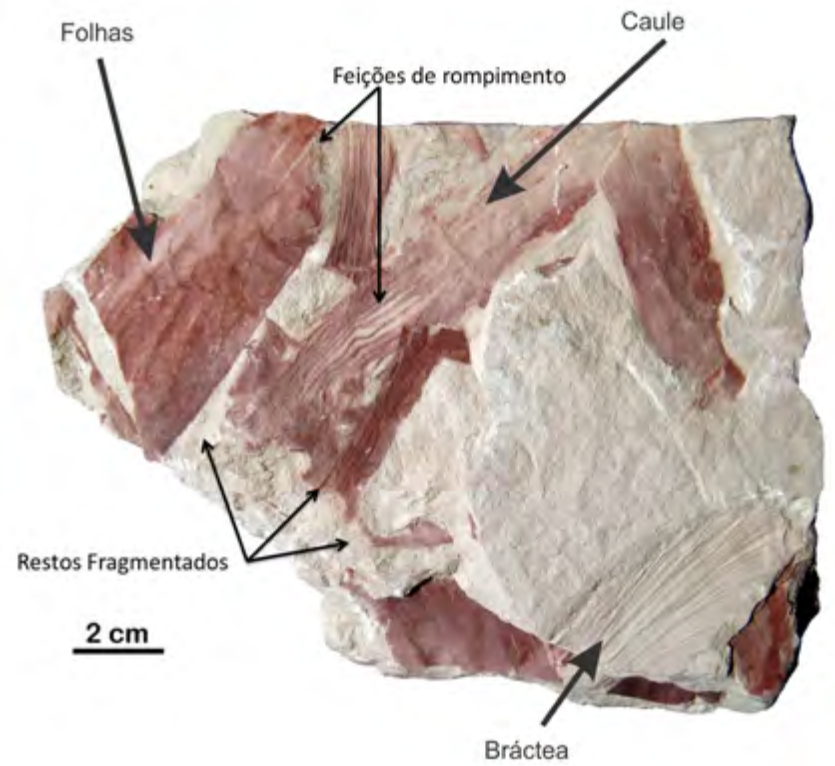


Figura 8. Assinaturas Tafonômicas indicativas do Grau de Integridade dos fósseis.

(2) A disposição espacial dos fósseis: fósseis verticalizados frequentemente representam associações autóctones, enquanto que fósseis preservados nos planos horizontais (seguindo as camadas de sedimentos) geralmente já denotam algum grau de transporte, ainda que, por vezes, pequeno **(Figura 9)**.

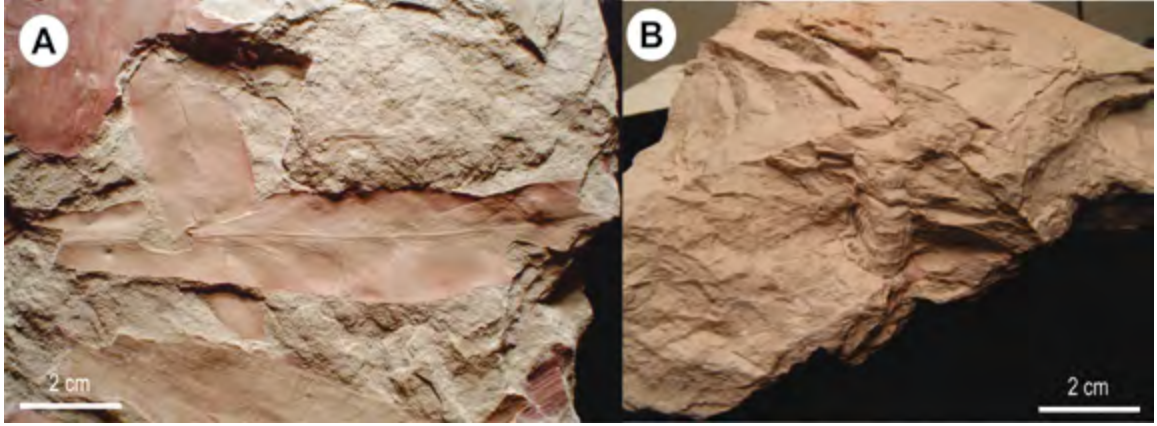


Figura 9. Assinaturas Tafonômicas indicativas da disposição espacial dos fósseis. (A) Folhas de *Glossopteris* sp. horizontalizadas. (B) Caule de Sphenophyta verticalizado (em posição de vida).

(3) A conexão entre os fósseis: em geral, quanto maior o grau de conexão, menor será o grau de transporte, isso por que, as partes ou órgãos vegetais são muito sensíveis ao transporte, de modo que a presença de fósseis que preservaram partes articuladas possivelmente representa condições de menor transporte **(Figura 10)**.

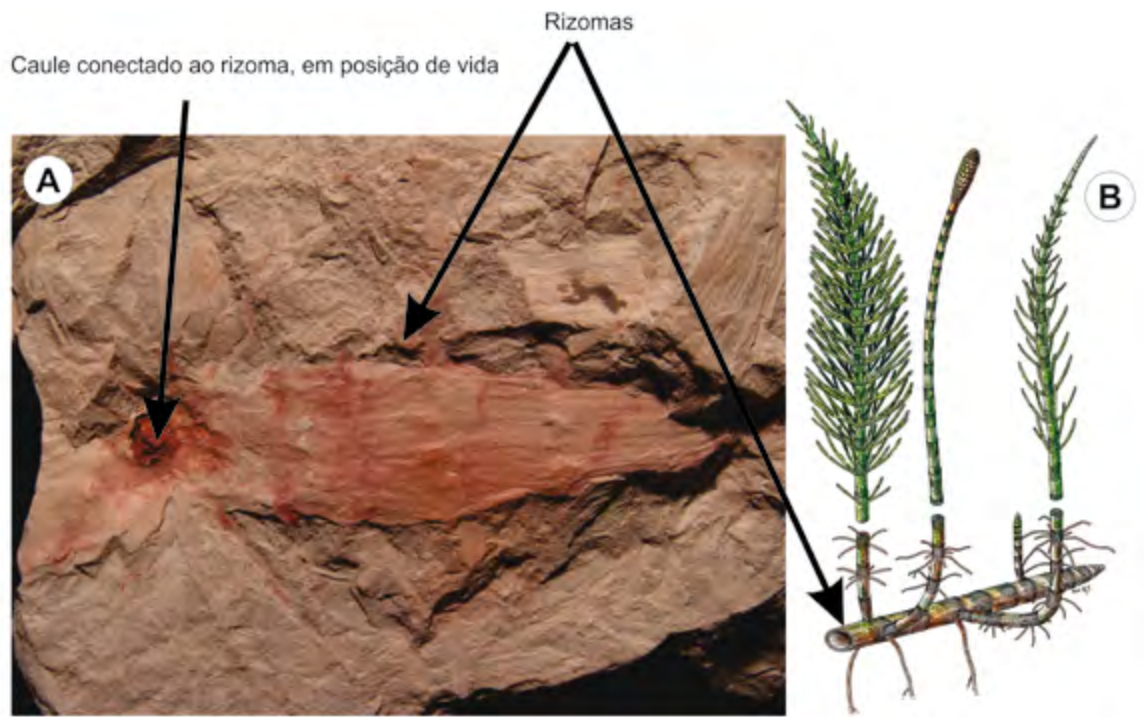


Figura 10. Assinaturas tafonômicas indicativas da disposição espacial e da conexão dos fósseis. (A) Rizoma e caule de Sphenophyta, conectados, em posição de vida. (B) Reconstituição de uma Sphenophyta. Modificado de Taylor & Taylor (2009).

(4) Os tipos de fósseis: esses variam para cada assembleia fossilífera, podendo ser compostos por um ou mais tipos correspondentes às diferentes partes das plantas, ou seja, folhas, ramos, caules, raízes, sementes e frutificações.

Deste modo, a partir da análise das feições tafonômicas encontradas nos fósseis vegetais, podemos entender como esse órgão ou parte da planta veio parar onde nós o encontramos hoje, se ela realmente vivia nessa área ou se foi transportada de outro ambiente, se o evento que criou o depósito foi catastrófico (como uma enchente ou deslizamento), ou se os fósseis encontrados são da morte e perda natural de órgãos e partes dos vegetais. Essas informações, elucidadas pela Tafonomia, são fundamentais quando estamos procurando recriar um ambiente do passado.

REFERÊNCIAS

BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M. & GASTALDO, R. A. 2000. Taphonomy and Paleobiology. Paleobiology 26(4):103-144.

ALLISON, P.A. & BRIGGS, D. E. G. Taphonomy - Releasing the Data Locked in the Fossil Record. Topics in Geobiology, Plenum Press, New York, p. 71-113.

HOLZ, M. & SIMÕES, M. G. 2002. Elementos Fundamentais de Tafonomia. 1ª ed., Porto Alegre: EDUFRGS, 231 p.

MARTIN, R. E. 1999. Taphonomy, a process approach. Cambridge University Press, Cambridge.

SPICER, R. A.1991. Plant Taphonomic Processes. In: P.A. ALLISON & D.E.G BRIGGS, D.E.G. (eds.) Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record. New York: Plenum Press, p. 71 - 113.

TAYLOR, T. N.; TAYLOR, E. L. & KRINGS, M. 2009. Paleobotany, The Biology and Evolution of Fossil Plants. 2nd ed., Academic Press Elsevier, Amsterdam.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

O tanque de fossilização

Assinaturas tafonômicas em plantas

VOLTE AO SUMÁRIO

15

A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS

Geise de Santana dos Anjos Zerfass

O termo **paleoecologia** vem do prefixo grego "palaeos", que significa antigo, e da palavra ecologia, a qual se refere ao estudo da interação dos organismos entre si e com o ambiente onde vivem. A palavra ecologia vem dos termos gregos "oikos" que significa casa e "logos" que significa razão.

A **ecologia** estuda a distribuição dos organismos, os hábitos das formas de vida e sua organização em comunidades, a interação entre os organismos de diversas comunidades que vivem em um meio físico e as condições ambientais que proporcionam ou impedem o desenvolvimento da vida em suas várias formas.

Ao interagir com o meio e entre si cada organismo influi no ambiente e nas demais formas de vida, o que gera um equilíbrio complexo e frágil.

A paleoecologia se distingue da ecologia moderna pelas técnicas de pesquisa empregadas e pelo objeto de estudo, já que se utiliza de registros fósseis, em geral mal preservados e dispersos ao longo do tempo geológico.

HISTÓRICO

As primeiras ideias sobre a paleoecologia surgiram no final do século XIX, com os trabalhos desenvolvidos pelo paleontólogo russo Vladimir Onufrievich Kovalevskii, que se destacou pelas análises paleoecológicas e evolutivas com ungulados terrestres extintos e prosseguiu com o geólogo americano Kirk Bryan, que se dedicou a averiguar mudanças climáticas ocorridas no passado, investigando solos e polens antigos.

Com o avanço dos estudos nesta área, houve a necessidade de buscar novos elementos para sua compreensão. Esses elementos foram encontrados em outras ciências (biologia, ecologia, geologia, geografia e climatologia). Ao serem integrados, aprimoraram o entendimento das informações fragmentadas provenientes do registro fossilífero. A visão conjunta dessas informações forneceu um quadro mais completo, a partir do qual a paleoecologia foi instituída como ciência.

Inicialmente, devido à proximidade com a ecologia, a paleoecologia era descrita como "o estudo das interações de organismos com os outros e com o ambiente físico no passado geológico" (Dodd & Stanton Jr., 1981). Entretanto, não se pode esquecer que há diversos processos relacionados a esta definição, principalmente os aspectos físicos, químicos e biológicos a que os ecossistemas estão submetidos.

A paleoecologia recebeu uma vasta contribuição de trabalhos que tinham como objetivo entender os organismos do passado através de estudos das feições de organismos modernos (princípio da analogia), iniciados na Alemanha, a partir da década de 1920. Nas cinco últimas décadas, tem sido observado que a paleoecologia tem se aproximado cada vez mais da biologia e da ecologia, permitindo analisar os fósseis sob diversas perspectivas, como morfologia, fisiologia, estrutura trófica, diversidade, população, comunidade, evolução, ecossistema, etc., e propiciado a incorporação de técnicas analíticas para o tratamento dos fósseis.

Os esforços para o desenvolvimento da paleoecologia têm resultado na sua evolução conceitual. Com esses avanços, a paleoecologia passou a ser definida como a "investigação de indivíduos, populações e comunidades de antigos organismos, e sua interação e resposta à dinâmica de mudanças do meio" (Gastaldo, Savrda & Lewis, 1996). Estas últimas foram reconhecidas no trabalho de Brett (2008) como *os* "padrões de registros de mudanças nos ecossistemas".

Dentre outros pontos de investigação, não se pode esquecer o papel que a paleoecologia desempenha na reconstrução da distribuição biogeográfica dos fósseis, cujo avanço nas pesquisas é chave para que se possa remontar a história da Terra ao longo do tempo geológico.

FUNDAMENTOS DA PALEOECOLOGIA

Uniformitarismo/Atualismo

Para estudos paleoecológicos, costuma-se admitir que os processos que atuaram no passado são os mesmos que podem ser observados no tempo atual. As leis naturais também teriam permanecido invariáveis, porém as taxas e condições dos processos não seriam os mesmos.

A não observação dessas distinções conceituais pode levar a interpretações equivocadas do registro fóssil. Por exemplo, em certos estudos, não foi levado em consideração o efeito das variações climáticas (alterando taxas e condições) do passado sobre os organismos.

Desse modo, a maneira mais simples de realizar uma interpretação ambiental a partir do registro fóssil é através da observação das preferências ecológicas dos seres viventes que mostrem um grau de parentesco com as formas fósseis.

Parcimônia ou Simplicidade

O princípio da simplicidade ou da parcimônia é de uso comum para qualquer ramo de pesquisa científica. Esse princípio estabelece que os dados ou fatos devem ser explicados da maneira mais simples. Assim, a explicação mais provável para um objeto em observação deve corresponder àquela mais próxima das causas e dos efeitos que produziram um resultado final.

CONCEITOS BÁSICOS DA ECOLOGIA

Como diversos conceitos e princípios aplicados à ecologia são os mesmos adotados para nortear as pesquisas desenvolvidas da paleoecologia, vale apresentá-los brevemente. São eles que, mesmo com a limitação de dados, ajudam na reconstituição de paleocomunidades e paleoambientes.

Ecossistema

O conjunto de organismos e seu meio físico é chamado **ecossistema** (“oikos” = casa + “systema” = sistema). Um ecossistema representa os vários fatores bióticos e abióticos de uma determinada região onde os organismos interagem entre si e com o meio **(Figura 1)**.

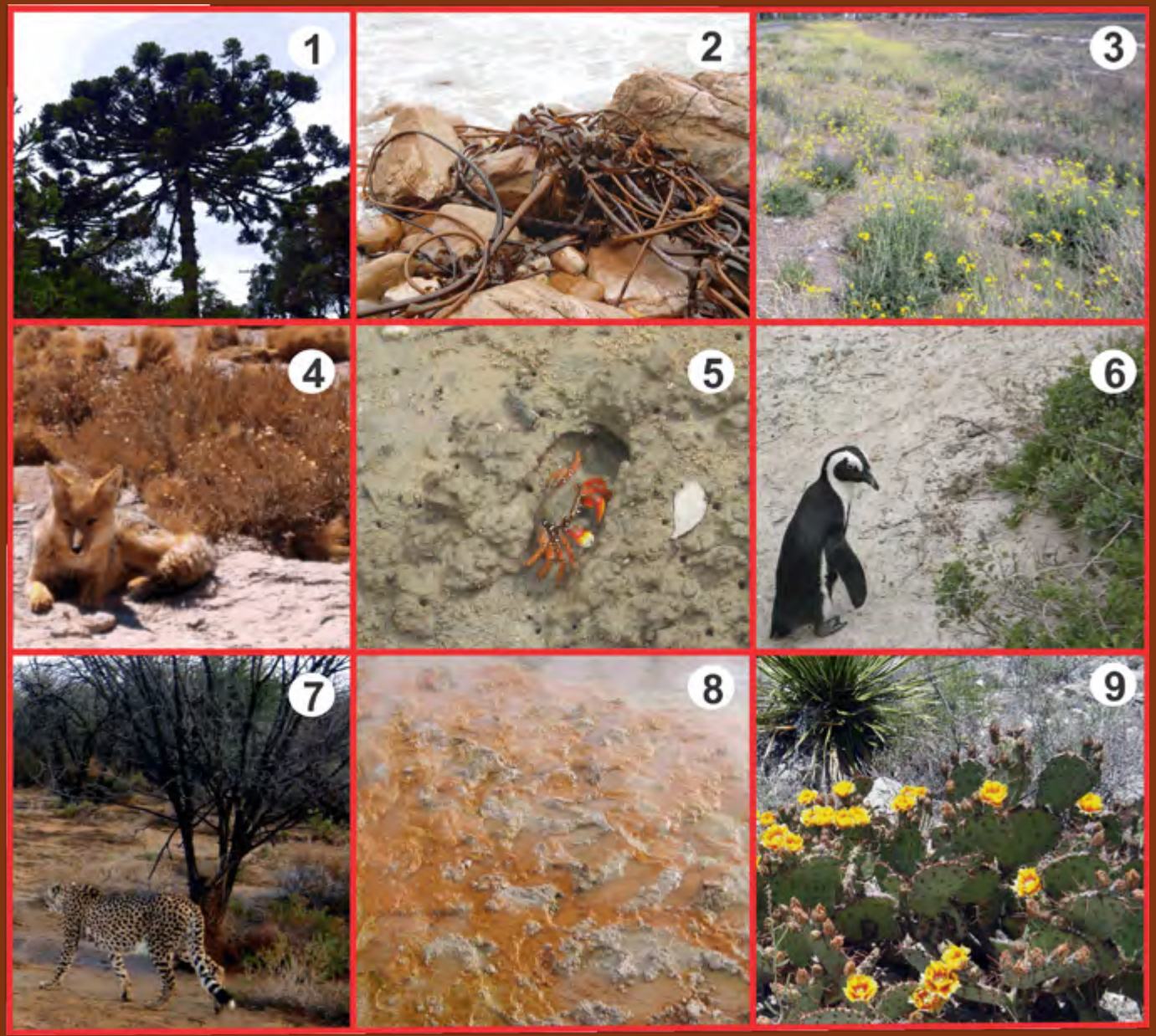


Figura 1. Exemplos de espécies em diferentes ecossitemas no ambiente terrestre.
1. Mata de araucárias (*Araucaria angustifolia*) em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. (Foto: Geise S.A. Zerfass); 2. Bambu do mar (*Ecklonia maxima*), alga em praia no Cabo da Boa Esperança, África do Sul. (Foto: Henrique Zerfass); 3. Jarilla (*Larrea cuneifolia*), arbusto endêmico da porção oeste da América do Sul na região pré-Andina, Província de Mendoza, Argentina. (Foto: Geise S.A. Zerfass); 4. Raposa cinza Sul-americana (*Lycalopex griseus*) no deserto do Atacama, Chile. (Foto: Geise S.A. Zerfass); 5. Aratu-do-mangue (*Goniopsis cruentata*) Aracaju, região costeira de Sergipe. (Foto: Edilma J.Andrade); 6. Pinguim-Africano (*Spheniscus demersus*) em Boulders Beach, África do Sul. (Foto: Henrique Zerfass; 7. Guepardo (*Acinonyx jubatus*) em Cape Cheetah Reserve, Tanqua, África do Sul. (Foto: Henrique Zerfass); 8. Colônias de bactérias termofílicas no campo geotérmico do Tatio, Chile. (Foto: Geise S.A. Zerfass); 9. Vegetação xerofítica, em destaque cactos *Opuntia* sp. no Brush Canyon, Estados Unidos. (Foto: Seirin Shimabukuro).

População

População é a unidade fundamental da ecologia e representa o conjunto de indivíduos de uma espécie que habita e interage numa área geográfica, onde seu modo de vida se preserva (nicho ecológico).

Ao se determinar os padrões de natalidade e mortalidade e a concentração de indivíduos por idade em uma população, é possível avaliar questões relacionadas à estabilidade de ambientes antigos. Portanto, é de extrema importância a estratégia adotada por uma população. Tal estratégia representa o modo de adaptação aos períodos de condições ambientais favoráveis, intercalados aos não favoráveis.

As espécies em equilíbrio são reconhecidas pela estabilidade de sua população no meio. Elas se caracterizam por manter o tamanho de sua população próximo da sua capacidade de suporte.

No registro fóssil, quando uma espécie é predominante em uma associação e é restrita a uma camada ou conjunto de camadas, ela pode evidenciar ambientes estressantes ou de condições físicas instáveis. Ao contrário, a observação contínua no registro fóssil de espécies em equilíbrio, diversificadas e relativamente abundantes indicaria condições físicas favoráveis.

Comunidade

Comunidade é a representação de todas as populações que ocupam uma área geográfica específica, e equivale à porção viva de um ecossistema.

A comunidade de organismos que vivem em uma determinada área geográfica é denominada **biocenose** ("bios" = vida + "kenosis" = conhecimento) ou **comunidade biótica**. As comunidades de organismos vivem em áreas físicas com características que proporcionam as condições para que os organismos se estabeleçam e se desenvolvam, as quais são chamadas de **biótopos** ("bios" = *vida* + "topos" = lugar).

Entretanto, o termo biocenose não deve ser utilizado em paleoecologia, já que as interpretações paleoecológicas são baseadas na assembleia fóssil que ficou preservada, representando apenas uma parcela da assembleia original.

As comunidades se distinguem por uma série de atributos (composição taxonômica; forma de crescimento e estrutura (dimensão vertical e distribuição horizontal dos vegetais); diversidade, riqueza e dominância; distribuição espacial e estrutura trófica), que ajudam na sua caracterização e na correlação entre si. Quaisquer desses atributos podem ser avaliados em comunidades equilibradas ou com processos de mudanças temporais (sucessão) ou espaciais (zonação).

OS MICROFÓSSEIS E A PALEOECOLOGIA

A maior parte dos estudos em Paleoecologia tem como objeto os **microfósseis** (ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS). Assim como hoje, os ambientes do passado (paleoambientes) eram repletos de formas de vida microscópica. Muitos destes organismos apresentavam estruturas com bom potencial de preservação, como carapaças. A maioria dos microfósseis é encontrada em rochas relacionadas a antigos ambientes aquáticos, tanto marinhos quanto continentais.

Ambientes aquáticos continentais

Os ambientes aquáticos continentais englobam uma grande diversidade de ambientes, desde lagos salinos e de água doce, turfeiras e dunas. Os depósitos sedimentares formados nesses ambientes apresentam fósseis de diversos organismos, tais como tecamebas, ostracodes, vertebrados e invertebrados em geral e, além dos fósseis corporais, traços das atividades dos organismos que viveram nesses ambientes.

De acordo com Sigee (2005), a água que cobre 7/10 da superfície do nosso planeta ocupa o volume estimado de 1,38 X 10^9 Km^3. Os oceanos representam 96,1% da água global juntamente com a água atmosférica. Apenas 3,9% da água está nos continentes, incluindo as calotas polares. As fontes de água doce não polar, incluindo a água dos solos, rios, lagos e córregos, ocupam aproximadamente 0,0013% da água global, ou 0.37% da água dos continentes. O volume de água dos lagos salinos é aproximadamente igual ao dos lagos de água doce.

Os ambientes de águas doces mostram uma ampla variedade em termos de características físico-químicas, e são subdivididos em lênticos (águas paradas) e lóticos (águas correntes). Os ambientes lênticos correspondem a lagos, lagoas e pântanos e outros corpos d'água fechados. Os ambientes lóticos englobam rios, estuários e canais. Por outro lado, as águas salinas incluem estuários e lagos salinos e mostram uma gradação no teor de sais, tipicamente dominado por cloretos.

Embora os micoorganismos que habitam águas doces possam ser divididos em bentônicos e planctônicos , a maioria apresenta uma fase bentônica e uma fase planctônica em seu ciclo de vida. Os microorganismos planctônicos correspondem a bactérias e microalgas. As formas bentônicas incluem fungos, algas filamentosas, protozoários e invertebrados.

A microfauna/flora dos ambientes aquáticos continentais é fortemente influenciada pela salinidade e difere em grande parte nas águas doces e salinas, já que os organismos desses ambientes apresentam demandas fisiológicas diferentes. No entanto, existem organismos independentes da concentração de sais na água que habitam uma variedade de ambientes.

Os oceanos ocupam mais de 70% da superfície da Terra e representam o maior ambiente do nosso planeta, além de ser a peça fundamental dos ciclos do oxigênio e dos nutrientes.

As características físicas dos oceanos, como a batimetria e a topografia, além das características físico-químicas das águas oceânicas (temperatura, salinidade, teor de oxigênio e de nutrientes) determinam os ambientes em que os organismos irão se desenvolver.

A penetração da luz do sol nas águas marinhas ocorre até 400m de profundidade, sendo que esse valor varia da região equatorial (máximo) para os polos (mínimo). Em termos da penetração da luz solar, os oceanos podem ser subdivididos em três zonas: fótica, disfótica e afótica. A zona fótica compreende, em média, os primeiros 200m de profundidade. Nessa região ocorre a maior concentração de vida. Na zona disfótica, entre 200 e 400m de profundidade, a penetração de luz é menor e na zona afótica (abaixo dos 400m) não há iluminação **(Figura 2)**.

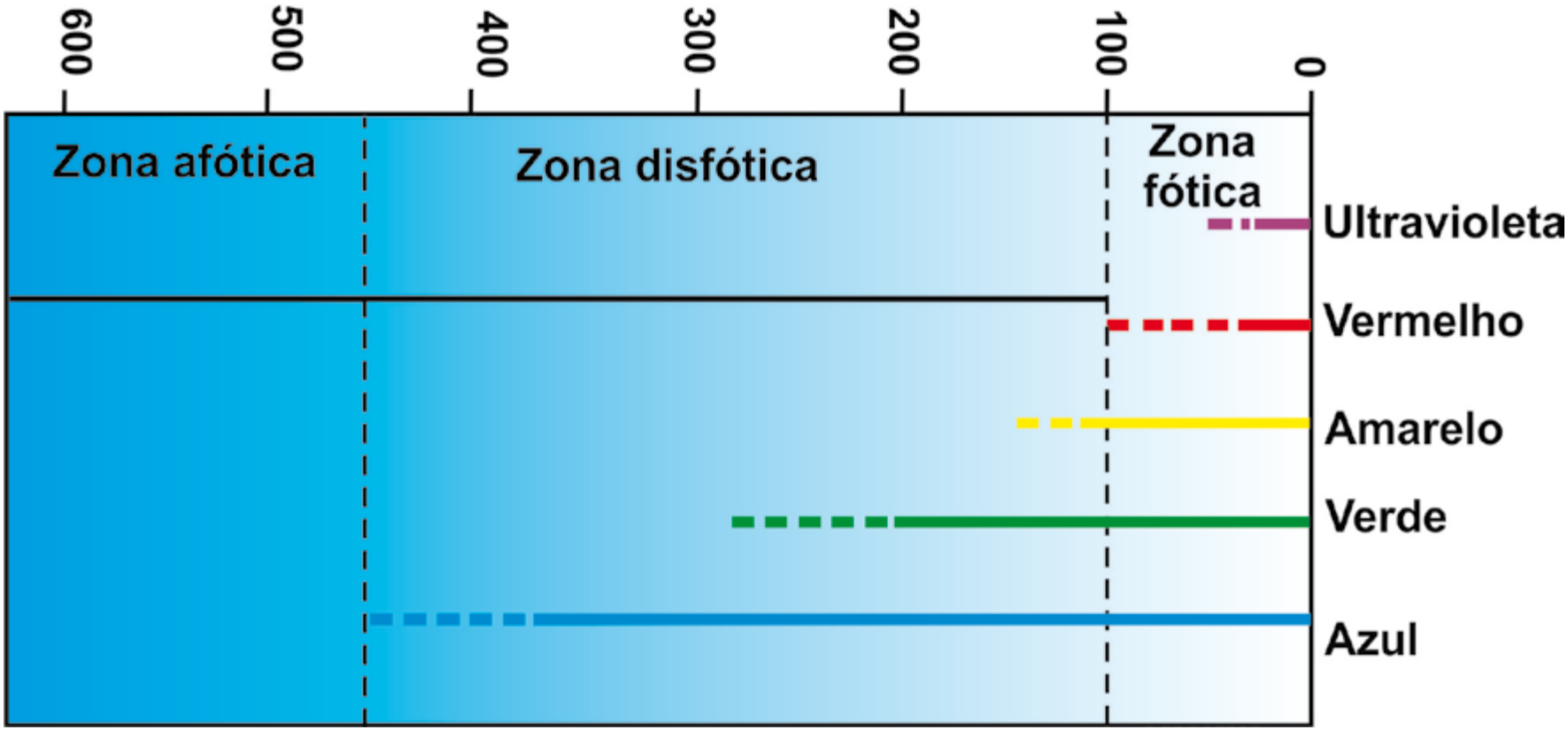


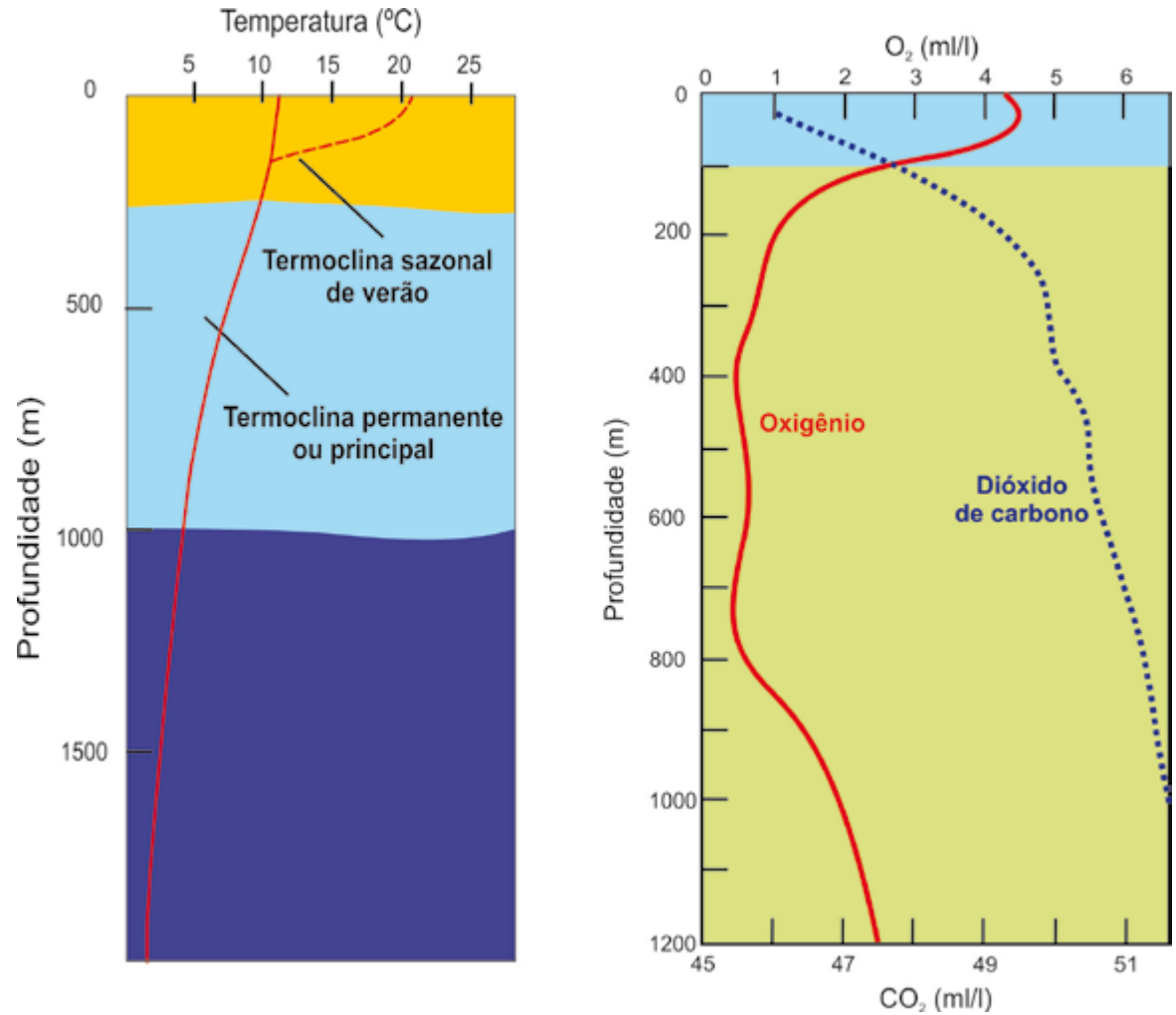
Figura 2. Zonas de luz dos oceanos. Modificado de http://marinebio.org/oceans/light-and-color.asp.

A estratificação dos oceanos por temperatura (termoclina) e por salinidade (haloclina) se traduz em uma estratificação que pode coincidir com a estratificação por densidade **(Figura 3)**. Nesta, a água superficial, por apresentar baixa densidade, flutua e se comporta como uma zona de mistura, devido à interação com a atmosfera. A picnoclina, que corresponde às águas intermediárias, impede que as águas superficiais e profundas se misturem. As águas superficiais coincidem com a zona fótica, sendo caracterizadas por uma maior quantidade de organismos.

Em termos de salinidade, as águas dos oceanos são subdivididas em hiperalina, euhalina, mixohalina, polihalina e oligohalina, conforme o **quadro 1**.

No ambiente marinho, os nutrientes são rapidamente utilizados e reciclados. Uma grande parte da matéria orgânica é reciclada nas águas superficiais enquanto uma pequena parte afunda, indo se decompor em águas profundas. Esse é um dos fatores que afeta o ciclo dos nutrientes. A ausência dos principais nutrientes, tais como os fosfatos (PO_4^-) e os nitratos (NO_3^-), limita o desenvolvimento da vida. Os nitratos estão entre os nutrientes mais abundantes.

Figura 3. Variação vertical da temperatura e da concentração de oxigênio e dióxido de carbono nos oceanos.



Quadro 1. Classificação dos corpos d'agua com base em salinidade.

Salinidade (‰)	Tipo de água
>40	hiperalina
30-40	euhalina
0,5-30	mixohalina
18-30	polihalina
5-18	mesohalina
0,5-5	oligohalina

Nitrogênio (N) é um macronutriente essencial à vida, que não estando disponível na forma ou concentração adequada limita a produção biológica. Entretanto, o nitrogênio no seu estado molecular (N_2) não é utilizado pelos organismos. Somente a partir da atividade de organismos, como algumas bactérias, o nitrogênio molecular é transformado em amônia.

A amônia (NH_3) produzida é utilizada por outro grupo de bactérias e, no processo de nitrificação, é transformada em nitritos (NO_2) e nitratos (NO). Por sua vez, os nitratos e nitritos são utilizados pelos organismos fotossintetizantes (produtores primários) na elaboração de compostos orgânicos. Quando os organismos produtores primários e os organismos consumidores morrem, as bactérias atuam na decomposição dos tecidos celulares. Nessa atividade, as bactérias que realizam o processo de denitrificação transformam esses compostos em nitrogênio molecular que é devolvido para a atmosfera **(Figura 4)**.

O aumento do teor de nitrogênio tem sérias implicações para as mudanças climáticas, pois ocorre um aumento da atividade biológica marinha e da absorção de dióxido de carbono **(Figura 5)**, e leva ao aumento da produção de óxido nitroso.

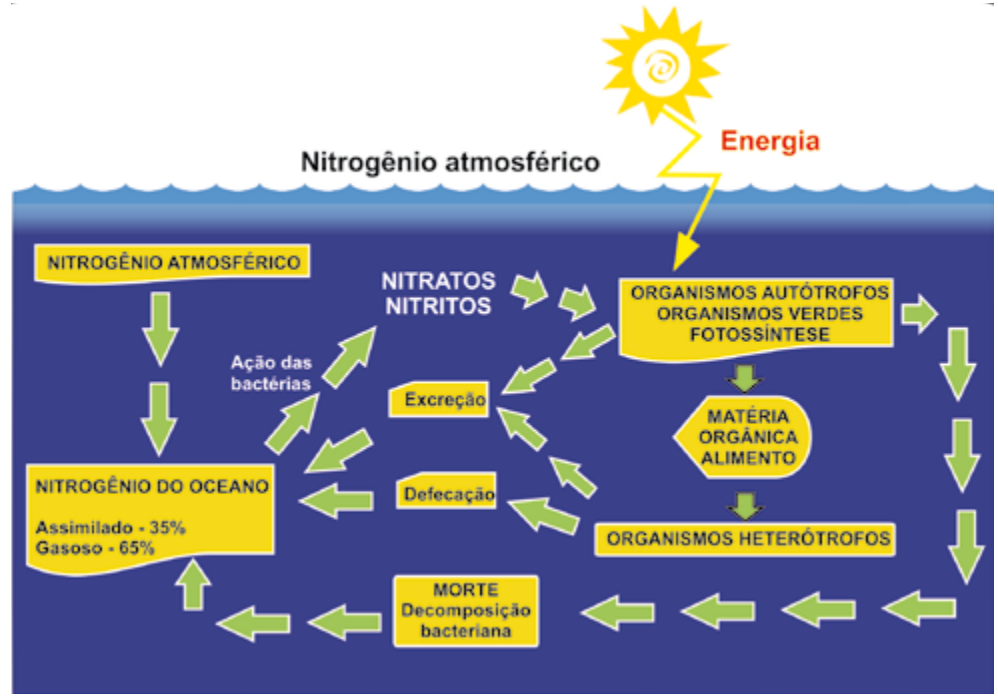


Figura 4. Diagrama ilustrando o ciclo do nitrogênio.

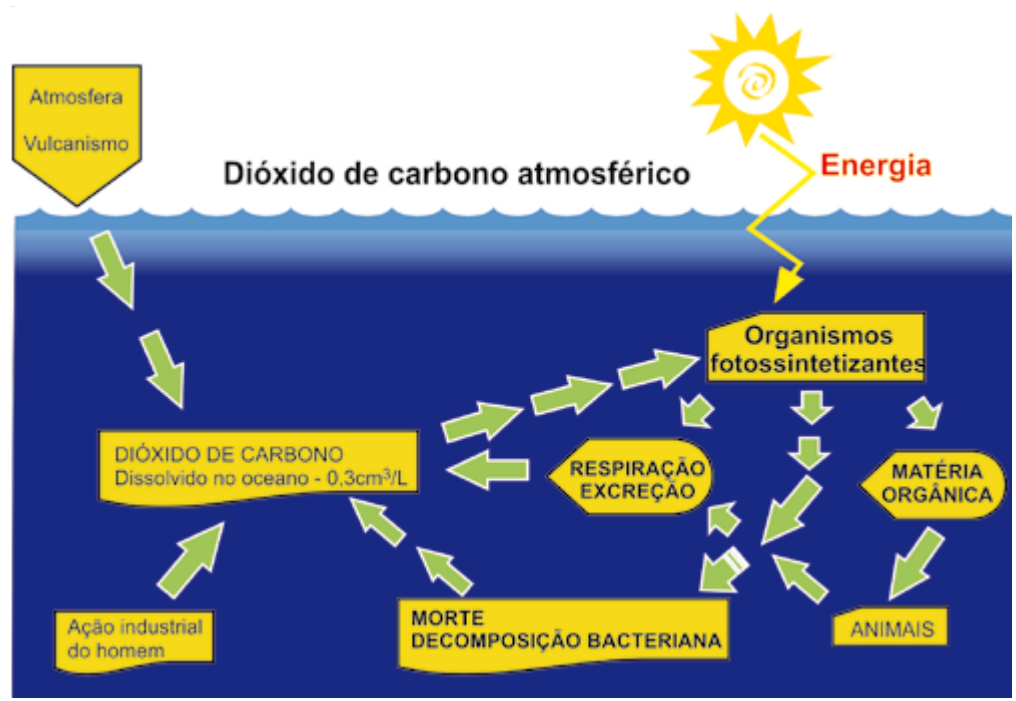


Figura 5. Diagrama ilustrando o ciclo do carbono.

O dióxido de carbono (CO_2) é indispensável nos processos metabólicos para a produção de energia, sendo fixado pelos organismos fotossintetizantes junto com os nutrientes. Já no processo de respiração os organismos marinhos retiram oxigênio dissolvido na água e liberam CO_2. Da mesma maneira, quando estes organismos morrem o processo de decomposição libera CO_2, que retorna ao ciclo do carbono **(Figura 5)**.

Em termos da batimetria, os ambientes marinhos são subdivididos em cinco regiões: litoral, nerítica, batial, abissal e hadal. A região litorânea corresponde à região entre o nível máximo da maré alta e o mínimo da maré baixa, e se caracteriza por sofrer exposição periodicamente, o que impossibilita a colonização por diversos tipos de organismos **(Figura 6 e Quadro 2)**.

A região nerítica corresponde à plataforma continental e se estende do limite da zona litorânea até a quebra da plataforma. Essa região, por ser bem iluminada e oxigenada apresenta grande abundância e diversidade de formas de vida. A região batial corresponde ao talude e apresenta um decréscimo progressivo de iluminação e temperatura.

A região abissal corresponde às bacias oceânicas. Nessa região, as águas são permanentemente escuras e frias, e a ocorrência de vida é escassa e especializada. Por fim, a região hadal corresponde às grandes fendas oceânicas em cuja porção central se encontram as cadeias mesoceânicas.

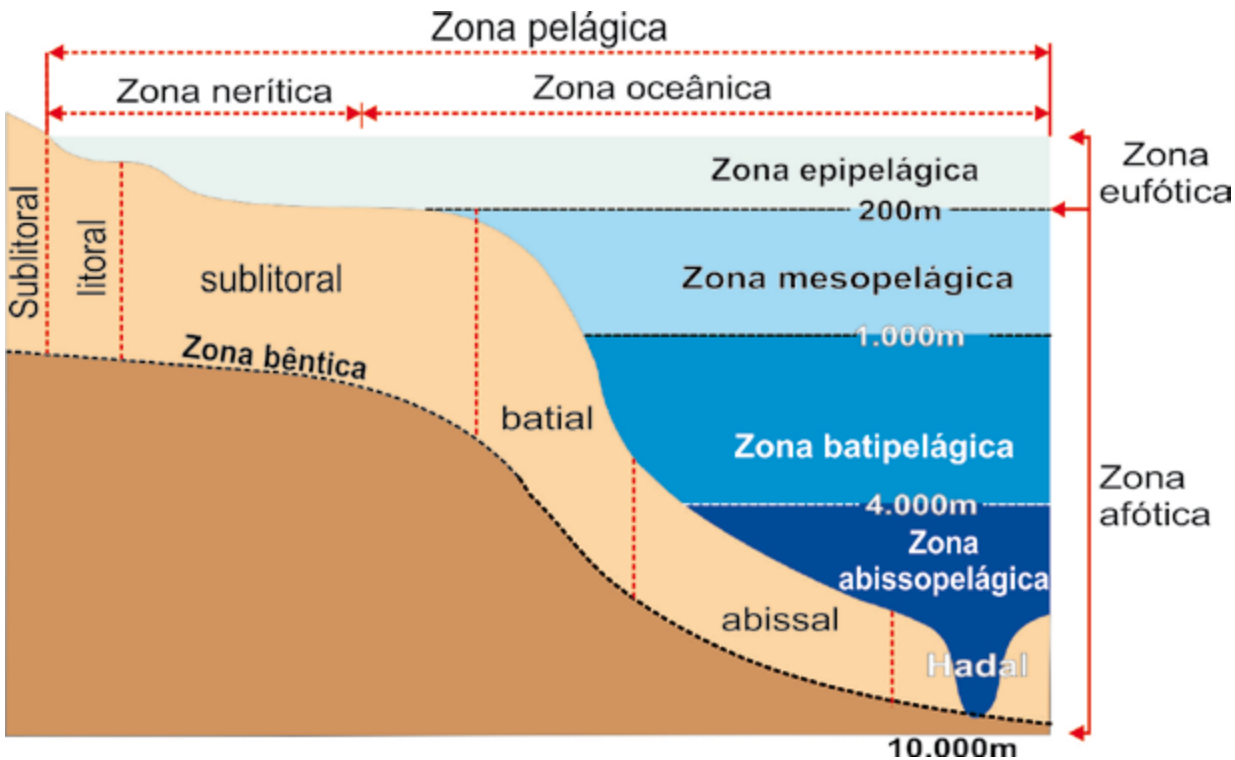


Figura 6. Subdivisões dos oceanos em função da batimetria e penetração de luz.

Quadro 2. Regiões do ambiente marinho e suas batimetrias.

Batimetria	m
nerítico raso	0-20
nerítico médio	20-100
nerítico profundo	100-200
batial raso	200-500
batial médio	500-1000
batial profundo	1000-2000
abissal	>2000

PRINCIPAIS MICROFÓSSEIS UTILIZADOS EM ESTUDOS SOBRE PALEOECOLOGIA

Polens, esporos e paleoambientes

O tipo de vegetação encontrada em determinada região depende de uma série de fatores, principalmente do clima e do tipo de solo. Assim, é possível obter informações sobre o tipo de ambiente a partir do conteúdo fossilífero de origem vegetal.

Devido à sua abundância, os **microfósseis** de origem vegetal oferecem uma grande quantidade de informações que podem ser utilizadas para a interpretação dos paleoambientes. Naturalmente, ao realizar interpretações devemos levar em consideração que a produção de **polens** e **esporos** (ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS) varia de planta para planta, e que a dispersão dessas pequenas partes depende do seu tamanho, forma e do meio (através da água ou do ar). Além disso, há palinomorfos cuja estrutura frágil dificulta sua preservação.

Por serem leves, os grãos de pólen e os esporos podem ser espalhados por longas distâncias através do ar ou da água, alcançando até mesmo ilhas distantes dos continentes. Como a deposição final pode ocorrer tanto em sedimentos terrestres quanto aquáticos, é possível correlacionar rochas de ambientes continentais com rochas de ambientes marinhos, baseando-se na similaridade das associações de polens **(Figura 7)**.

A interpretação de preferências dos vegetais que deram origem aos grãos de pólen e esporos por ambientes mais secos ou mais úmidos e pela altitude ou terras baixas está vinculada ao conhecimento do ambiente em que são encontrados representantes viventes dos grupos em estudo.

Grãos de pólen de plantas que vivem em altitude e que apresentam estruturas que auxiliam sua dispersão pelo vento podem viajar por longas distâncias. Esporos, que necessitam de água para desenvolver sua função reprodutiva, costumam ter sua deposição final mais próxima da planta que os originou. O mesmo ocorre com algas de água doce, com deposição final junto aos corpos d'água onde viveram.

Segundo Poças (2004), um aspecto complicador para as interpretações paleoecológicas baseadas em polens e esporos é a dificuldade em relacionar esses grãos fósseis com grupos de plantas atuais (atualismo). Isso ocorre devido ao fato de que quanto mais antigos forem os polens e esporos, menor a possibilidade de encontrar as plantas que os produziram. Ou seja, se não há nenhuma indicação sobre a relação entre os palinomorfos fósseis e plantas recentes, não haverá elementos suficientes para indicar as condições ambientais da associação de grãos fósseis.

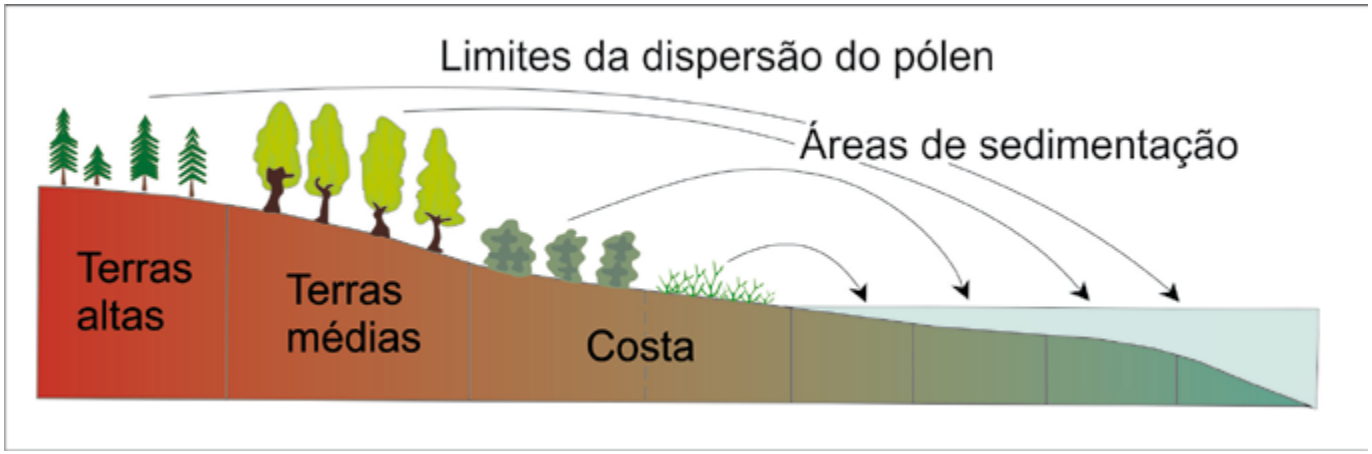


Figura 7. Dispersão dos polens atuais através do vento. Modificado de Canudo (2002a).

Ostracodes e paleoambientes

Os **ostracodes** (ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS) são muito úteis na paleoecologia, pois são fortemente dependentes das condições ambientais. Segundo Canudo (2002-b), vários métodos são utilizados para as interpretações paleoambientais com base em ostracodes, entre os quais a comparação entre o modo de vida das espécies atuais e as espécies fósseis (atualismo). Entretanto, este método possui uma limitação: quanto mais antigos forem os ostracodes, menor a utilidade do método, ou seja, as formas mais antigas têm menos paralelos com as atuais.

Muitos ostracodes mostram variações nas feições morfológicas das carapaças em função da adaptação a diferentes funções fisiológicas. Esse é outro modo de utilizar o atualismo, pois a interpretação paleoambiental se baseia na presença de estruturas que são utilizadas pelos ostracodes para determinadas funções. Por exemplo, estruturas alares fornecem uma maior superfície à concha, o que favorece a presença da espécie em sedimentos argilosos. Outro exemplo, a presença do tubérculo ocular em cada valva, é uma característica de espécies que vivem na zona fótica (Babinot, 1995) **(Figura 8)**. Esse tipo de característica é muito importante para interpretações da profundidade onde essas formas viveram. Já foram registradas espécies cuja perda progressiva da estrutura do tubérculo ocular é um indicativo da mudança de paleoambiente, ou seja, essa espécie, que ao longo da sua evolução foi migrando para águas mais profundas, se tornou uma espécie "cega".

Os ostracodes representam o único grupo estatisticamente significativo de organismos sensíveis às variações ambientais em ambientes continentais. A presença de espécies de ostracodes está condicionada à salinidade e à temperatura da água. Além disso, a composição química das carapaças desses organismos (Mg/Ca, Sr/Ca) são indicativas da composição química das águas onde eles viveram.

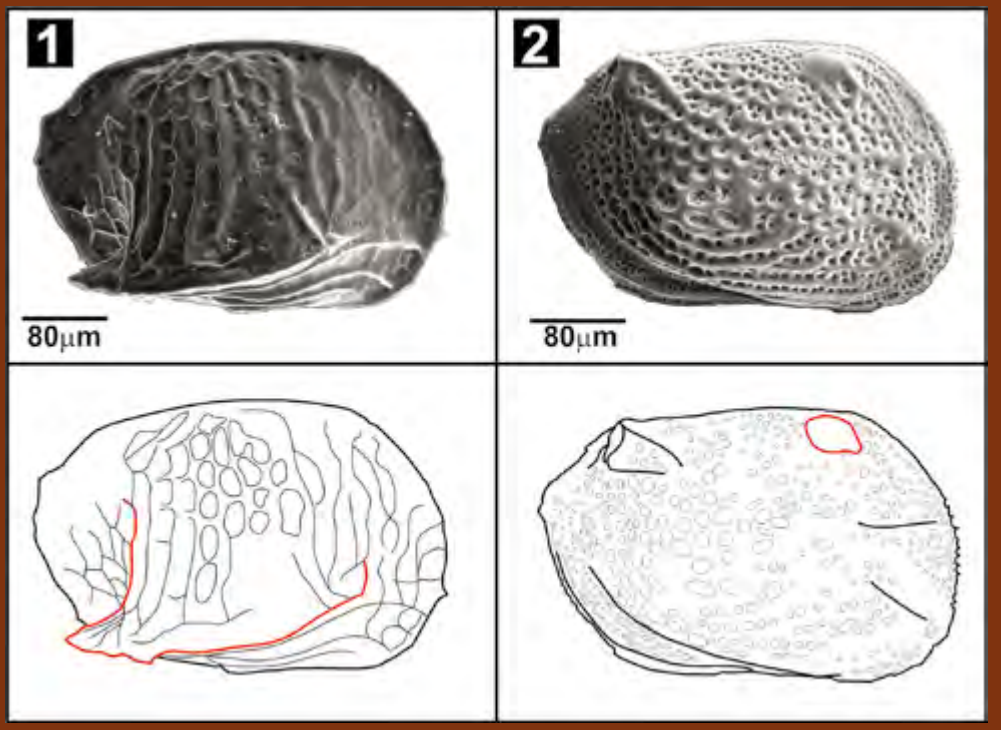


Figura 8. Duas espécies de ostracodes mostrando elementos morfológicos funcionais (demarcados em vermelho). 1. estrutura alar; 2. tubérculo ocular. Fonte: Sousa (2010).

Tecamebas e paleoambientes

As tecamebas são protistas unicelulares, os quais habitam lagos, rios, turfeiras e solos e, menos frequentemente, estuários. Esses organismos variam em tamanho de 20 m a 200 m, e são abundantes e diversificados (cerca de 2.000 espécies já foram descritas).

De acordo com Scott *et al.* (2001), há espécies que secretam a própria carapaça (autógenas), conhecida como testa, enquanto outras constroem suas testas a partir da aglutinação de partículas minerais e partículas orgânicas encontradas no entorno (xenógenas). As testas apresentam uma grande variedade de formas.

As tecamebas ocupam todos os nichos ecológicos aquáticos continentais e, quando encistadas, podem sobreviver ao transporte por longas distâncias, possibilitando a colonização de ambientes por esses organismos.

De acordo com Mitchell *et al.* (2008), as tecamebas têm sido encontradas em todos os tipos de corpos de água doce (lagos, nascentes, rios e corpos d'água temporários) e em águas salobras (estuários). A fossilização, entretanto, ocorre quase exclusivamente em depósitos de lagos e pântanos. Com isso, as tecamebas fósseis estão restritas aos depósitos sedimentares formados por corpos de águas doces, especialmente lagos. A maioria das tecamebas apresenta testa xenógena, sendo bem preservadas em turfeiras e sedimentos lacustres. Já as testas autógenas raramente são fossilizadas.

Muitas vezes os depósitos fluviais e lacustres são estéreis em fósseis, pois, embora sejam de ocorrência conspícua em águas doces, moluscos e ostracodes podem não ser preservados no registro, pois estão sujeitos à dissolução sob condições de pH baixo. Desse modo, em depósitos dessa natureza, é válido preparar amostras objetivando buscar tecamebas fósseis, visto que essas formas não se dissolvem nos depósitos fluviais e lacustres.

Apesar de pouco estudadas, as tecamebas fósseis apresentam um grande potencial como elementos auxiliares para o refinamento das interpretações paleoambientais de sistemas deposicionais fluviais e lacustres.

Dinoflagelados e paleoambientes

Os **dinoflagelados** (ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS) atuais são um dos maiores componentes do fitoplâncton marinho. As espécies marinhas (90% do total) podem ser eurihalinas (tolerantes a grandes variações de salinidade) e estenohalinas (tolerantes a flutuações estreitas de salinidade)

Os dinoflagelados marinhos **(Figura 9)** são encontrados em todos os tipos de clima. Costumam ser mais diversificados nos trópicos e mais numerosos em águas temperadas neríticas. Espécies euritérmicas (tolerantes a variações de temperatura) são cosmopolitas , e espécies estenotérmicas (sensíveis a variações de temperatura) são, geralmente, restritas a águas quentes.

Por analogia com ambientes atuais, os modelos paleoecológicos baseiam-se principalmente na abundância relativa de gêneros, espécies ou morfótipos. Uma das relações mais utilizadas é a proporção entre dinoflagelados heterotróficos e autotróficos (H/A), como indicadores da proximidade da costa ou de produtividade. Também podem ser inferidas informações sobre clima, batimetria ou correntes oceânicas a partir das associações encontradas. O aumento do número de dinoflagelados, em relação aos grãos de pólen e esporos, pode indicar aumento da distância relativa da linha de costa.

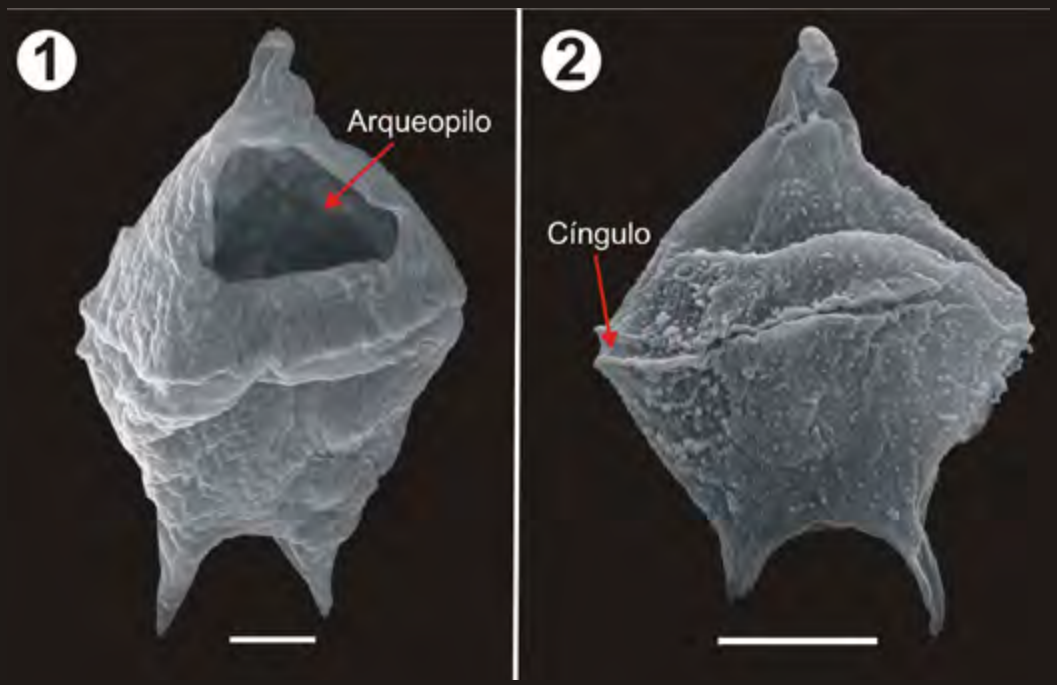


Figura 9. Fotomicrografias de dinoflagelados mostrando feições da teca. 1. Arqueopilo; 2. Cíngulo. Fotos cedidas por Mitsuru Arai.

Os **foraminíferos** (ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS) representam um dos grupos fósseis mais estudados quando se trata de interpretação paleoambiental devido à sua abundância e ao fato de ocorrerem em uma grande diversidade de ambientes, desde lagunas até águas profundas. Além de serem amplamente distribuídos geograficamente, também ocorrem sem interrupções no registro geológico desde o Cambriano.

Como os foraminíferos podem ter hábito planctônico ou bentônico , o estudo desses organismos pode fornecer indícios sobre as condições das massas d'água e das condições de fundo.

Os foraminíferos planctônicos vivem flutuando na massa d'água, secretam sua carapaça em equilíbrio químico com a água e, desse modo, registram sua temperatura e sua composição química. Por outro lado, os foraminíferos bentônicos vivem sobre (epifaunais) ou dentro de (infaunais) diversos tipos de sedimento.

Os foraminíferos bentônicos podem ser classificados de acordo com o tipo de parede das suas carapaças em aglutinantes, calcários hialinos e calcários porcelanosos.

A carapaça dos foraminíferos aglutinantes é formada por partículas sedimentares ou fragmentos das partes duras de outros organismos (ex: espículas de esponjas), as quais são fixadas por um cimento produzido pelo próprio foraminífero. Os foraminíferos aglutinantes têm a capacidade de selecionar o tipo de fragmento que irão utilizar para compor sua carapaça (ex: formas que aglutinam apenas quartzo) ou selecionar o tamanho das partículas.

A carapaça dos foraminíferos calcários porcelanosos é formada por cristais de calcita sem uma organização preferencial, com exceção da camada mais externa, onde os cristais estão orientados na direção do seu eixo maior, conferindo à parede uma aparência porcelanada. Por outro lado, a carapaça dos foraminíferos de parede calcária hialina é formada por cristais de calcita distribuídos aleatoriamente, o que dá à parede um aspecto vítreo **(Figuras 10 e 11)**.

A proporção dos três tipos de carapaças em uma amostra é indicativa do tipo de ambiente onde essas formas viveram.

Entre os métodos utilizados para realizar interpretações paleoambientais com base em foraminíferos, os mais difundidos são de fácil aplicação e consistem do emprego dos parâmetros relacionados a seguir.

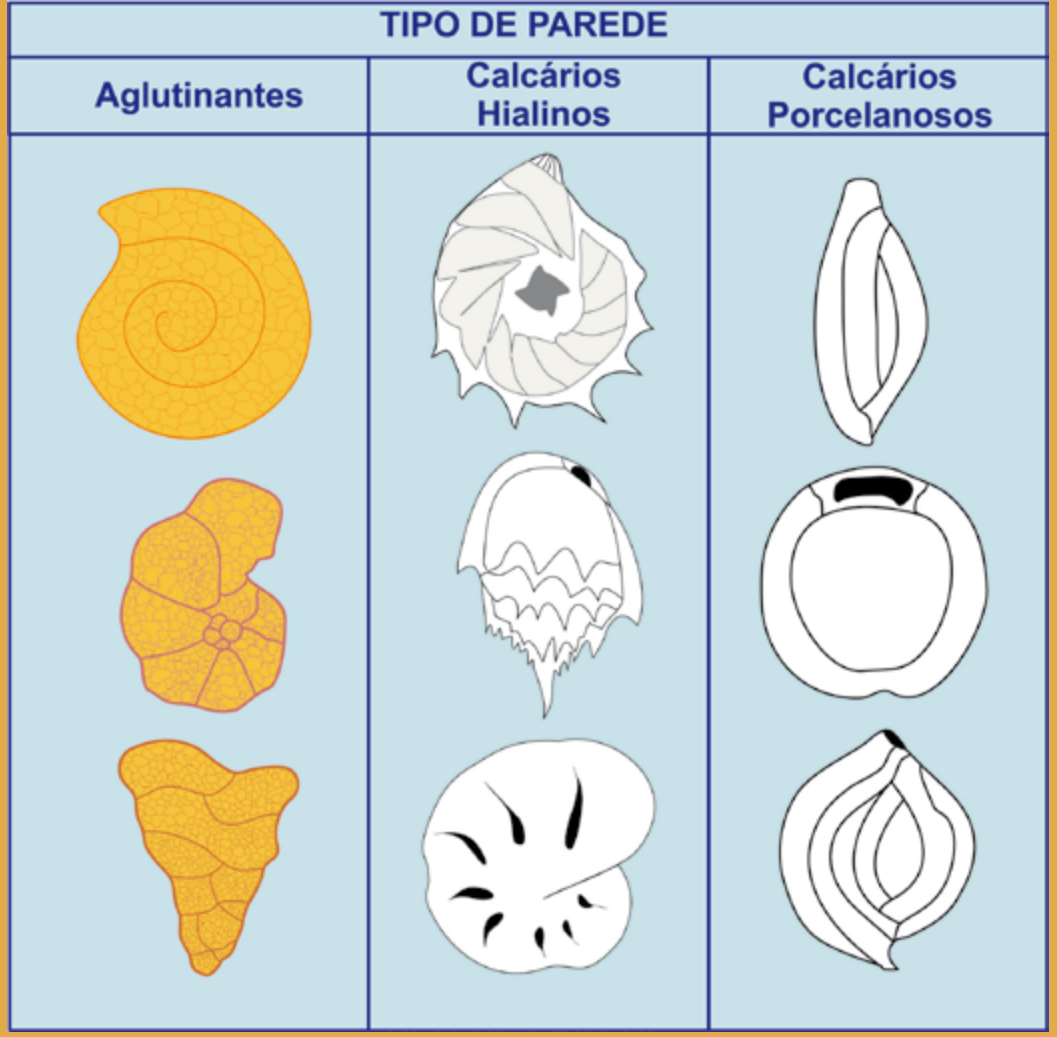


Figura 10. Representação esquemática da classificação dos foraminíferos bentônicos com base na composição/arranjo da parede.

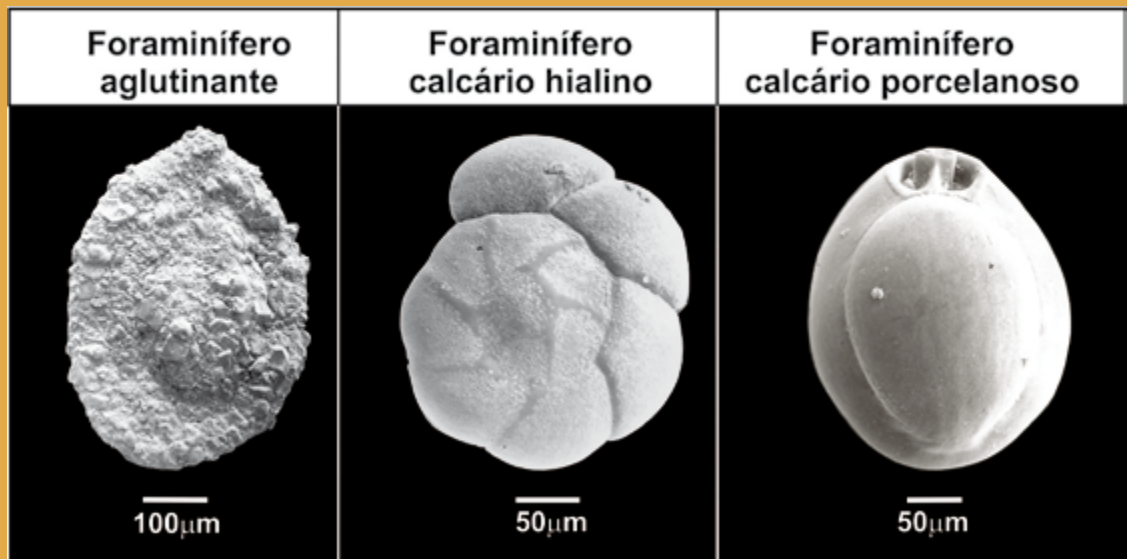


Figura 11. Espécimes representativos dos três tipos de parede em foraminíferos bentônicos. Fotos: Geise Zerfass.

Diversidade Específica – em geral, o aumento da diversidade de espécies em ambientes marinhos indica o afastamento da costa (**Figura 12**) .

Percentual de foraminíferos planctônicos – o percentual de foraminíferos planctônicos varia de 0% nos ambientes costeiros até 90% ou mais em águas profundas. Desse modo, o cálculo do percentual de formas planctônicas em relação às bentônicas em uma amostra é um indicativo de profundidade (**Figura 12**).

Percentuais dos tipos de parede dos foraminíferos bentônicos – os foraminíferos bentônicos podem ser classificados de acordo com o tipo de parede das suas carapaças em aglutinantes, calcários hialinos e calcários porcelanosos. Com base na proporção dos tipos de parede é possível inferir o ambiente onde a associação se desenvolveu, como ilustrado na **figura 13**.

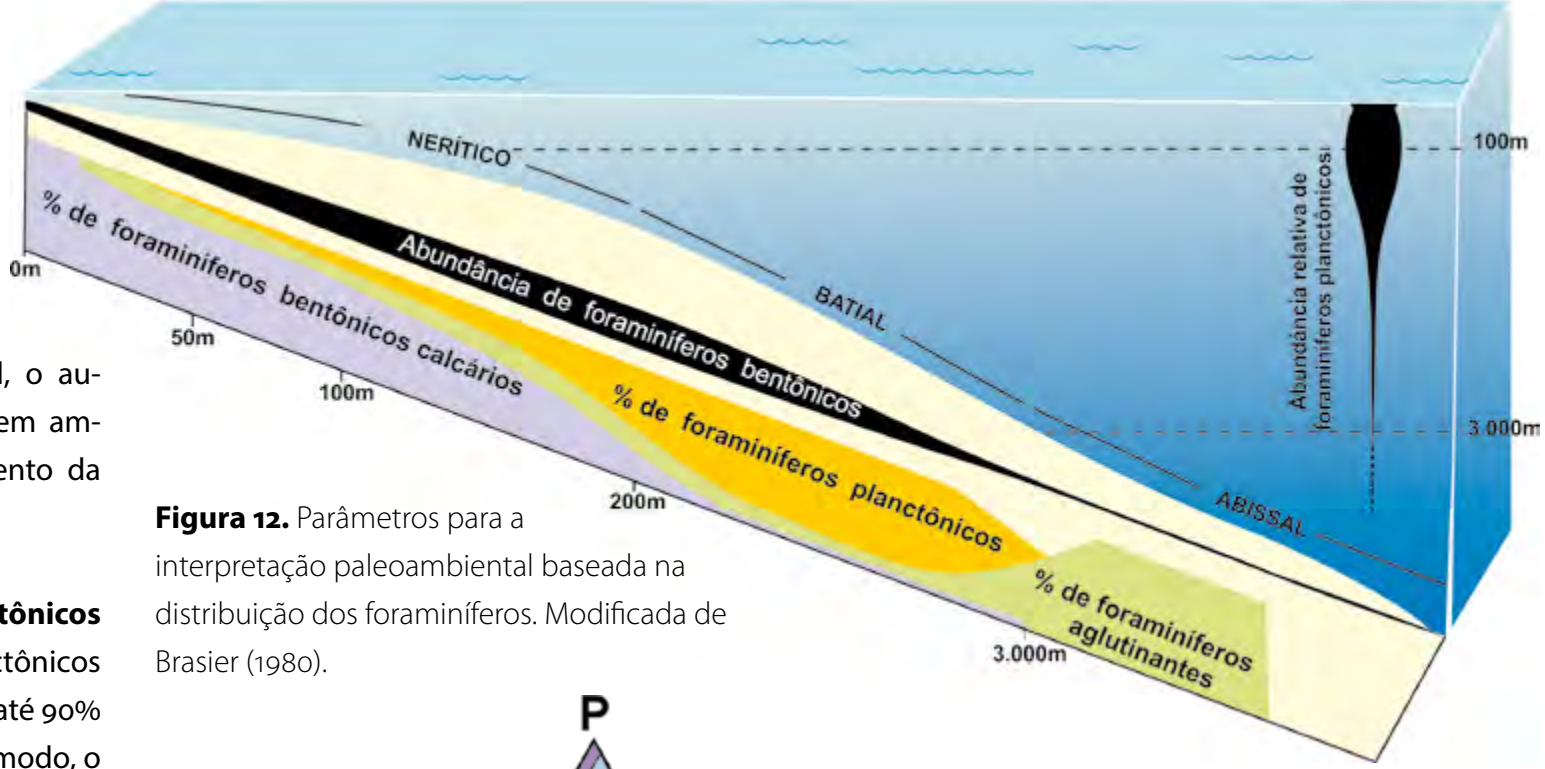


Figura 12. Parâmetros para a interpretação paleoambiental baseada na distribuição dos foraminíferos. Modificada de Brasier (1980).

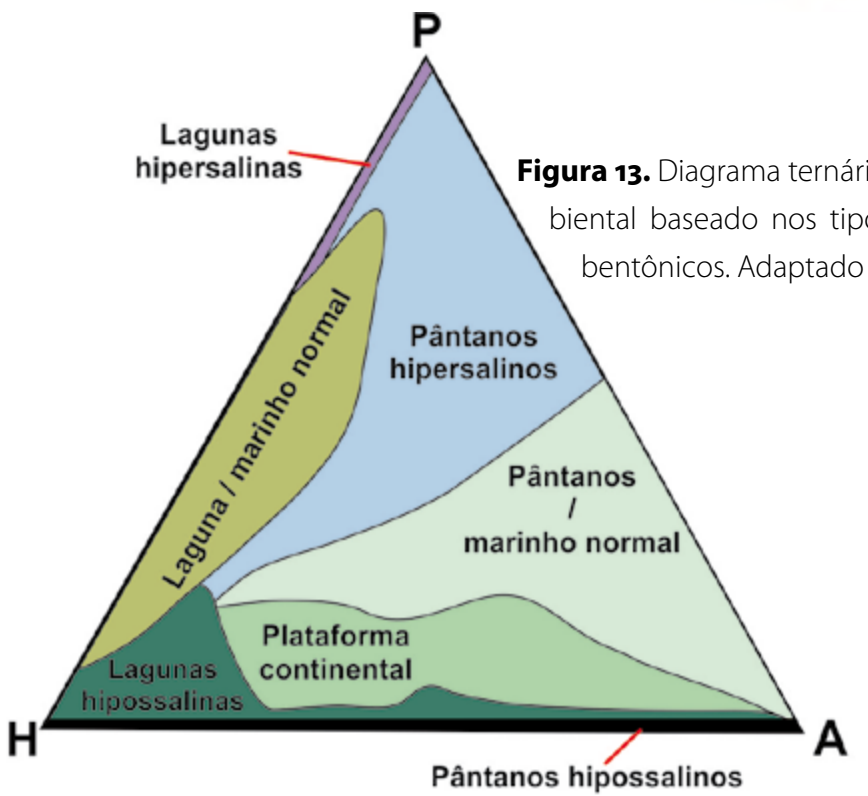


Figura 13. Diagrama ternário para a interpretação paleoambiental baseado nos tipos de parede dos foraminíferos bentônicos. Adaptado de Murray (1973, 1991).

A = parede aglutinante, H = parede calcária hialina, P = parede calcária porcelanosa

REFERÊNCIAS

BABINOT, J. F. 1995. Patterns of variability in ostracode species and communities from the late Cretaceous carbonate platforms? A report for ecozonal modeling and study of ambient conditions. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 119:93-106.

BRASIER, M.D. 1980. Phylum Sarcodina. In: Microfossils. Londres: Unwin Hyman, p.90-121.

CANUDO, J.I. 2002a. Pólens y Esporas. In: E. MOLINA, E. (ed.). Micropaleontología. Prensas Universitarias de Zaragoza, Série Textos Docentes, p. 347-363.

CANUDO, J. I. 2002b. Ostácodos. In: E. MOLINA, E. (ed.). Micropaleontología. Prensas Universitarias de Zaragoza, Série Textos Docentes, p. 399-418.

CARVALHO, I. S. 2004. Paleontologia. Rio de Janeiro: Interciência.

DODD, J. R. & STANTON JR., R .J. 1981. Paleoecology, concepts and applications. 1ª ed. New York, United States of America, 559p.

GASTALDO, R. A.; SAVRDA, C. E. & LEWIS, R. D. 1996. Deciphering Earth History: a laboratory manual with internet exercises. Contemporary Pub. CO., Pennsylvania State University, USA.

JENKINS, D. G. 1993. Applied Micropalaeontology. Netherlands: Kluwer academic Publishers.

MITCHELL, E. A. D.; CHARMAN, D .J. & WARNER, B. G. 2008. Testate amoebae analysis in ecological studies of werlands: past, present and future. Biodiversity Conservation 17:2115-2137.

POÇAS, M. E. P. 2004. Contribuição da palinologia para a caracterização paleoecológica e paleoclimática do Cenozoico a norte do Douro. Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Dissertação de Mestrado, 90p.

SCOTT, D. B.; MEDIOLI, F. S. & SCHAFER, C.T. 2001. Monitoring in Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebian Indicators. Cambridge University Press, 192p.

SIGEE, D. C. 2005. Freshwater Microbiology: Biodiversity and dynamics interactions of microorganisms in the aquatic environments. England: John Willey & Sons, Ltd., 524p.

SOUSA, A. J. 2010. Ostracodes marinhos de águas profundas do Pleistoceno-Holoceno, Bacia de Campos: interpretações paleoambientais e paleoclimáticas. Departamento de Geociências, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Monografia de Conclusão de Curso, Graduação em Geologia, 126p.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Microfósseis e seus paleoambientes

Microfósseis revelando paleoambientes

Grãos de pólen: como reconstruir paisagens passadas

Material palinológico: interpretação paleoambiental

16

PALEOBIOGEOGRAFIA: A DINÂMICA DA TERRA E DA VIDA

José Ricardo Inacio Ribeiro
Ana Luiza Ramos Ilha

O estudo da distribuição no espaço e no tempo de organismos exclusivamente fósseis denomina-se **Paleobiogeografia.** Essa ciência baseia-se em conceitos da Biogeografia , a qual busca não apenas descrever a distribuição geográfica dos organismos, mas também o porquê deles estarem em um local e não em outro.

É fácil ver um fenômeno de colonização de organismos. Basta, por exemplo, construir uma fonte e voltar ao lugar depois de uma semana. É surpreendente ver a quantidade de coisas vivas que aparecem nela (insetos, caracóis, plantas, etc.). Agora, imagine isso em escalas geográficas maiores, como numa lagoa, ou num continente, ou num oceano. Assim como na fonte construída, uma lagoa ou um continente apresenta organismos que os colonizam e se distribuem no espaço e no tempo.

Se tivéssemos, entretanto, a intenção de explicar porque aqueles organismos estão numa fonte construída e não num lago ou num riacho, teríamos que ir em busca de um maior entendimento acerca da distribuição dos organismos no espaço e no tempo. Como iremos perceber, não é uma questão muito fácil de responder.

Voltando ao exemplo da fonte, se estivermos ainda interessados em estudar o porquê da diferença na composição de organismos encontrada entre as fontes construídas em nossa casa e na casa do vizinho, devemos nos preocupar com aspectos diferentes

daqueles que iríamos nos preocupar se fôssemos estudar dois continentes, por exemplo. A diferença entre os enfoques está relacionada com o tipo de escala usada: a distribuição de organismos nas fontes aborda problemas em escalas espaciais e principalmente temporais pequenas (uma fonte de 6m² colonizada em uma semana!), enquanto a distribuição dos organismos nos continentes aborda problemas em escalas espaciais e temporais maiores (ex: 17.611.000 km² de terras colonizadas em 1 milhão de anos!).

Se a escala de trabalho é grande, como a distribuição diferenciada de organismos em continentes, oceanos, etc., formando diferentes biotas , devemos nos basear no passado para explicar suas distribuições atuais e nos apoiarmos em informações de Geologia e Paleontologia.

Como herança das ideias de Charles Darwin (1809-1892), Alfred R. Wallace (1823-1913) e Leon Croizat (1894-1982), duas correntes biogeográficas de pensamento foram estabelecidas. A primeira (fundamentada nas ideias de Darwin e Wallace) **(ver capítulo EVOLUÇÃO SOB A PERSPECTIVA DO REGISTRO FÓSSIL)** supunha que as espécies originavam-se a partir de um centro de origem (a ocorrência de fósseis mais antigos é provável nesses centros de origem) e espalhavam-se, ou seja, se dispersavam. Eventos de especiação ocorriam, e essas novas espécies deslocavam as mais antigas para as áreas periféricas. Assim, os representantes mais recentes seriam encontrados no centro de origem, e esses centros representariam os locais com maior número de espécies **(Figura 1)**. A essa causa histórica dá-se o nome de **Dispersão**.

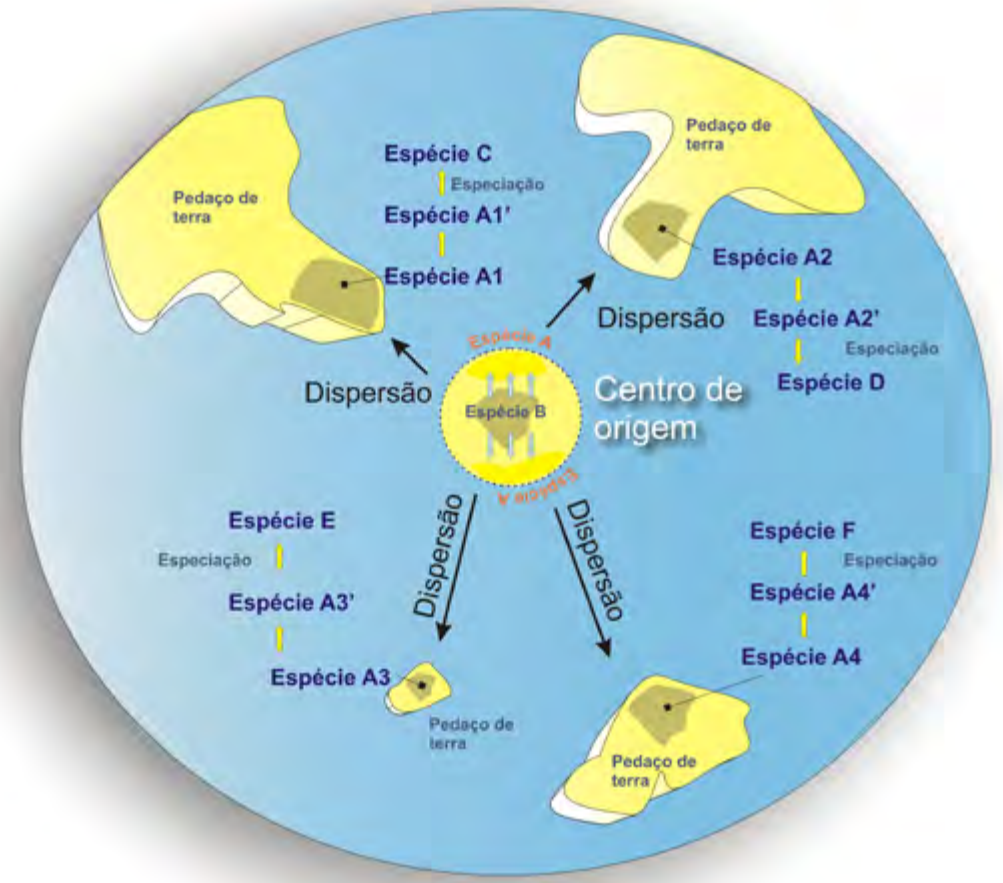


Figura 1. Esquema ilustrando o processo histórico de formação e distribuição de espécies no Planeta Terra denominado Dispersão. Os continentes não se movem e as barreiras existem previamente. Segundo os dispersionistas, as espécies originavam-se a partir de um centro de origem e espalhavam-se para outros lugares. Eventos de especiação ocorriam por sobrevivência diferenciada (seleção natural), e essas novas espécies deslocavam as mais antigas para as áreas periféricas. No centro de origem, seriam encontrados os representantes mais recentes, e esses centros representariam os locais com maior número de espécies.

A segunda (influenciada por Croizat) baseava-se na hipótese de que os organismos evoluíam a partir do surgimento de barreiras, que os separavam em grupos menores. O isolamento geográfico acarretaria em isolamento reprodutivo e, com o tempo, novas espécies surgiriam, substituindo as populações originais, que existiam antes da formação dessas barreiras **(Figura 2)**. Essa causa histórica denomina-se **Vicariância**.

Para entender melhor como o surgimento de barreiras geográficas influencia a história evolutiva dos seres vivos, vamos observar a **figura 3**.

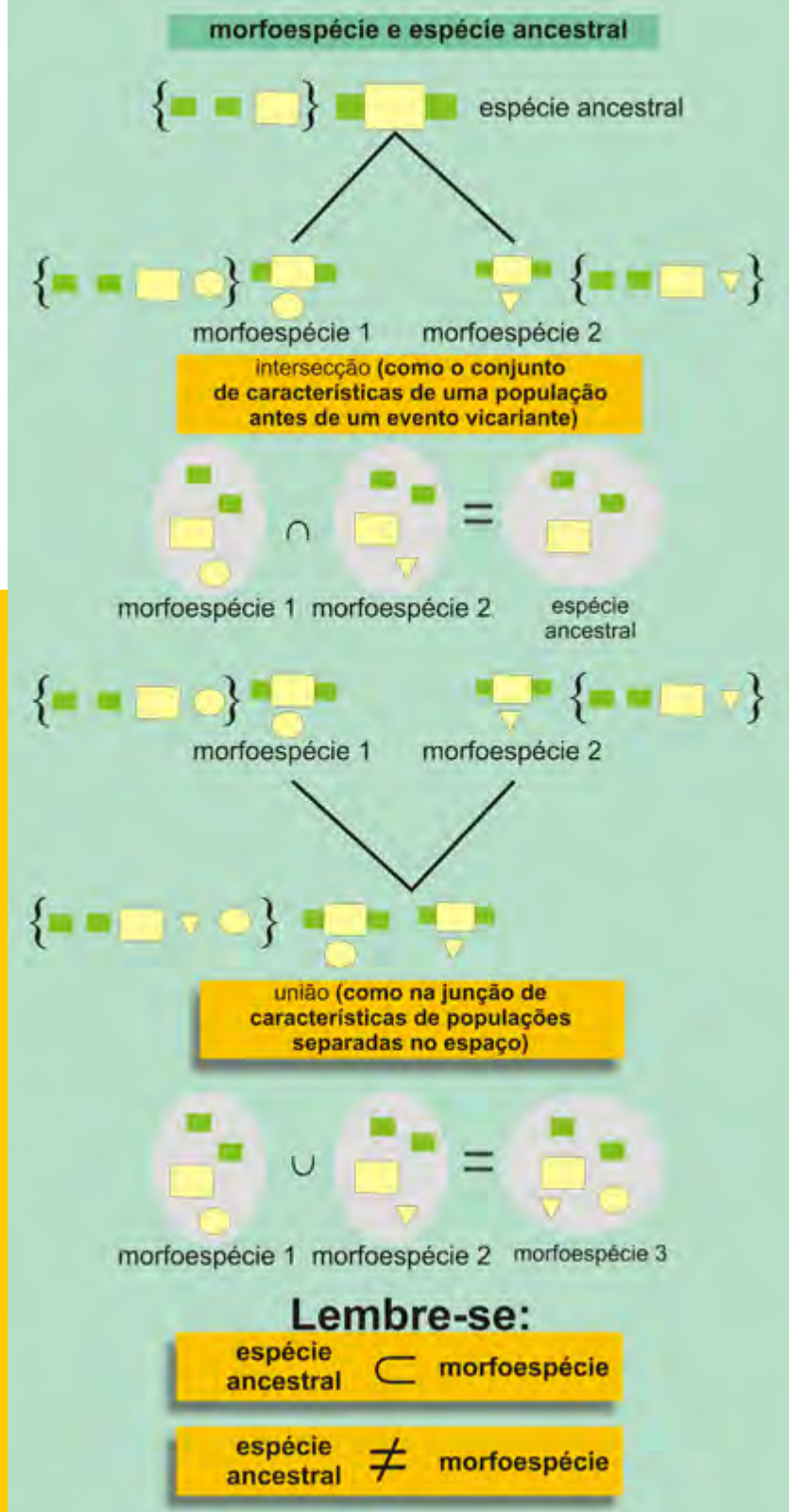
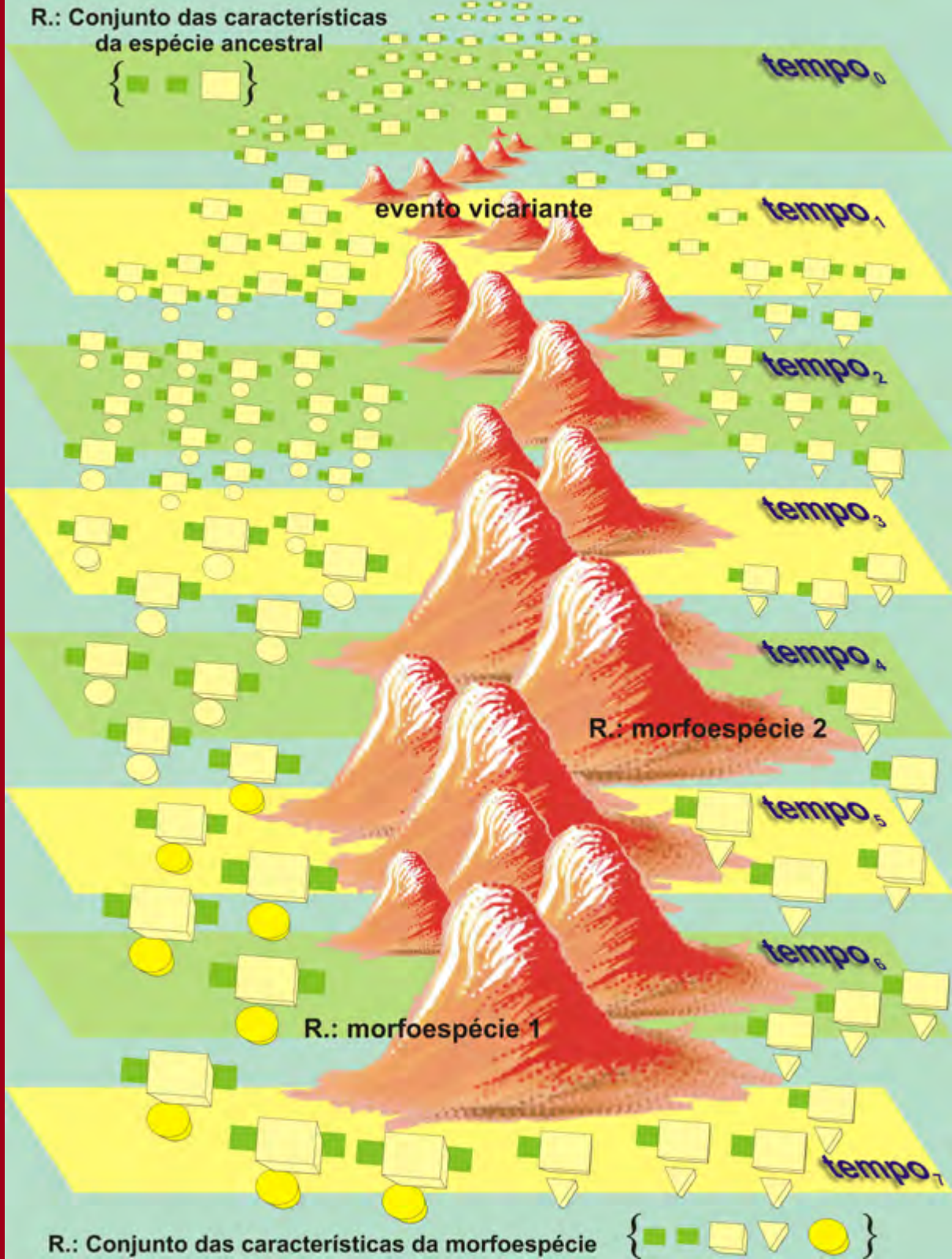


Figura 2. Para entender melhor como o deslocamento de massas de terra atua na história dos seres vivos, evocamos a Teoria Intuitiva dos Conjuntos. Ela explica a partir de uma linguagem matemática e mais simples alguns dos processos evolutivos mais importantes: o da formação de novas espécies. As operações em conjuntos podem nos auxiliar no entendimento dos processos de vicariância (separação de populações por barreiras) e evolução reticulada (desaparecimento da barreira e a união de populações). Uma espécie ancestral sempre é um subconjunto de uma morfoespécie (espécie tipológica reconhecida apenas pela morfologia), uma vez que seu conjunto de características está presente na morfoespécie. Da mesma forma que dois subconjuntos não são iguais, duas morfoespécies também nunca são iguais porque são partes próprias da espécie ancestral, e a intersecção de seus conjuntos de características é nula. Assim: Se todas as características do conjunto da espécie ancestral também são características do conjunto da mosfoespécie (1 ou 2), então a espécie ancestral é um subconjunto da morfoespécie, denotado por: espécie ancestral $\subset$ morfoespécie.

A intersecção **(∩)** dos conjuntos de características das morfoespécies 1 e 2 é o conjunto das características que são comuns à ambas morfoespécies.

A união **(U)** dos conjuntos de características das morfoespécies 1 e 2 é o conjunto de todas as características de ambas morfoespécies.

Figura 3. Formação de novas espécies a partir de eventos vicariantes (ex: surgimento de cadeia de montanhas). Uma população hipotética (espécie ancestral) é separada no espaço no momento "tempo 1" pelo soerguimento de uma cadeia montanhosa. Ao longo do tempo (tempo 1 ao tempo 6), as populações separadas "ganham" ou "perdem" características, ou seja, vão acumulando diferenças genéticas. Elas são morfoespécies 1 e 2 no momento de separação de população hipotética, entre o tempo 0 (zero) e 1. Entretanto, não sabemos ainda se também já diferem em seu genótipo. No "tempo 7", a barreira se desfaz e as duas populações são novamente postas em contato. Se as diferenças genéticas acumuladas foram suficientes para interromper o fluxo gênico entre ambas, mantendo o isolamento reprodutivo, então continuaremos a ter 2 morfoespécies. Caso contrário, ocorrerá uma evolução reticulada e o surgimento de uma terceira e única morfoespécie.



Entretanto, mesmo com o entendimento dos processos envolvidos na Dispersão e na Vicariância, era ainda bem difícil, no século XIX, se entender o porquê de algumas espécies apresentarem um padrão de distribuição **disjunta**, em diferentes continentes separados por extensas barreiras geográficas representadas pelos oceanos. Por exemplo, sabendo-se que as aves ratitas (emas, avestruzes, emus, casuares e kiwis) são organismos proximamente aparentados, isto é, compartilham uma espécie ancestral comum, era bastante intrigante entender seu padrão de distribuição: as emas ocorrem na América do Sul, os avestruzes, na África, enquanto os emus, casuares, moas e kiwis, na Oceania **(Figura 4)**.

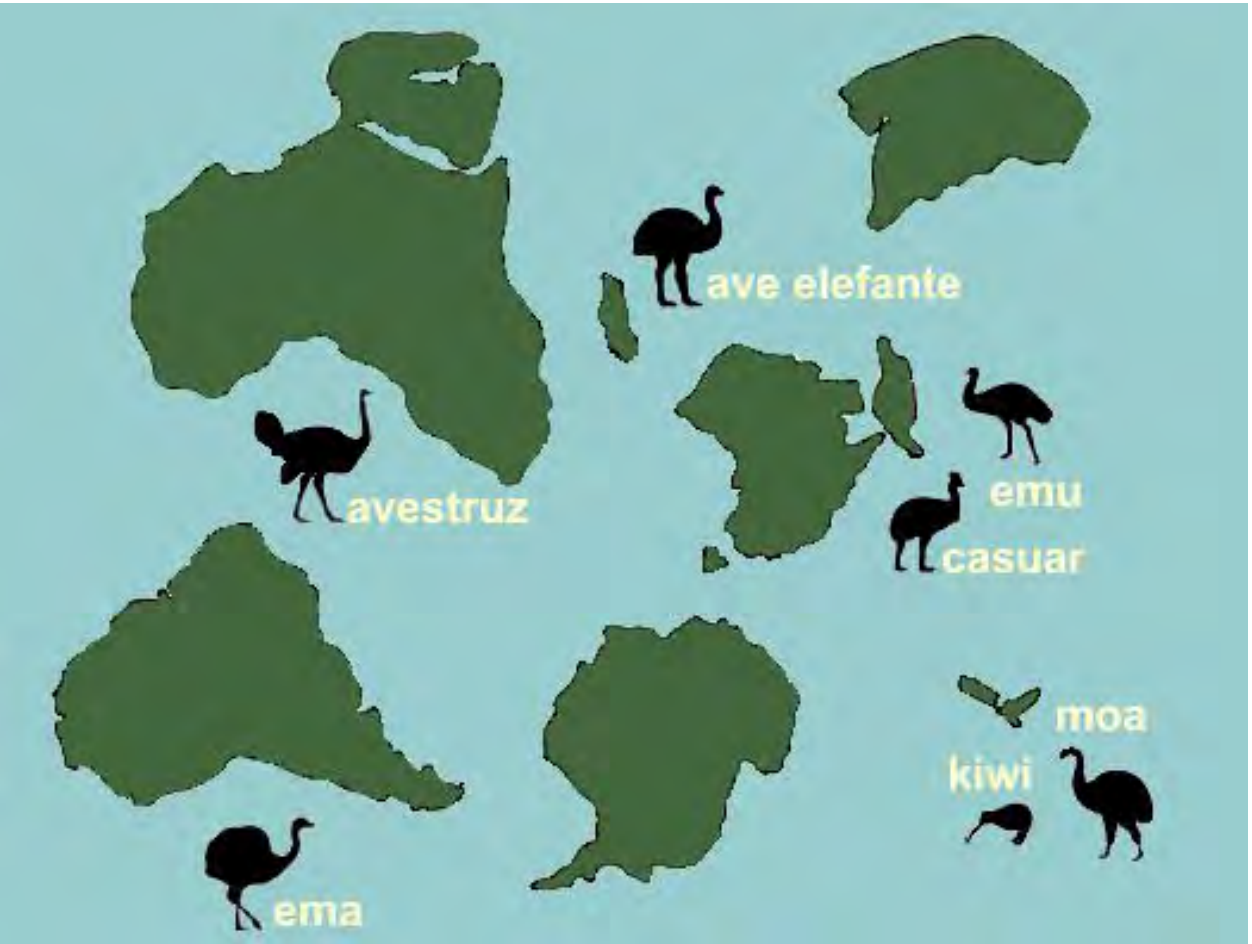


Figura 4. Distribuição disjunta das aves ratitas. Modificado de Dott e Prothero (1994).

Partindo do princípio de que os continentes eram imóveis, poderia se supor que representantes da espécie ancestral das aves ratitas, de um ponto inicial, ou seja, um centro de origem (a América do Sul, por exemplo), migraram, ultrapassando barreiras que já existiam (o oceano, nesse caso) e colonizaram novas áreas (África e Oceania). A partir desses indivíduos ancestrais, isolados geograficamente, a seleção natural **(ver capítulo EVOLUÇÃO SOB A PERSPECTIVA DO REGISTRO FÓSSIL)**, atuando como uma força que modifica os organismos, seria a responsável pela formação das novas espécies (emas, avestruzes, emus, casuares e kiwis). Entretanto, era bastante complicado imaginar que estas aves que não voam teriam se dispersado através dos oceanos e chegado em diferentes continentes!

Felizmente, a partir de 1912, com o surgimento da ideia da Deriva Continental **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES)** de Alfred Wegener (1880-1930), enigmas paleobiogeográficos desse tipo foram resolvidos. Os continentes não estavam imóveis, e os fenômenos de deslocamento de massas de terra continentais e insulares, bem como o da abertura e fechamento de oceanos e mares, afetavam a distribuição e a história dos seres vivos **(Figura 5)**.

Voltando às aves ratitas, foi, então, possível se dizer que os membros da sua população ancestral antes com uma grande amplitude de distribuição ao longo do Gondwana **(Figura 6)**, foram separados pela formação de uma barreira física (o surgimento de oceano entre as massas de terra), causada pela deriva continental. Como consequência, a partir da espécie original (ancestral), as espécies descendentes (emas, avestruzes, emus, casuares e kiwis) passaram a ocupar esses fragmentos do Gondwana (América do Sul, África e Oceania).

Figura 5. Esquema ilustrando o processo histórico de formação e distribuição de espécies no Planeta Terra, denominado Vicariância. Os organismos evoluem a partir do surgimento posterior de barreiras, como a deriva de pedaços de terra ilustrada. A consequência disso será a separação da espécie A em várias subpopulações.

A TERRA E A VIDA EVOLUEM JUNTAS (A PANBIOGEOGRAFIA)

Grande parte da ocorrência atual de seres vivos no planeta Terra está relacionada com o que aconteceu com os continentes no passado. Mas o que a distribuição atual de um grupo de organismos significa para nós? O que significa termos muitas distribuições semelhantes de organismos completamente diferentes? Existe algum jeito de descobrir o que de fato aconteceu no passado da Terra?

De todas as perguntas feitas, só vamos responder definitivamente a última. Não! Não podemos. Só podemos supor o que aconteceu. E, para tentarmos responder as outras perguntas, é útil dispormos de alguns mecanismos que são invenções nossas para "encurtar" o caminho usado na busca dessas respostas.

Se voltarmos ao quintal da nossa casa e se quisermos saber que tipos de insetos, caracóis e plantas ocorrem lá, precisaríamos coletar vários indivíduos desses grupos. Com uma lupa, iríamos separando nossos organismos com base no conhecimento que é concebido por nós a partir de nossos familiares, da experiência do dia a dia, etc. Mal ou bem, mesmo não sendo especialistas em caracois, insetos e plantas, teríamos a tendência de agrupar esses organismos por semelhança de forma, cor ou outros critérios que julgássemos importantes. Após o processo de separação dos organismos, iríamos notar a formação de grupos (por exemplo, no nosso quintal havia caracois com concha, caracois sem concha, isto é, lesmas, insetos saltadores, insetos aquáticos, plantas grandes e pequenas etc.)

Figura 6. O ancestral comum das aves ratitas atuais apresentava grande amplitude de distribuição no Gondwana antes da separação da Pangeia, há 145 Ma. Baseada em Dott e Prothero (1994).

Suponhamos que todos os nossos organismos tenham sido agrupados de forma o mais correta possível... (Que sorte hein?!). Ao voltarmos para o nosso quintal, iríamos mapear as distribuições desses organismos. Para tanto, teremos que dispor de uma espécie de mapa dos dois quintais, denominados aqui de quintal A e quintal B, como na **figura 7**.

A área em si foi dividida anteriormente por um muro, o mesmo que separa a nossa casa da casa do vizinho. Nesses mapas, se houver, colocaremos alguns referenciais (uma pedra, uma árvore e, é claro, as fontes do quintal A e do quintal B). Com o mapa e lápis em mãos, indicaremos com pontos os locais onde foram encontrados os caracois com concha, as lesmas, os insetos saltadores e as plantas pequenas. Para facilitar, cada grupo de seres vivos é indicado por um símbolo diferente. No entanto, para podermos ter uma ideia da área original toda, devemos fazer um trabalho o mais completo possível, registrando os mesmos organismos no quintal do vizinho. Os quintais são separados por uma parede que isola completamente uma área da outra (lembrem-se ainda que também teríamos que conferir a identificação dos organismos coletados!)...

Agora, com o mapa pronto, teremos algo como na **figura 8** Nele, podemos ver a distribuição espacial de diferentes grupos de seres vivos num momento pequeno de tempo, como os grandes pesquisadores que trabalham com biogeografia o fazem em mapas. Para a Panbiogeografia, a forma de distribuição de diferentes organismos com diferentes capacidades de dispersão é o resultado da interação desses organismos no tempo e no espaço.

O que queremos com isso? Queremos, na verdade, descobrir se os diferentes organismos que vivem no nosso e no quintal do vizinho apresentam uma mesma história de distribuição, porque apresentam suas áreas de distribuição congruentes, total ou parcial. No exemplo dos quintais, os eventos de separação podem ser enumerados como (1) a construção do muro que separa uma grande área em dois quintais e (2) a presença de terra separando o lago e as fontes em ambos os quintais. Numa escala pequena como essa, entretanto, é bem possível que o muro e o aterramento não sejam barreiras efetivas e estejam apenas mascarando a nossa ideia de que aquele terreno, um dia, foi uma coisa só. Vamos ver?

A Panbiogeografia, em outras palavras, vai nos permitir supor como foi a distribuição passada dos organismos dos quintais.

Para fins didáticos, vamos desprezar os problemas das escalas e imaginar que estamos trabalhando com espécies ou grupos supra-específicos (acima do nível de espécie como gênero, família etc.) em escalas espaciais maiores, como continentes, e em escalas temporais maiores, como um intervalo de milhões de anos.

Infelizmente, entender a distribuição passada dos organismos nos dois quintais não é fácil, porque muitos bichos podem pular e voar, como os insetos saltadores e aquáticos, e muitas plantas podem espalhar suas sementes pelo vento ou pela água, atravessando assim as chamadas barreiras. E ainda existe o problema do tempo. A distribuição dos organismos de hoje é na verdade aquela de um curto intervalo de tempo! Se usarmos apenas organismos atuais, o entendimento dos eventos geoló-

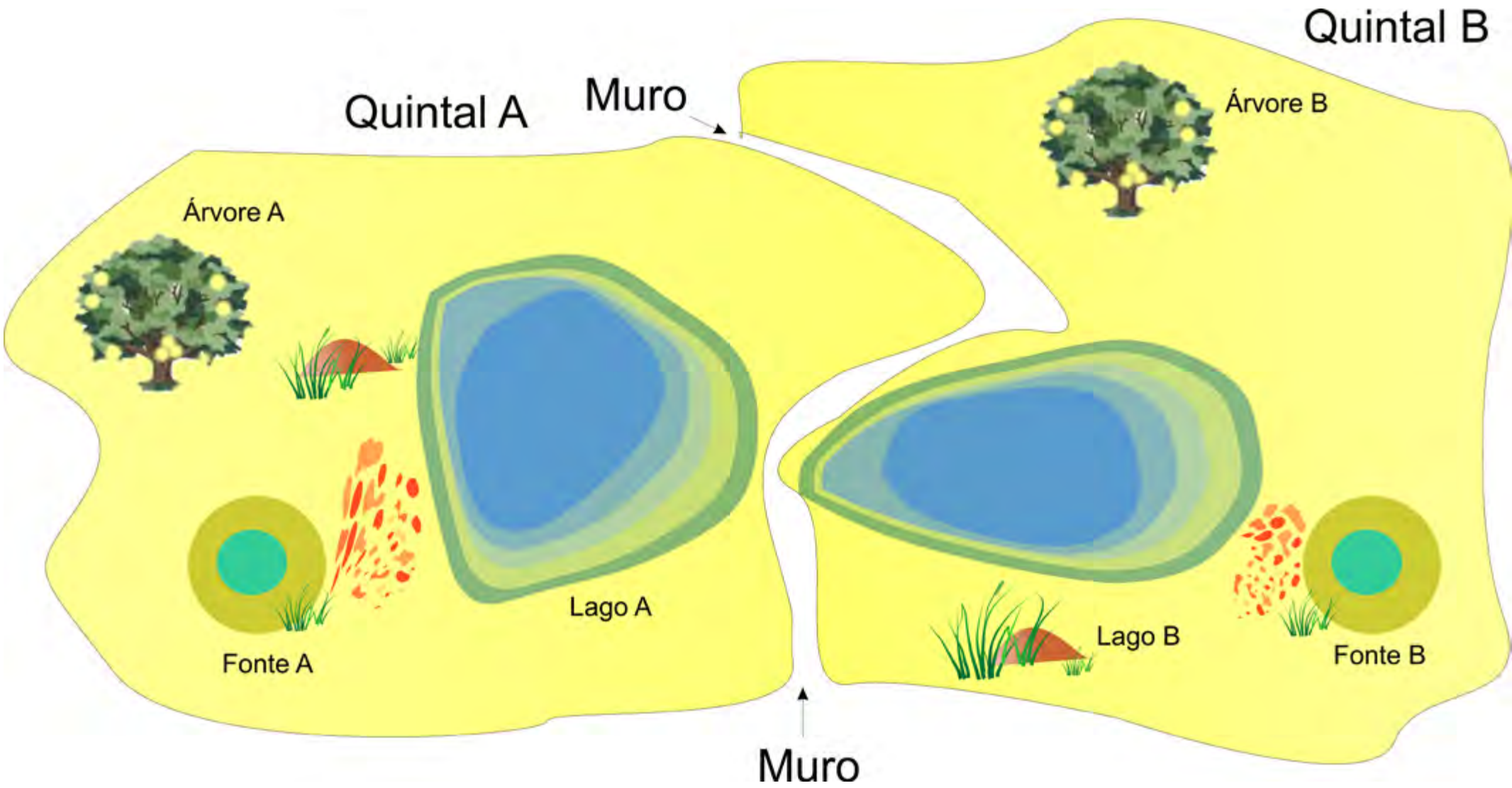


Figura 7. Mapa esquemático indicando os quintais das duas casas A e B e seus elementos.

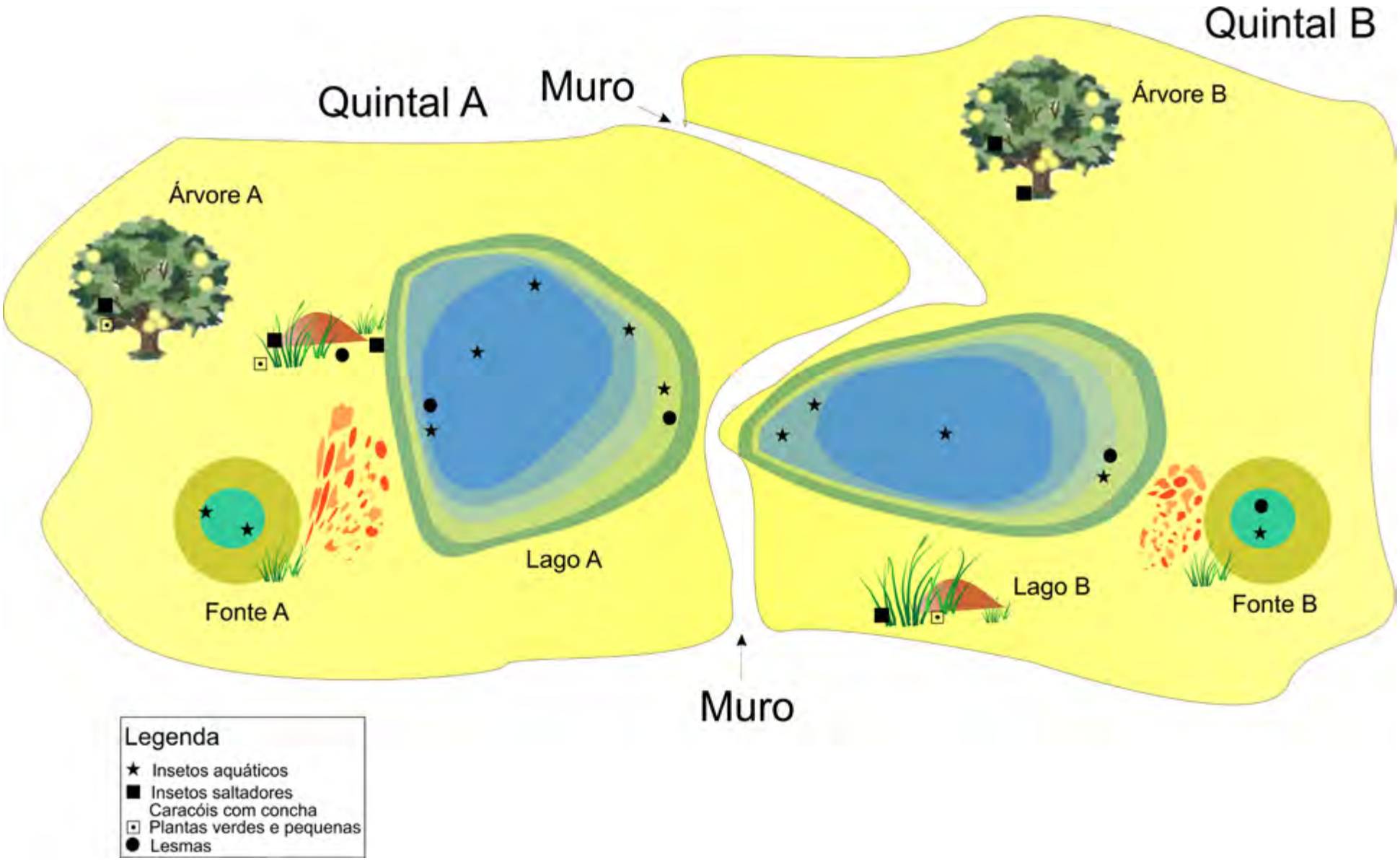


Figura 8. Mapa esquemático dos quintais das duas casas A e B, indicando a distribuição de cinco grupos de organismos.

gicos e da história desses organismos fica cada vez mais comprometido à medida que avançarmos no passado.

Mesmo com algumas dificuldades, a Panbiogeografia desenvolveu uma série de etapas, as quais são listadas abaixo, para atingir um único objetivo: o de levantar a hipótese de que diferentes organismos estiveram integrados em uma mesma biota:

(a) diante de coordenadas geográficas de organismos num mapa, traçamos linhas (trilhas ou traços), conectando-as, de modo que a soma dos segmentos que conectam as localidades seja a menor possível, como na **figura 9**; esses traços desenhados por nós, de cada grupo amostrado, são chamados traços ou trilhas individuais;
(b) se fizermos isso para mais de um grupo de organismos (o que é desejável), podemos avaliar a congruência desses traços individuais, porque vamos perceber que alguns traços individuais se sobrepõem, outros não, pelo menos em alguns trechos **(Figura 10)**. A sobreposição de traços individuais e sua suposta congruência geram os traços ou trilhas generalizadas e constituem a analogia mais importante do método: a de que organismos diferentes passaram por um mesmo evento histórico de vicariância. Portanto, os traços generalizados constituem distribuições de organismos diferentes das atuais oriundas de biotas ancestrais, fragmentadas por eventos de vicariância.

Na **figura 10**, se fizermos os traços individuais para cada grupo de organismos, vamos perceber que existe a sobreposição dos seguintes traços e, portanto, traços generalizados:

(a) insetos aquáticos, caracóis com concha e as lesmas, conectando a fonte A e o lago A, bem como o lago B e a fonte B e, de forma mais abrangente, a fonte A, o lago A, o lago B e a fonte B;
(b) plantas pequenas e insetos saltadores, pelo menos em uma parte do trecho (até o arbusto do outro lado do muro).

Após essa etapa, teremos indicados no nosso mapa dois traços generalizados **(Figura 11)**: um que conecta a árvore A com o arbusto B, e outro que conecta a fonte A com a fonte B. Os traços generalizados da nossa área de trabalho são hipóteses que afirmam que esses organismos já estiveram juntos numa mesma área, antes da construção do muro! Pasmem! Os lagos e as fontes já foram uma coisa só! O aterramento e a construção de um muro não escondem esse padrão de distribuição, porque a escala de trabalho é muito pequena!

Numa segunda etapa, teríamos que testar as nossas suposições de que grupos de organismos diferentes tiveram a mesma história. No entanto, não testaremos as nossas suposições feitas para os quintais aqui, porque isso demandaria outras análises e novos conceitos que não fazem parte desta proposta de aprendizado.

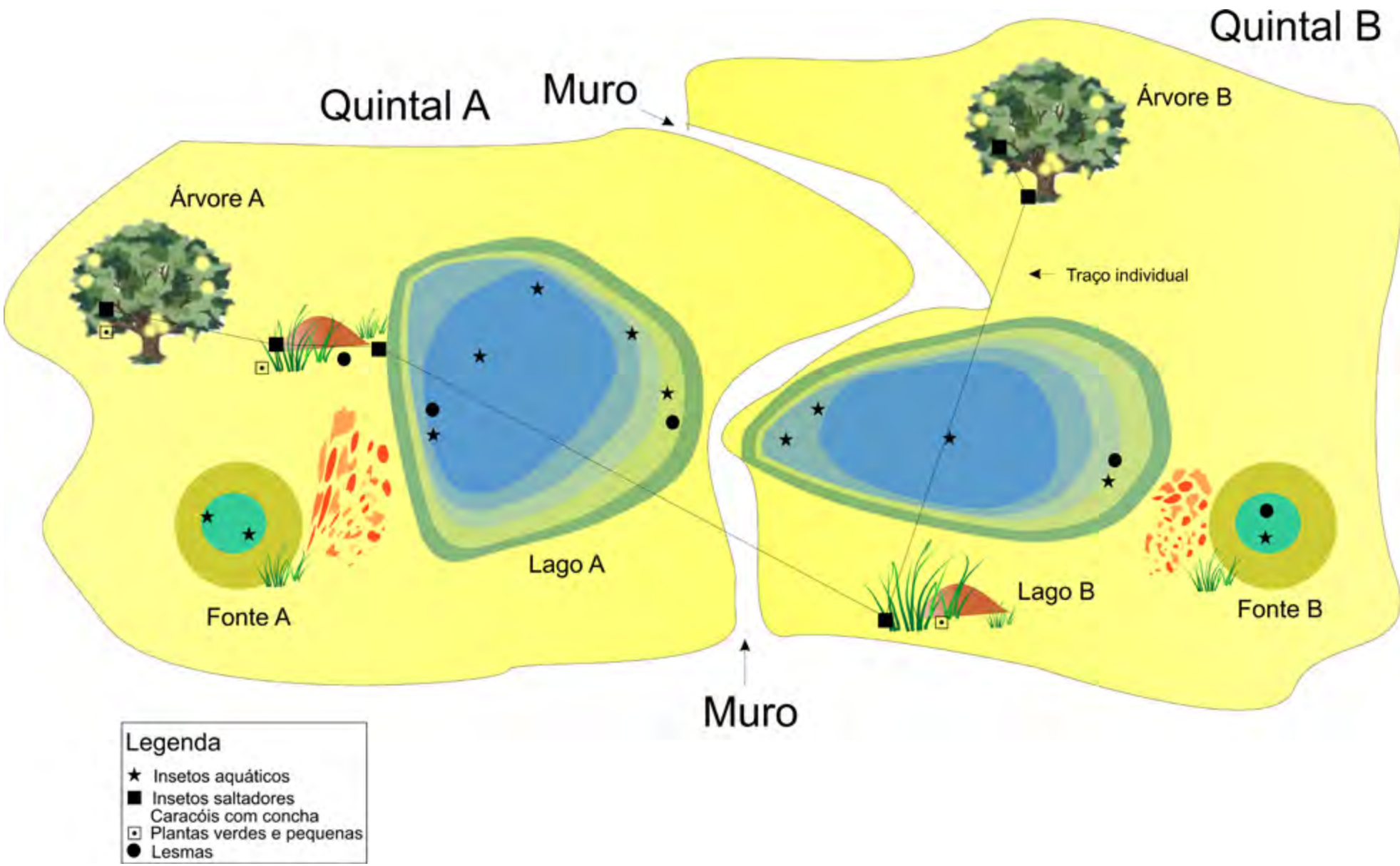


Figura 9. Mapa esquemático dos quintais das duas casas A e B, indicando uma trilha individual desenhada conectando-se os pontos de distribuição dos insetos saltadores a partir do critério de menor distância entre eles.

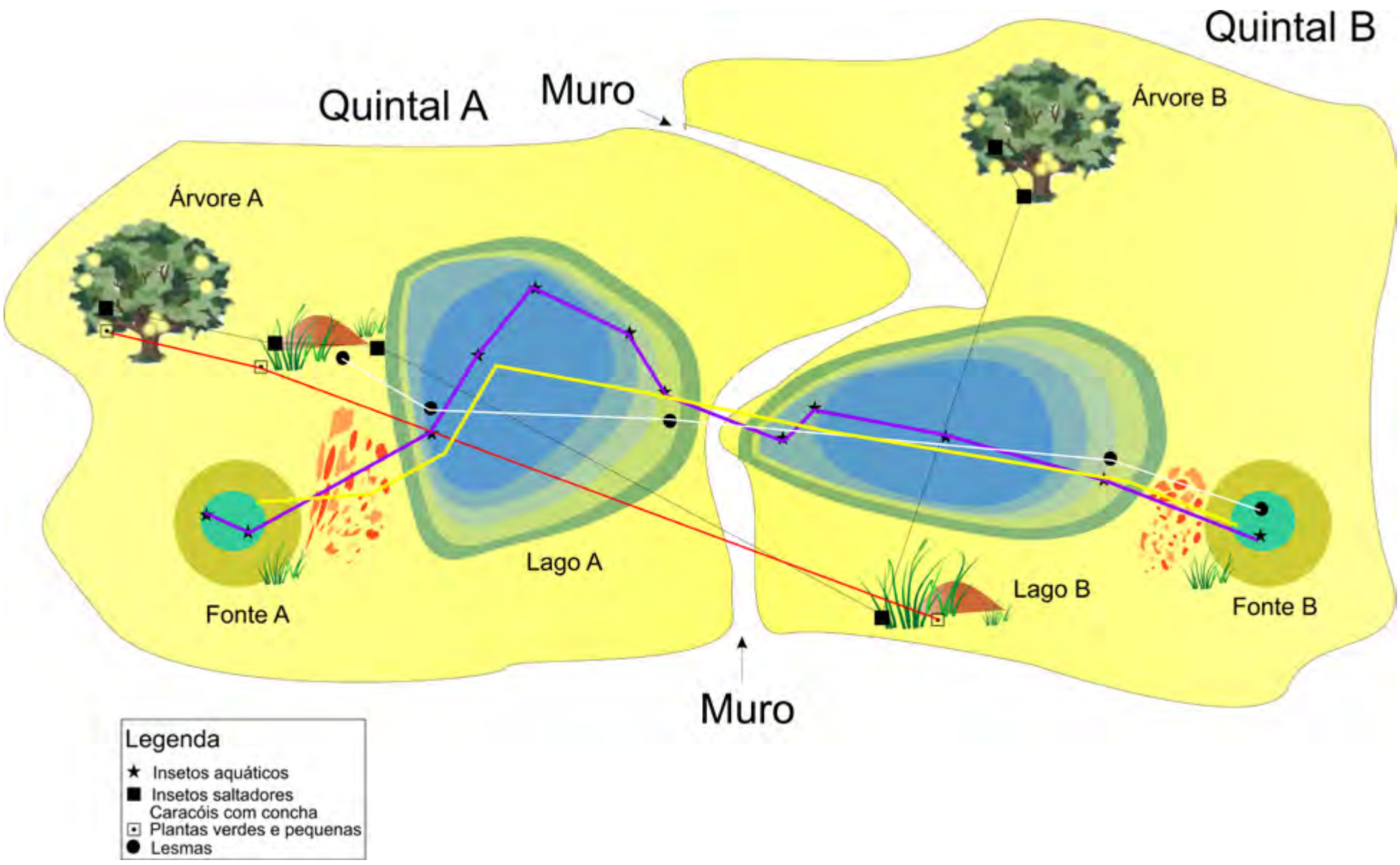


Figura 10. Mapa esquemático dos quintais das duas casas A e B, indicando todas as trilhas individuais desenhadas a partir da conexão dos pontos de distribuição dos organismos encontrados. Linha amarela – caracois com concha; linha branca – lesmas; linha preta – insetos saltadores; linha rosa – insetos aquáticos; linha vermelha – plantas verdes e pequenas.

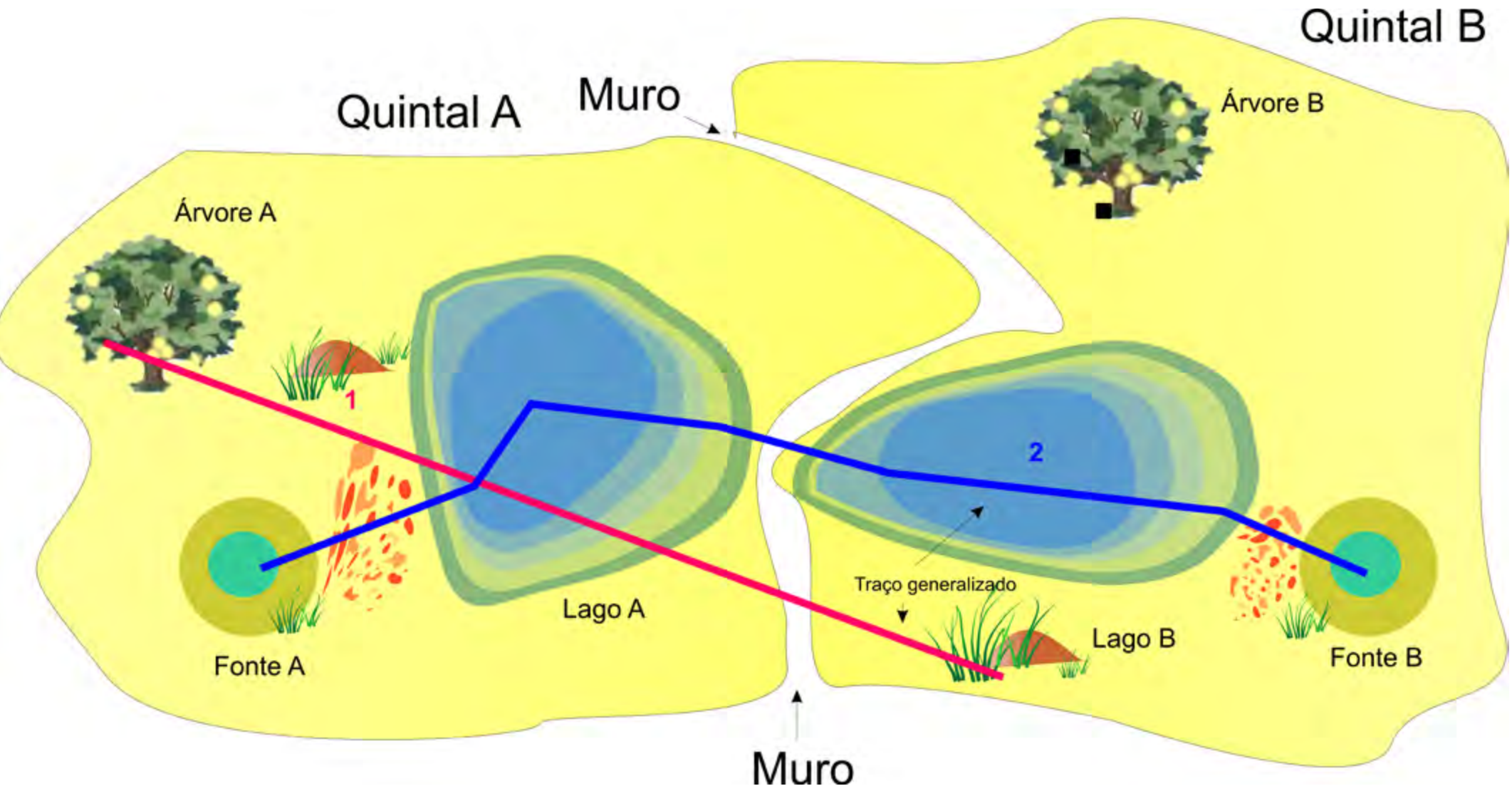


Figura 11. Mapa esquemático dos quintais das casas A e B, indicando todas as trilhas generalizadas obtidas a partir da sobreposição de pelo menos duas trilhas individuais. Trilha generalizada 1 conectando a árvore A com o arbusto B; trilha generalizada 2 – conectando a fonte A com a fonte B, passando pelos lagos A e B. Os organismos aquáticos e terrestres que já estiveram agrupados numa área só, anterior ao aterramento do lago e à construção do muro.

COMO OS PALEOBIOGEÓGRAFOS TRABALHAM?

Para ajudar a responder esta pergunta, vamos apresentar aqui um caso real, com espécies de anfíbios fósseis. O grupo taxonômico estudado não tem relação direta com os anfíbios atuais, os Lissamphibia. Os anfíbios aqui apresentados pertencem ao grupo dos temnospôndilos **(Figura 12)** e, se fôssemos fazer um paralelo com animais atuais, eles teriam uma aparência física e hábitos de vida semelhantes aos dos jacarés e crocodilos.

Sua existência estava restrita aos rios e lagos que existiam nas Eras Paleozoica e Mesozoica **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**. Nesse exemplo, usaremos apenas algumas famílias de temnospôndilos de ocorrência restrita ao início do Triássico . Durante esse período, os continentes estavam agrupados numa massa de terra única denominada Pangeia . Ao final do Triássico, esse supercontinente começou a se fragmentar em partes menores até atingir a configuração geográfica que temos atualmente em nosso planeta.

Foram estudados depósitos fossilíferos, onde aparecem representantes das famílias de temnospôndilos Lydekkerinidae, Mastodonsauridae e Rhytidosteidae **(Figuras 13A, 14A e 15A)**. A ausência desses animais em várias áreas do Pangeia pode ser devida à erosão dos depósitos de fósseis ou, simplesmente, ao fato de que em determinados lugares a sedimentação pode ter cessado ou ainda nunca ter ocorrido. Assim, é importante ter em mente que o estudo da Paleobiogeografia de um determinado grupo pode apresentar erros de ocorrência dos fósseis devido ao fato do registro fóssil não ser contínuo e apresentar inúmeros hiatos. Mesmo assim, é possível verificar padrões interessantes na distribuição dos fósseis. Ao se fazer traços individuais de cada família desses anfíbios fósseis **(Figuras 13B, 14B e 15B)**., é possível verificar, pela sobreposição desses traços, a inexistência de correspondência completa entre eles **(Figura 16A.)**. Porém, percebe-se a ocorrência de dois traços generalizados: um bastante extenso no Gondwana, continente ao sul do Equador, e um mais curto na Laurásia, ao norte do equador **(Figura 16B)**.

Como explicar essa distribuição disjunta dos anfíbios temnospôndilos em um supercontinente que possuía continuidade física em todas as direções? Para isso, é preciso saber o que houve antes do Triássico Inferior. No início da Era Paleozoica, os continentes encontravam-se separados. Conforme o tempo foi passando, estes se aproximaram vagarosamente e, no final do Permiano, atingiram uma configuração bastante próxima uns dos outros. Sabemos que o interior dos grandes continentes apresenta fenômenos de desertificação muito acentuados, devido ao fato de que as massas de ar úmido dos oceanos não conseguem migrar para o interior destes. E isso ocorreu no final do Permiano, quando o Pangeia se formou!

A explicação para a distribuição disjunta dos anfíbios temnospôndilos no Triássico Inferior provavelmente deveu-se a uma migração prévia das famílias ainda na Era Paleozoica, quando o clima era mais ameno. Quando os continentes atingiram o máximo de "ajuntamento", o clima se tornou muito quente e com isso o interior do Pangeia se tornou um enorme deserto que atuou como uma barreira à dispersão desses anfíbios. Como a escala de trabalho agora é bem grande, os efeitos do tempo e do espaço foram percebidos na distribuição dessa fauna!

Assim, temos um exemplo em pequena escala (o do quintal) e de grande escala, com organismos fósseis de ocorrência em praticamente todos os continentes, que nos auxiliaram a entender a metodologia utilizada pelos paleobiogeógrafos para tentar desvendar o que realmente aconteceu no passado da Terra, observando a distribuição atual e pretérita dos seres vivos.

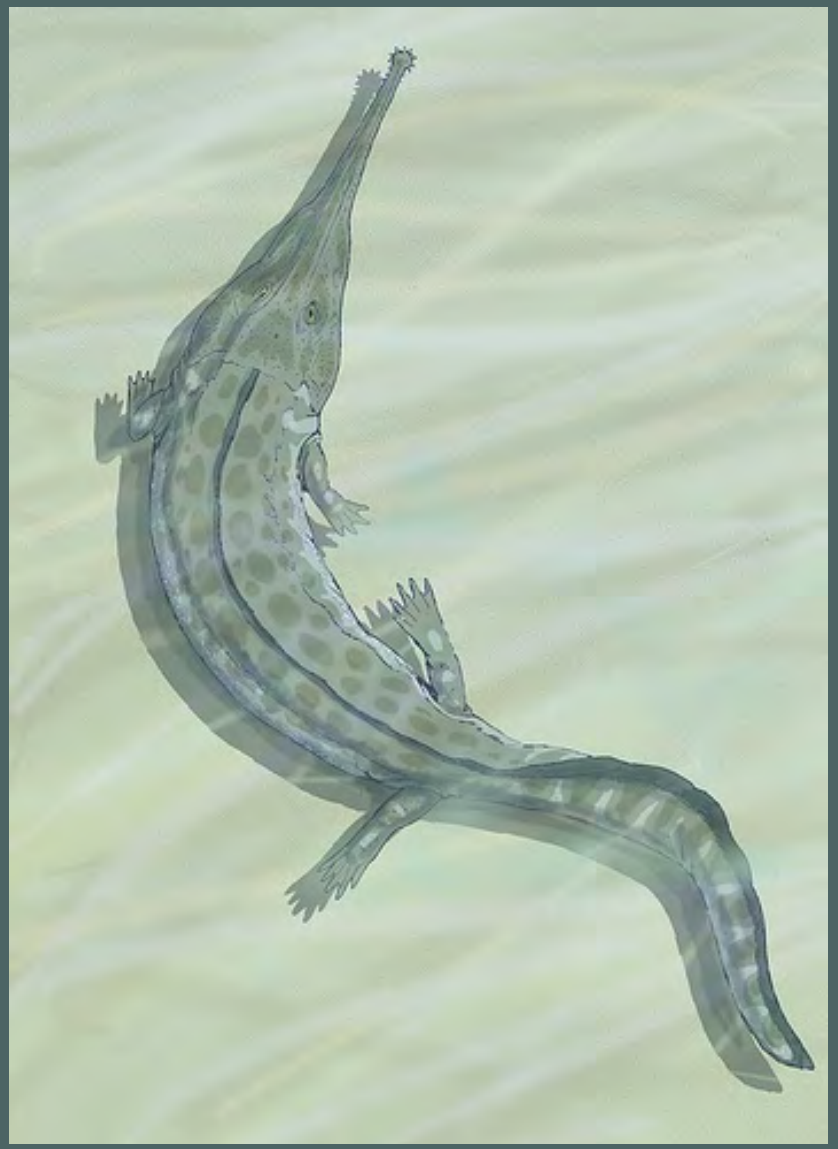


Figura 12. Reconstrução artística de um anfíbio Temnospôndilo. Imagem cedida por Sérgio Dias da Silva.

Figura 13. Distribuição dos anfíbios ritidosteídeos, com base no registro fóssil (A), e traços individuais de anfíbios ritidosteídeos (B).

Figura 14. Distribuição dos anfíbios mastopondosaurídeos, com base no registro fóssil (A), e traços individuais dos anfíbios mastopondosaurídeos (B).

Figura 15. Distribuição dos anfíbios lydekkerinídeos, com base no registro fóssil (A), e traços individuais dos anfíbios lydekkerinídeos (B).

Figura 16. Sobreposição dos traços individuais anfíbios ritidosteídeos, mastopondosaurídeos e lydekkerinídeos (A) e traços generalizados resultantes da sobreposição dos traços individuais de cada família de anfíbios (B).

REFERÊNCIAS

DOTT, R. H. & PROTHERO, D. R. 1994. Evolution of the Earth. McGraw-Hill, 569 p.

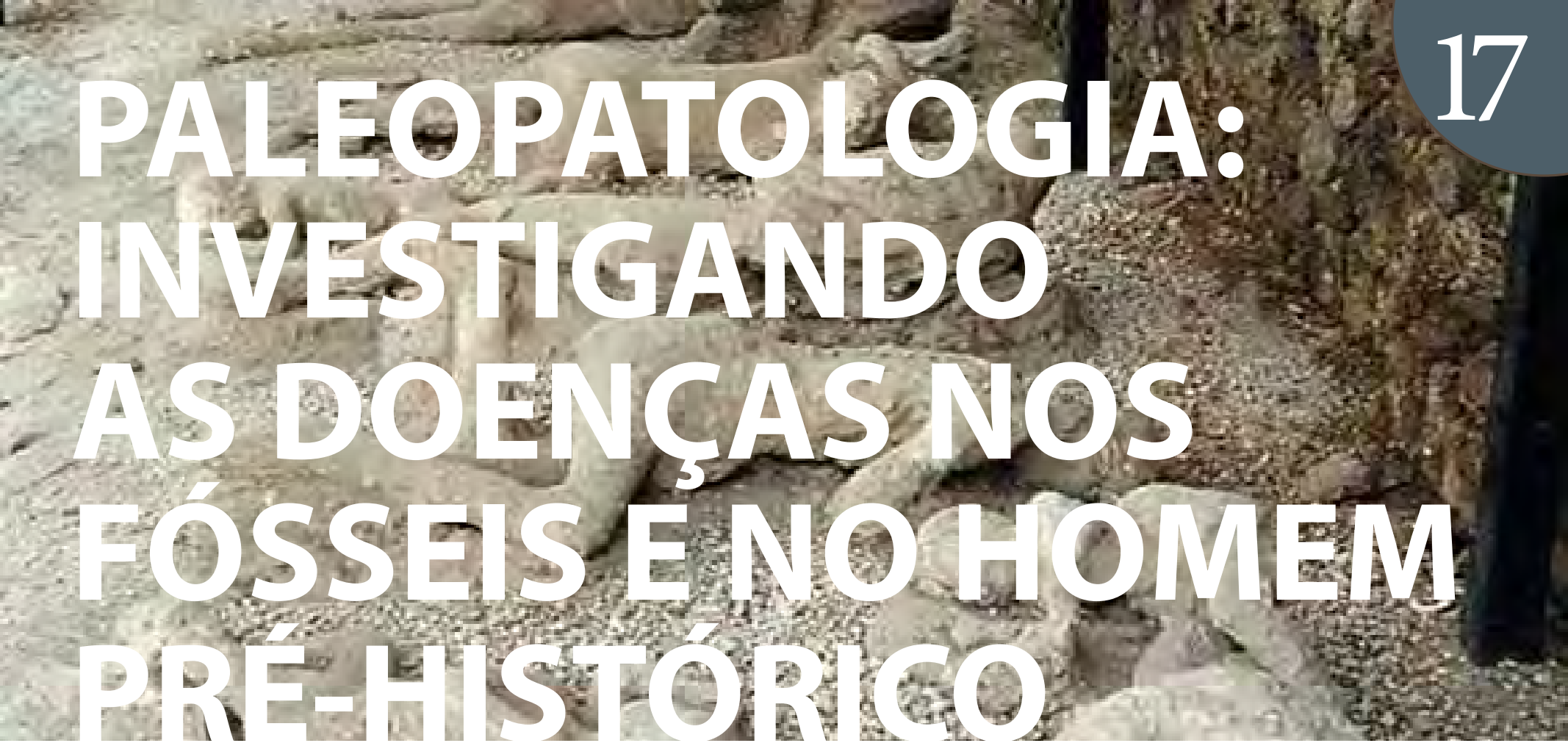
FERREIRA-JR, N. & PAIVA P. C. 2003. Introdução à Zoologia. Volume 1. Fundação CECIERJ / Consórcio CEDERJ, Rio de Janeiro, 178 p.

PAPAVERO, N.; LLORENTE-BOUSQUETS, J. & ABE, J. M. 1997. Fundamentos de Biología Comparada (a través de la Teoría Intuitiva de Conjuntos), Vol 1. De Platón a Haeckel. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad del México, 306 p.

ROSEN, B. R. 1988. From fossils to earth history: applied historical biogeography, pp. 437–481. In: A. A. MYERS & P. S. GILLER (eds.). Analytical biogeography: An integrated approach to the study of animal and plant distributions. London: Chapman & Hall.

ATIVIDADES RELACIONADAS AO CAPÍTULO

Paleobiogeografia e Especiação
Construindo cladogramas de área
Os dinossauros e a Panbiogeografia



17

PALEOPATOLOGIA: INVESTIGANDO AS DOENÇAS NOS FÓSSEIS E NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO

Jorge Ferigolo
Patrícia Rodrigues Braunn

As doenças fazem parte da vida da maioria dos seres vivos, e do homem desde sua origem. Nos vertebrados as evidências de tais doenças são tanto encontradas nos esqueletos, nas partes moles (múmias), bem como, no caso do homem, em obras de arte do passado.

Nos fósseis os sinais de doenças são também muito comuns, desde os microfósseis como os foraminíferos **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**, os invertebrados em geral, os vertebrados não humanos e até mesmo as plantas fósseis. Em microfósseis e em paleoinvertebrados os sinais mais comuns são os de predação. Já em animais que vivem muito tempo, como os vertebrados, além dos sinais de predação e de traumas, ocorrem principalmente os sinais de doenças crônicas. Aqui trataremos em especial das paleopatologias nos vertebrados, inclusive no homem.

MAS AFINAL, O QUE SE ENTENDE POR PALEOPATOLOGIA?

O estudo das doenças no material arqueológico humano e nos fósseis é chamado de *paleopatologia* (do grego, *paleo*, antigo + *pathos*, doença, + *logos*, estudo). Essa é uma área tipicamente interdisciplinar, porque seus resultados interessam a muitas áreas do conhecimento. Por exemplo, as paleopatologias do homem interessam à História, à Arqueologia , à Antropologia , à Medicina, e à Paleontologia, para citar apenas algumas áreas. O paleopatologista investiga evidências nos ossos, tecidos calcificados, corpos preservados, múmias e coprólitos , além de evidências como registros médicos ou obras de arte, por exemplo.

ENTÃO, QUAL A IMPORTÂNCIA DA PALEOPATOLOGIA?

O estudo de paleopatologia nos fornece muitas informações sobre as condições nutricionais, de saúde, bem como sobre os hábitos de vida dos indivíduos a que pertenceram os restos estudados. Ele fornece ainda muitas informações sobre a origem e a história das doenças, no homem e antes dele. As principais informações fornecidas pelas paleopatologias são:

1. Indicar a idade com que os indivíduos morreram; porque há doenças típicas para as diferentes idades, muitas das quais se acentuam com o tempo; como é o caso dos bicos-de-papagaio e da artrose;
2. indicar a possibilidade de parentesco entre populações, seja humanas, seja animais, porque grupos aparentados têm doenças com frequência semelhante; o que se deve à predisposição genética às doenças;
3. indicar sinais de costumes e hábitos em geral. Por exemplo, o uso prolongado ou forçado de um membro leva a uma artrose, também evidenciando se o indivíduo era destro ou canhoto; e que utilizava tal membro para uma função importante em sua vida; por exemplo, subir em árvores ou cavar tocas;
4. indicar a dieta, pois certos alimentos levam ao desenvolvimento de determinadas doenças dentárias; como é o caso da cárie, que é muito mais comum em populações humanas de agricultores do que de caçadores-coletores;
5. indicar as condições nutricionais das populações, pois o déficit nutricional e os problemas metabólicos podem deixar sinais nos dentes e no esqueleto; e, finalmente,
6. fornecer dados sobre a história das parasitoses humanas e animais, bem como sobre a coevolução entre os parasitas e os hospedeiros.

Sendo uma área multidisciplinar, a Paleopatologia é de interesse para muitas outras áreas do conhecimento. Por exemplo, a Medicina recebe informações sobre a origem, evolução e eventuais tratamentos das doenças no passado. A Medicina Veteriná-

ria recebe informações semelhantes em relação aos animais domesticados e selvagens, e a Antropologia Física, principalmente dados acerca do parentesco entre as populações. A Paleontologia recebe informações sobre a idade dos indivíduos, seus hábitos, sinais de predação, evidências da dieta e das condições nutricionais. Também importante para a paleontologia é o fato de que doenças não reconhecidas podem induzir a erros na classificação dos organismos.

COMO PODEMOS CONHECER AS DOENÇAS DO PASSADO?

Para responder a essa questão, é necessário compreender as características do osso e como ele pode reagir a diferentes injúrias. O osso, como outros tecidos do corpo, pode sofrer certos tipos de lesões ou refletir a presença de doenças não diretamente relacionadas ao esqueleto, como é o caso das doenças nutricionais e as anemias. Por outro lado, o osso tem um número limitado de respostas aos diferentes patógenos e processos patológicos, de modo que várias doenças podem se apresentar com sinais semelhantes. Quase todos os sinais de paleopatologias esqueletais devem-se a doenças crônicas ou alterações senis, de modo que doenças que levam à morte em pouco tempo (antes dos sinais de recuperação), geralmente não deixam evidências no esqueleto, com exceções. Muitas alterações não são causadas diretamente pelas doenças sobre os ossos/dentes, mas devem-se a reações dos tecidos ósseos e dentários a tais fatores.

É muito importante que o paleopatologista tenha conhecimentos de anatomia, para poder descrever as características anormais aparentes no esqueleto e sinais causados pelas remodelações normais dos ossos resultantes de doenças, bem como saber quais são causados após a morte do indivíduo.

Fique por dentro...

Os ossos são formados por tecido ósseo, um tecido vivo capaz de reagir de uma série de maneiras, e que mantém durante toda a vida, uma atividade constante, sendo renovado por processos de reabsorção e de redeposição óssea, nos quais suas células (osteócitos, osteoblastos e osteoclastos), as fibras colágenas e outras estruturas são reabsorvidas e depois novamente formadas. Todo este processo denomina-se remodelação óssea. Os ossos também funcionam comom m depósito de cálcio e fósforo, do qual o organismo lança mão, quando necessário. Qualquer alteração nesse processo pode levar a doenças e modificação de sua estrutura anatômica normal. Esses sinais deixados nos ossos nos dão pistas importantes para percebermos que populações antigas possuíam doenças muito semelhantes às que conhecemos hoje.

FALSAS PALEOPATOLOGIAS

Mas, como se começa o estudo das paleopatologias? Evidentemente que tudo se inicia por um bom conhecimento de anatomia: temos que saber o que é normal, para sabermos que estamos tratando com algo que "não é normal", ou não é anatômico.

Mas isso não basta. Se encontramos algo que não é "normal", temos ainda que saber se tal alteração não se deu após a morte do animal, já que muitos se alimentam de carcaças (animais necrófagos) e deixam sinais sobre elas, inclusive sobre os ossos. Entre os necrófagos, os principais talvez sejam os mamíferos roedores (que roem ossos para deles retirar cálcio): e alguns besouros. Algumas dessas alterações causadas por necrófagos podem mimetizar sinais de doenças **(Figuras 1 e 2)**. Tais alterações são chamadas de falsas paleopatologias, ou "pseudopaleopatologias" (do grego *pseudo-*, falso + *paleo-* + *pathos* + *logos*).

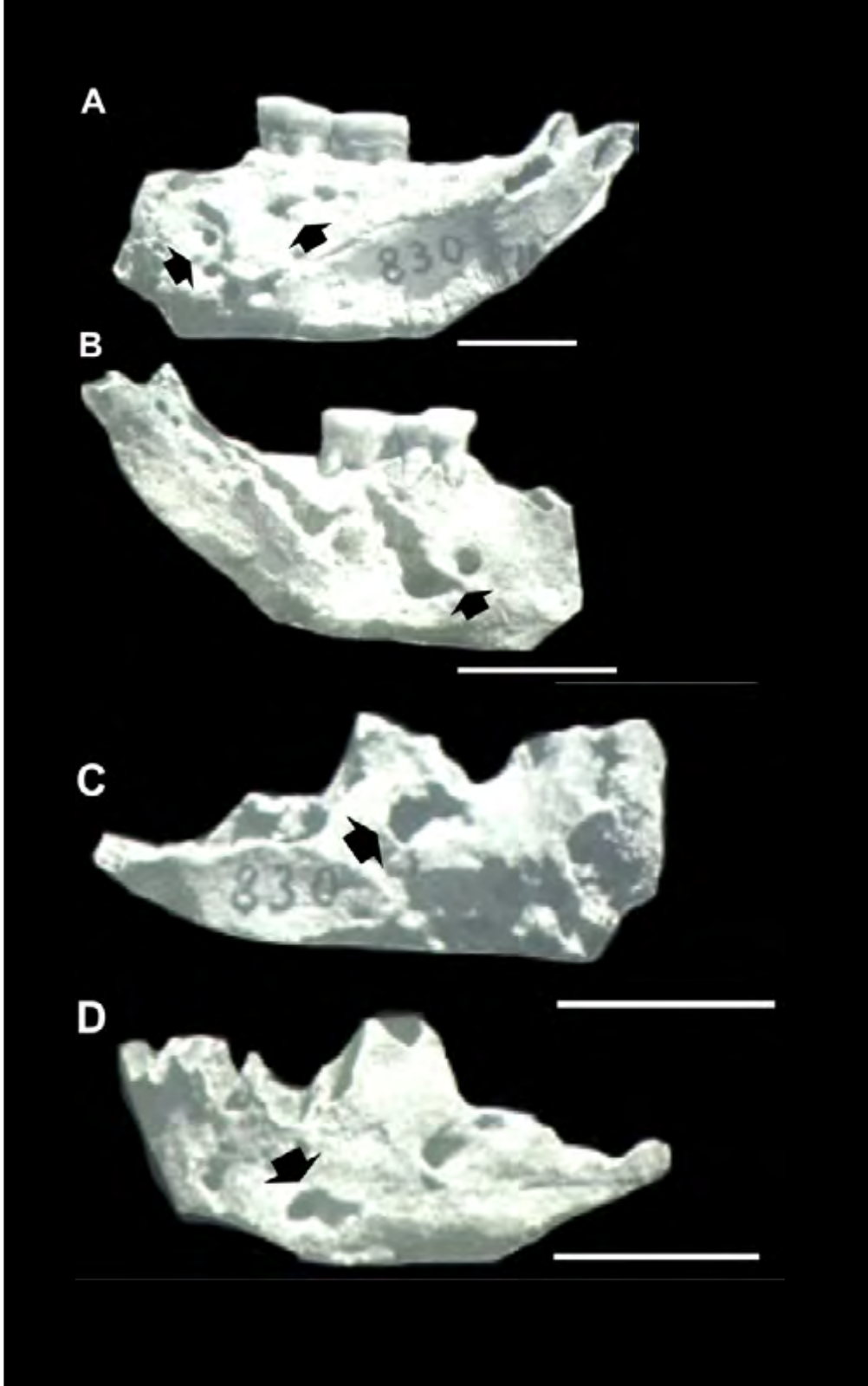
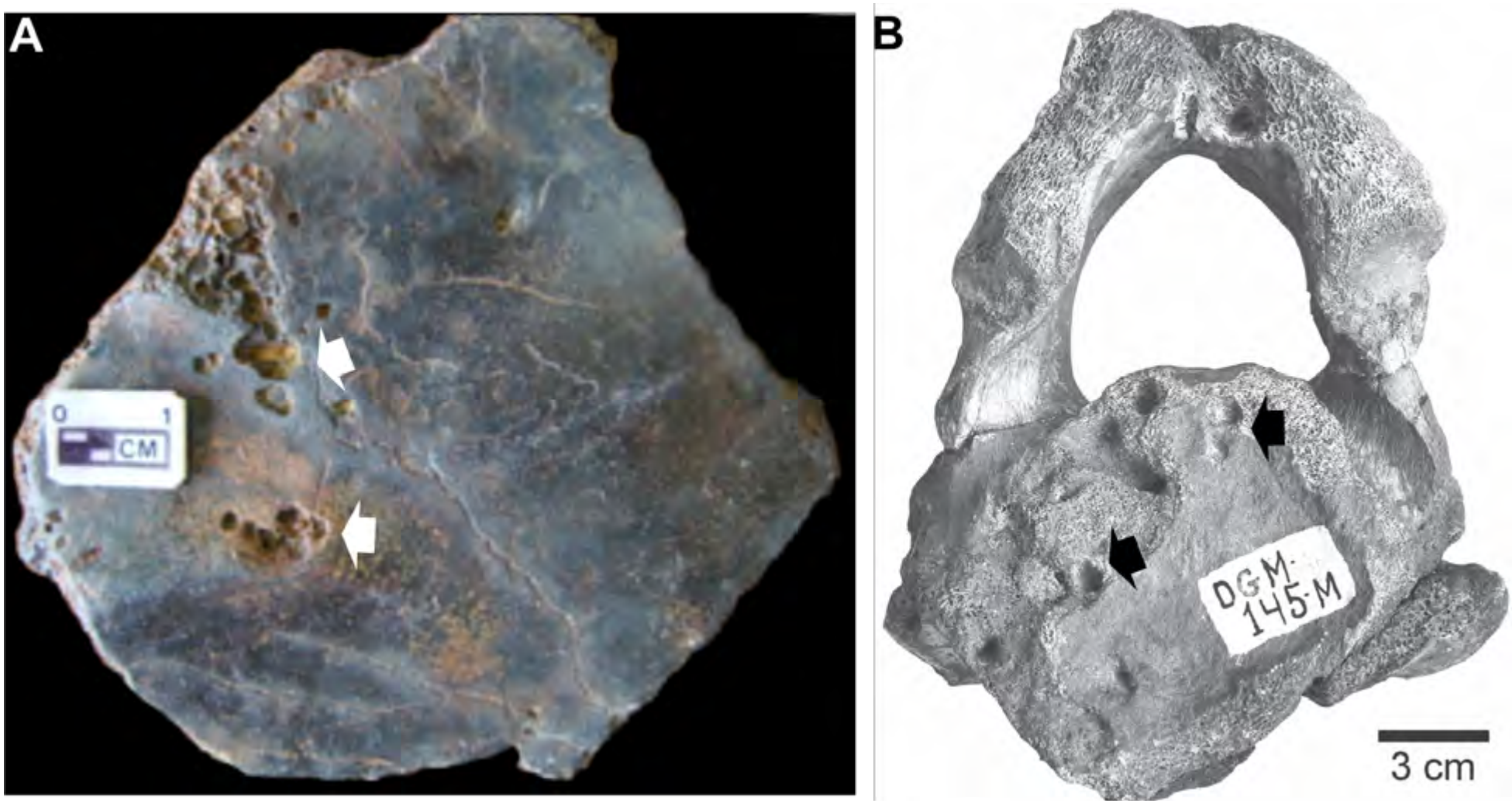


Figura 1. Homem (material arqueológico brasileiro). Fragmentos de mandíbulas, com alterações pós-morte (flechas), devido possivelmente a coleópteros. Essas alterações por vezes se assemelham em muito às da osteomielite. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

Figura 2. Perfurações ósseas devidas à ação de insetos, provavelmente coleópteros. (A) fragmento de carapaça de uma tartaruga fóssil; (B) vértebra de um mastodonte com perfurações ovais. (B) Retirada de Dominato *et al.* (2009).



UM POUCO DE HISTÓRIA: COMO COMEÇOU A PALEOPATOLOGIA...

A paleopatologia iniciou como uma área de pesquisa científica no princípio do Século XX, com o Dr. Marc Armand Ruffer, um médico epidemiologista que trabalhava no Egito. Examinando as múmias, ele desenvolveu muitos métodos para estudá-las (utilizados até hoje), e desse modo encontrou nelas muitas doenças, inclusive causadoras da morte de alguns indivíduos. Os especialistas que se dedicam à paleopatologia são chamados de *paleopatologistas*. Os primeiros eram médicos ou paleontólogos, mas hoje muitos são antropólogos ou mesmo biólogos. A imensa maioria dos paleopatologistas, ao nível mundial, hoje se dedica à paleopatologia humana.

O QUE ESTUDA A PALEOPATOLOGIA

As áreas mais conhecidas da paleopatologia são a paleopatologia humana, e depois a paleopatologia de vertebrados não humanos. Há ainda paleontólogos que estudam sinais de predação sobre microfósseis, invertebrados fósseis, e sobre palinomorfos. Outros autores estudam o que chamam de interação entre insetos e plantas. Esse tipo de interação, no entanto, muitas vezes reflete a predação ou o parasitismo dos insetos, de modo que os sinais nas plantas fósseis situam-se dentro da paleopatologia botânica. Quando os insetos se alimentam de parte das folhas, eles estão causando um trauma sobre elas. De modo semelhante, as galhas são casos de parasitismo dos insetos sobre as plantas (que então são seus hospedeiros). Outro ramo é o da paleoparasitologia, que estuda a origem e a evolução dos parasitas nos vertebrados, principalmente no homem. Uma das instituições de mais prestígio no mundo, nessa área, é a Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Rio de Janeiro, Brasil.

Um dos ramos mais interessantes da paleopatologia é o que estuda os sinais de doenças nas obras de arte, desde as inscrições em cavernas, até as obras dos Egípcios, Gregos e Romanos. Na arte egípcia é muito comum encontrar-se pequenas estátuas ou inscrições representando pessoas com várias doenças, entre elas nanismo, poliomielite e tuberculose. Há finalmente a área da paleopatologia histórica, que estuda principalmente doenças nos esqueletos de tempos históricos (com menos de 6.000 anos).

PALEOPATOLOGIAS EM VERTEBRADOS FÓSSEIS

Alguns famosos paleontólogos anteriores ao Século XX, entre eles Georges Cuvier, Richard Owen e Joseph Leydy, descreveram ocasionalmente doenças em vertebrados fósseis. Na década de 1920 destacou-se o Dr. Roy L. Moodie, que descreveu doenças tanto no homem pré-histórico quanto nos fósseis em geral, inclusive plantas fósseis. Seu livro de 1923 (*Paleopathology*; com uma edição *facsimile* de 1980), é ainda uma boa referência para quem quer iniciar-se nessa área, principalmente do ponto de vista de sua história.

Nos vertebrados fósseis, as doenças são praticamente as mesmas que encontramos nos animais atuais. Nos mamíferos, as principais são as artroses e as discopatias, das quais todos os homens sofrem, depois dos quarenta anos de idade. Os mamíferos mais afetados por essas doenças são os da megafauna do Pleistoceno superior **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**, porque os grandes mamíferos são os que sofrem a maior sobrecarga sobre os membros e a coluna vertebral (Ferigolo, 1985, 1987a, b, 1991a, b).

Nos vertebrados, tanto no homem pré-histórico quanto nos fósseis, como geralmente apenas o esqueleto é preservado, temos um registro muito incompleto das suas doenças. Por outro lado, em geral podemos diagnosticar principalmente as doenças que deixem sinais no esqueleto, o que é o caso geralmente das doenças crônicas (como artrose, discopatias, osteomielite, etc.). Por isto doenças que levam à morte em poucos dias não podem ser diagnosticadas, com raras exceções. Assim, alguns traumatismos podem deixar sinais indicando a causa da morte. É o caso de algumas fraturas no crânio, e no caso do homem a presença de flechas fixadas em certos lugares do esqueleto. Também é o caso da disseminação sanguínea de infecções, que pode ser diagnosticada pela presença de sinais de osteomielite inicial em vários ossos do corpo; o que é mais frequente em esqueletos de crianças.

PRINCIPAIS DOENÇAS NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO

As doenças em material arqueológico são basicamente as mesmas do homem moderno. Assim, as mais comuns são fraturas, discopatias e artrose. Nos dentes os sinais mais comuns são os de um desgaste muito acentuado (chamado de atrição dentária), cálculos (gengivite, periodontite), cáries e abscessos dentários. A artrose é mais frequente nas articulações mais sobrecarregadas, que são a do quadril (entre fêmur e ilíaco), e a do joelho.

O sinal mais comum de discopatia é conhecido popularmente como "bico de papagaio", e é mais comum nas regiões cervical e lombar da coluna. As fraturas são mais comuns nos ossos dos membros, principalmente no antebraço. Em alguns grupos pré-históricos são comuns sinais de carências nutricionais, e anemia devido a parasitas intestinais. Doenças como osteomielite e tumores malignos são mais raros; inclusive porque tornam os ossos muito frágeis, os quais são perdidos. Os tumores benignos mais comuns são as exostoses e os osteomas, que são preservados porque não tornam os ossos mais frágeis.

PRINCIPAIS DOENÇAS NOS VERTEBRADOS FÓSSEIS

Nos vertebrados em geral, tanto recentes quanto fósseis, as doenças principais são relacionadas a traumas. Nos mamíferos fósseis de grande porte (preguiças gigantes, gliptodontes, etc.) são também comuns a artrose e as discopatias da coluna vertebral ("bicos de papagaio"), além das alterações devidas à velhice. Em alguns mamíferos, doenças dentárias como fraturas, periodontite e grande desgaste são comuns. Osteomielite é pouco frequente, como também o são os tumores. Anomalias são bastante comuns.

ANOMALIAS E DOENÇAS CONGÊNITAS

A maioria das anomalias não causa problema algum. Outras, no entanto, causam a morte ainda dentro do útero. As anomalias mais comuns dos vertebrados são encontradas em vértebras. No homem e nos mamíferos a anomalia mais recorrente é o que se chama de "Hérnia de Schmorl", que antigamente se pensou ser uma verdadeira hérnia **(Figuras 3 e 4)**.

Hérnia de Schmorl

É uma anomalia relacionada ao desenvolvimento da notocorda, um tecido do embrião, que induz a formação da coluna vertebral. Quando a notocorda não regride completamente como deve acontecer, podem permanecer alguns resquícios, que impedem o desenvolvimento normal das vértebras.

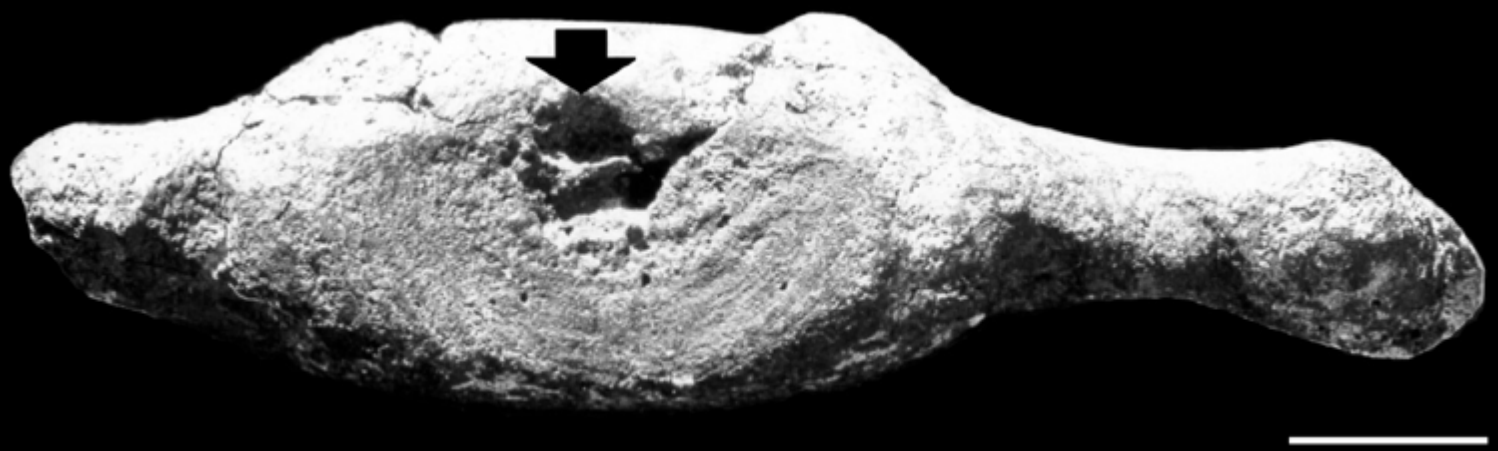


Figura 3. *Toxodon* sp., um mamífero ungulado da América do Sul, de um grupo agora extinto. Vértebra caudal do Pleistoceno do RS. Na região central do corpo da vértebra (flecha) há uma depressão idêntica à encontrada na hérnia de Schmorl do homem (ver **figura 4**). Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

Figura 4. Homem (material arqueológico brasileiro). Vértebra torácica com uma típica hérnia de Schmorl quase no centro do corpo da vértebra (flecha). Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

DOENÇAS FATAIS

Um trauma (devido ao trabalho, quedas, lutas, etc.) pode ocasionar desde uma simples fratura na mão ou no antebraço, mas pode até mesmo levar à morte em pouco tempo, quando for uma fratura no crânio. Outros fatores levam à morte rapidamente, mas geralmente não deixam sinais no esqueleto, como foi o caso da catástrofe de Pompeia.

A catástrofe de Pompeia

Em 24 de agosto do ano 79 d.C., logo após o meio dia, a história parou em Pompeia, antiga cidade de veraneio do Império Romano. Isso aconteceu porque o vulcão Vesúvio (atualmente o mais ativo da Europa) explodiu, emitindo gases fatais, e lançando imensas quantidades de cinzas incandescentes, transformando Pompeia em um imenso túmulo. Depois de mortas pelos gases tóxicos, as cinzas recobriram completamente as pessoas. Após dois mil anos os arqueólogos, escavando as ruínas de Pompeia, começaram a encontrar espaços vazios dentro das cinzas compactadas, dentro dos quais havia esqueletos humanos e de animais domésticos. Entendeu-se então que tais espaços eram um molde dos corpos das pessoas, e dos animais mortos, os quais haviam sido recobertos quase instantaneamente pelas cinzas incandescentes. Em 1860, o arqueólogo italiano Giuseppe Fiorelli, preencheu tais espaços com gesso, formando assim as "cópias" dos corpos das pessoas, no momento de sua morte **(Figura 5)**.

Figura 5. Pompeia (79 d.C.). Fotografia do "Jardim dos Fugitivos", com cópias em gesso do corpo de pessoas na posição em que estavam quando as cinzas incandescentes do vulcão Vesúvio as cobriram quase instantaneamente. Fonte: www.historynewz.com.

Figura 6. Homem (material arqueológico brasileiro). As fraturas, na região frontal do crânio foram ocasionadas por instrumento perfurante, e levaram o indivíduo à morte. Sabe-se que tais fraturas são perimorte, i.e., ocorreram pouco antes da morte, pela presença de vários sinais típicos, entre eles a presença de fragmentos ósseos acoplados ao redor da fratura. Isso acontece porque o periósteo, um tecido fibroso que envolve os ossos, ainda estava presente. Quando uma fratura semelhante acontece após a morte, tais fragmentos não existem, porque o osso não tem mais periósteo. A flecha indica tais fragmentos. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

Fraturas letais

No material pré-histórico encontram-se fraturas de crânio, que devido à sua gravidade, podem ser apontadas como causa da morte. A ausência de qualquer sinal de início de cura nessas fraturas indica que a pessoa morreu logo após as mesmas **(Figura 6)**.

Geralmente fraturas de crânio e de mandíbula não são acidentais, mas resultado de alguma luta, ou de uma guerra. Muitas dessas fraturas não são letais, como é o caso das fraturas de mandíbula. Nesses casos é necessário que sejam imobilizadas através de cirurgia, como se faz hoje. Mas, em tempos pretéritos, como a fratura não era imobilizada, e a pessoa evidentemente continuava a falar e a comer, movimentando a mandíbula, a fratura não curava. Como resultado, formava-se uma falsa articulação no exato ponto da fratura. Como seria de se esperar, as margens da fratura, que não curavam, se tornam arredondadas, como se fosse uma nova articulação **(Figura 7)**.

Outros fraturas

As fraturas são mais frequentes nos ossos dos membros (principalmente mãos, pés e antebraço) do que em outras regiões, e geralmente estão curadas (com calo ósseo). Frequentemente há angulação entre os fragmentos, o que pode levar ao desenvolvimento de uma artrose **(Figuras 8 e 9)**. Por isso chamada de artrose pós-traumática.

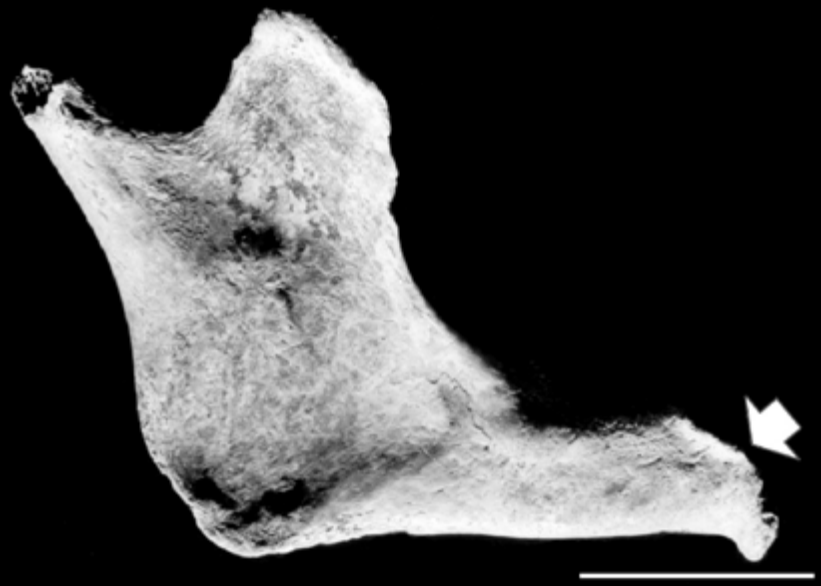


Figura 7. Homem (material arqueológico brasileiro). Fratura não curada de mandíbula. As margens arredondadas da fratura (flecha) indicam que o indivíduo sobreviveu e que os fragmentos da fratura se moviam. Nesses casos diz-se que se formou uma falsa articulação chamada de pseudo-artrose (flecha) ou uma articulação nova (neo-artrose). Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2 cm.

Figura 8. Fêmur de crocodilídeo. Fratura consolidada, com angulação e provável cloaca (flecha). Mioceno do Estado do Amazonas. Material da Seção de Paleontologia do MCN/FZBRS. Escala = 2 cm.

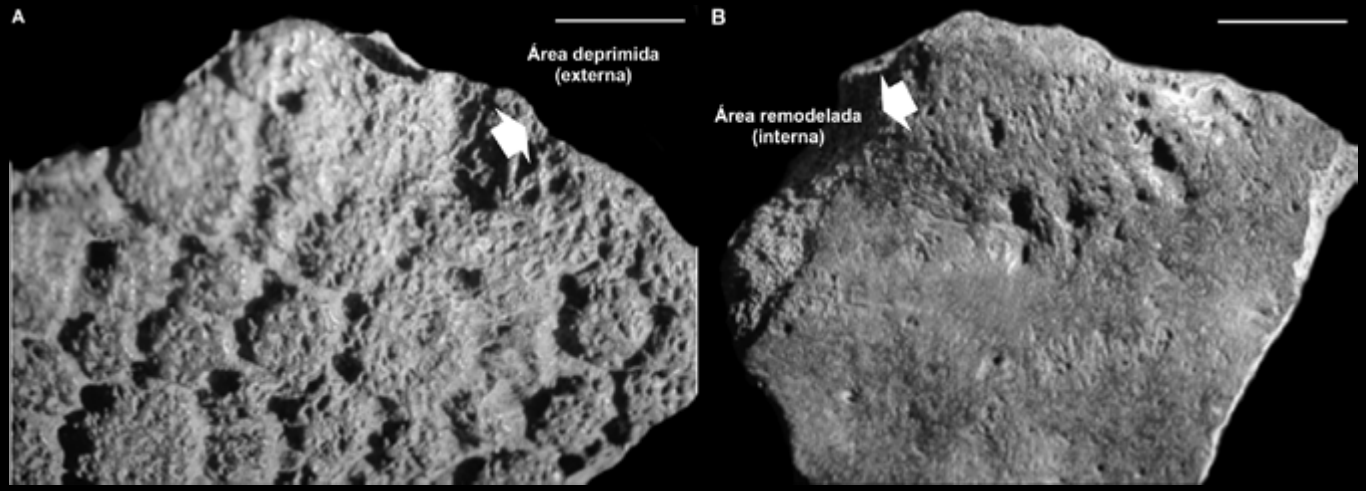


Figura 9. Fratura de carapaça em tatu gigante (*Glyptodon* sp.) do Pleistoceno do RS (A) Fratura consolidada. Externamente há um afundamento (flecha) e internamente observa-se a cicatrização (B). Retirado de Ferigolo (2007). Escala = 2 cm.

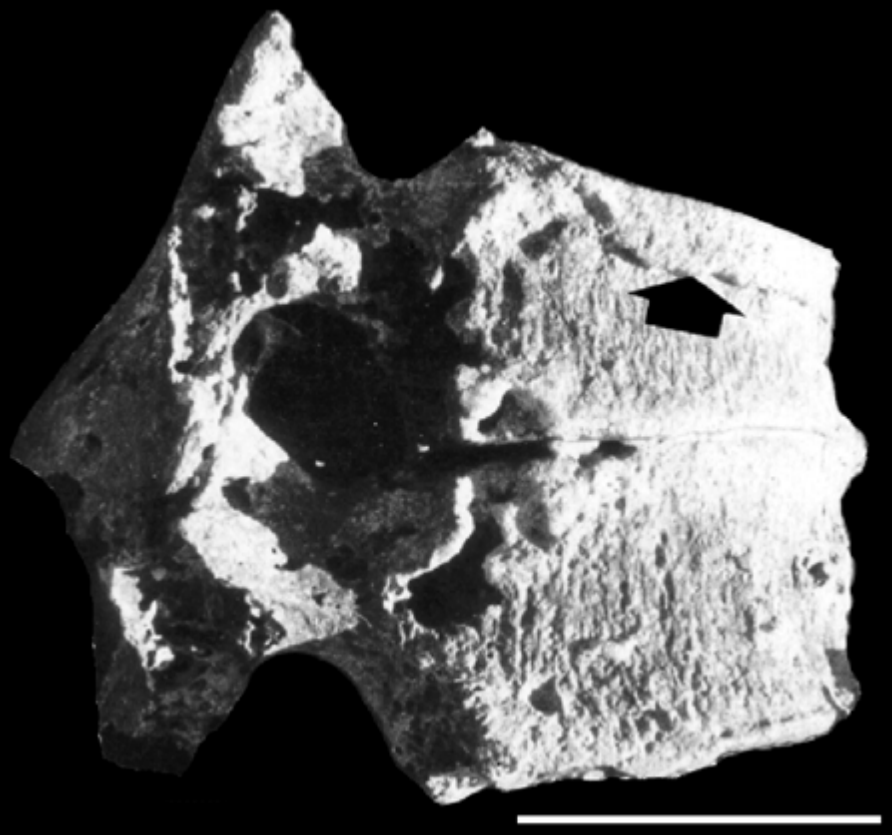


Figura 10. Homem (material arqueológico brasileiro). Fratura impactada da vértebra dorsal superior em um caso de osteoporose senil. Essa vértebra está deformada em cunha, quando se compara com a inferior, não fraturada; e é sinal típico de fratura impactada. A linha (flecha) indica a posição da fratura. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2 cm.

Fratura Patológica

Chama-se assim quando o osso é fraturado por estar fragilizado devido a uma doença anterior, como uma osteoporose, uma infecção, ou um tumor. Os casos mais comuns no homem são de fratura impactada, na osteoporose senil. Uma simples queda ou até mesmo sem causa aparente, a vértebra sofre compressão e fratura, tomando uma forma de cunha **(Figura 10)**.

OUTRAS DOENCAS TRAUMÁTICAS

Osteocondrite dissecante

Traumas repetidos sobre as articulações podem fazer com que pequenas fraturas se desenvolvam progressivamente. Por vezes, alguns fragmentos podem cair dentro da articulação e levar ao desenvolvimento de uma artrose. Tipicamente tais fraturas caracterizam-se, no final de sua evolução, por uma área arredondada e elevada, com uma área deprimida central **(Figura 11)**.

Trepanação

Várias culturas antigas tinham notáveis conhecimentos médicos, inclusive neurológicos e cirúrgicos. No tratamento de várias doenças, neurológicas ou até talvez psiquiátricas, eles faziam aberturas no crânio (chamadas de trepanações), que muitas vezes

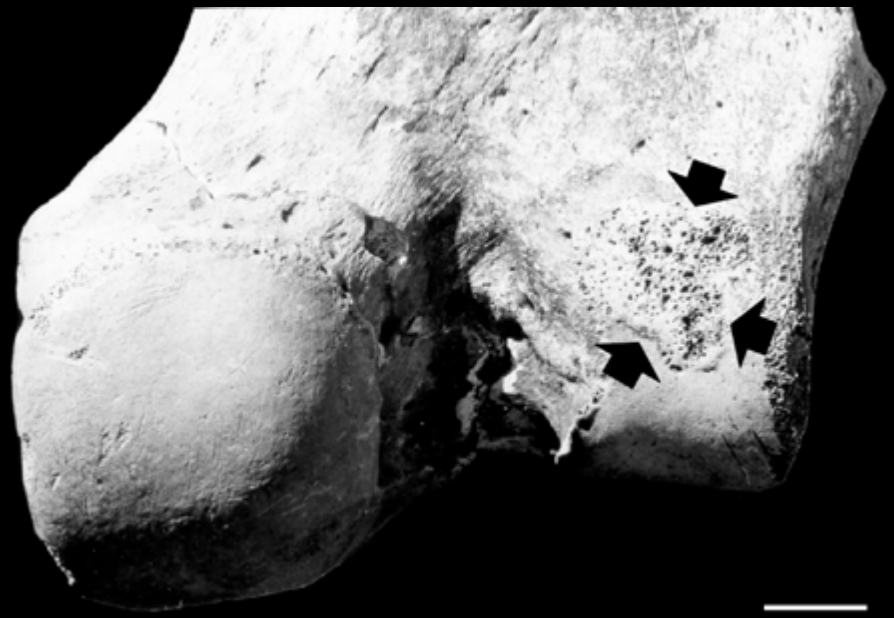


Figura 11. Milodontídeo (preguiça gigante) do Pleistoceno do RS. Fêmur (osso da coxa) com sinais de osteocondrite dissecante (flecha), relacionada a uma sobrecarga e a trauma repetido. Este espécime apresenta também ossificação de ligamentos cruzados do joelho, o que indica que já era um indivíduo senil. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2 cm.

são encontradas já curadas, ou em via de cura, o que significa que o paciente sobreviveu à cirurgia por muito tempo. As trepanações eram feitas também para tratar fraturas, e muitas vezes ela era feita não sobre o local da fratura, mas sim no lado oposto, onde muitas vezes se formam os hematomas, como se sabe hoje. Que algumas trepanações parecem relacionar-se a doenças mentais é sugerido pelo fato de haver crânios com várias delas, feitas em tempos diferentes **(Figura 12)**. Como anestésicos, diferentes culturas utilizavam bebidas alcoólicas, ópio, folhas de coca, mas também podiam não utilizar nenhum anestésico. Os instrumentos cirúrgicos mais antigos eram feitos de vidro vulcânico, ágata, ou quartzo.

ALTERAÇÕES SENIS

Em geral, uma doença não poderia atingir todos os indivíduos da espécie. Se atingir a todos é mais uma característica dessa espécie, relacionada ao processo de envelhecimento. É o que chamamos de alterações senis, como as discopatias. Mas, embora todas as pessoas desenvolvam tais alterações, elas podem ser consideradas como doenças porque causam problemas e até incapacitação, quando não a morte em algumas pessoas. Tais alterações incluem desde simples ossificações de tecidos moles, até as discopatias e a osteoporose.

Ossificações de cápsulas articulares e ligamentos

Muitas articulações, com o tempo têm parte de suas cápsulas (tecido conjuntivo que envolve uma articulação) e ligamentos parcialmente ossificados. O mais comum no homem e em megamamíferos é o labiamento marginal **(Figuras 13 e 14)**.

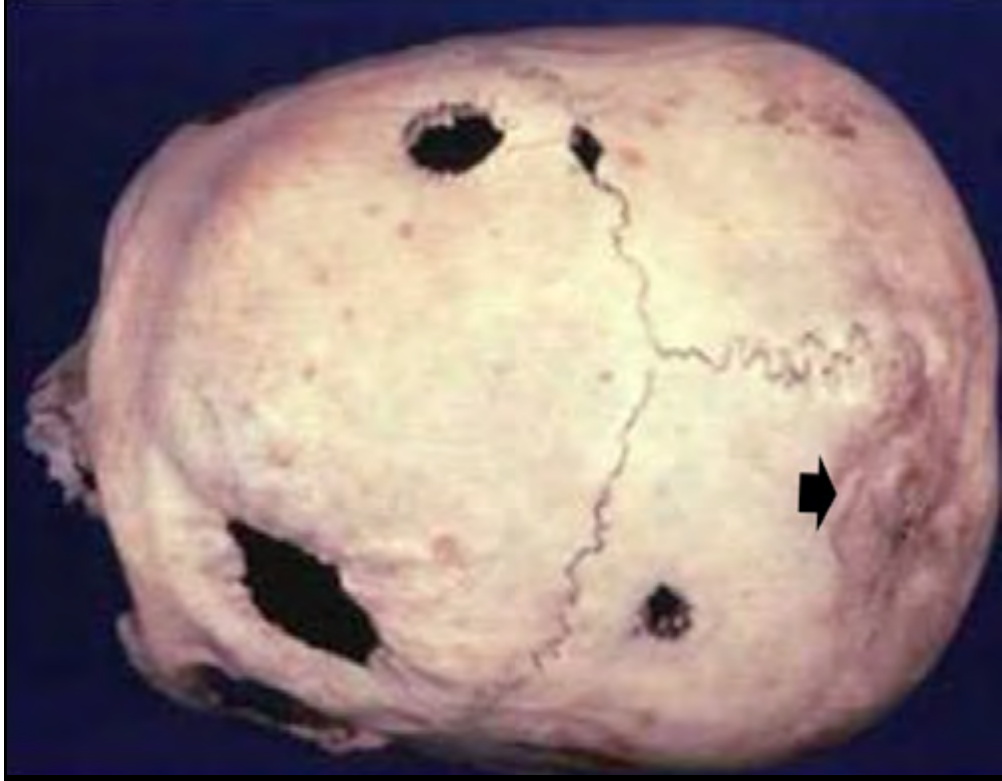


Figura 12. Homem, crânio pré-colombiano de Cinco Cerros, Peru. Várias trepanações em fase de reparação (margens arredondadas) sugerem doença crônica, ou até psiquiátrica. Há duas trepanações em fase de cura no osso frontal (metade esquerda da foto), e uma no osso parietal (metade inferior da foto). Há ainda uma grande trepanação completamente curada na região occipital do crânio (à direita; flecha). Fonte: http://www.neurosurgery.org/cybermuseum/pre20th/treph/trephination.html. Escala = 2 cm.

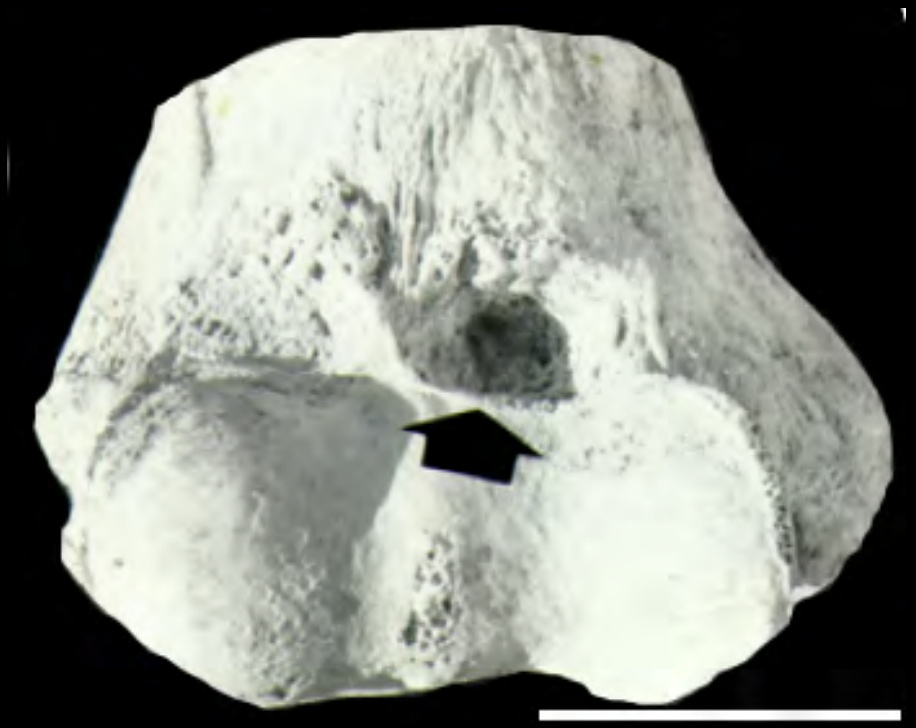


Figura 13. Homem (material arqueológico brasileiro). Úmero (osso do braço). Vista da porção junto ao cotovelo. Aqui há um labiamento marginal, ou seja, uma margem proeminente (flecha), que indica se tratar de indivíduo senil. No centro da articulação (abaixo da flecha) há uma área com erosões, devido à artrose. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2 cm.

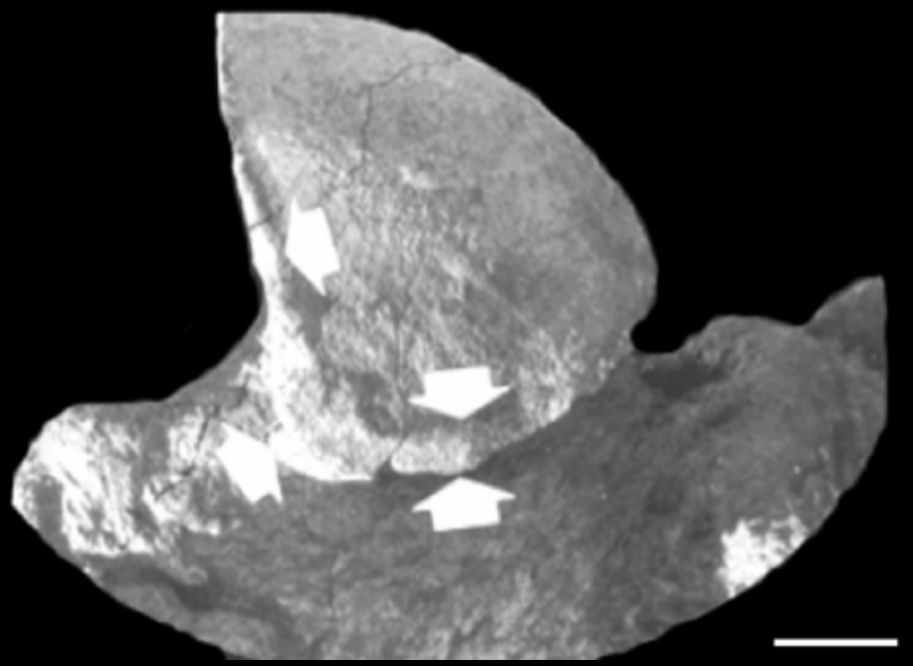


Figura 14. Crânio de *Eremotherium laurillardi*, preguiça gigante do Pleistoceno do RS**.** A fotografia mostra apenas um dos côndilos occipitais (onde o crânio se articula com a coluna vertebral). Há aqui uma margem proeminente (flechas), que não existe em indivíduos jovens .Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2 cm.

Osteoporose

Entre as alterações senis uma das mais conspícuas e a mais grave é a osteoporose, que se desenvolve em função das alterações hormonais da idade (principalmente nas mulheres, após a menopausa), e da progressiva falta de atividade física. A principal evidência da osteoporose hoje são as fraturas de colo de fêmur, após quedas comuns. Com a osteoporose, os ossos têm reduzida sua parede externa (chamada de cortical), bem como reduzida a massa interna de osso esponjoso, que se torna muito irregular, espaçado e com trabéculas mais finas. No homem, os sinais mais precoces de osteoporose estão na coluna vertebral, e no colo do fêmur **(Figuras 15 e 16**, ver também **figura 10)**, com fratura impactada vertebral devido a osteoporose senil).

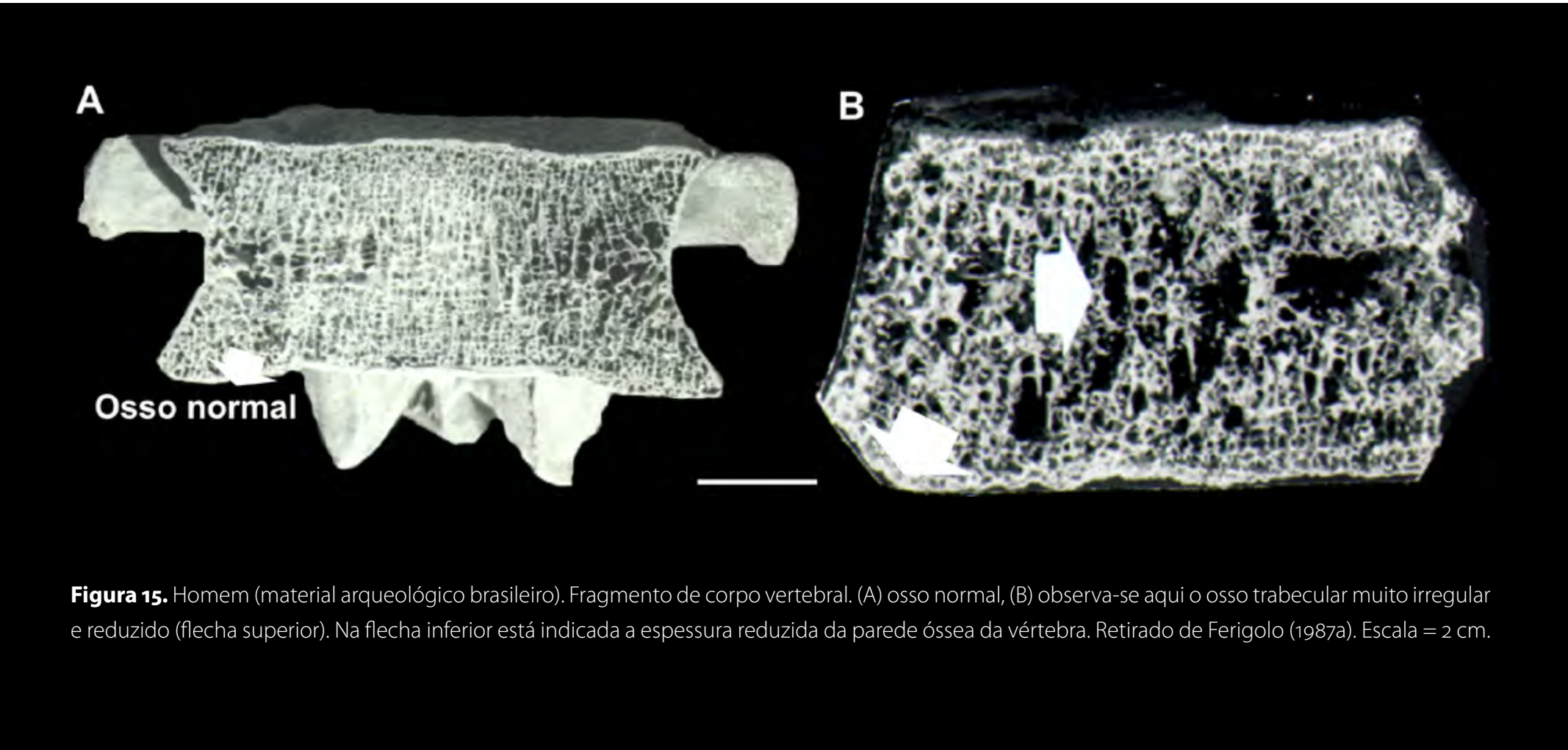


Figura 15. Homem (material arqueológico brasileiro). Fragmento de corpo vertebral. (A) osso normal, (B) observa-se aqui o osso trabecular muito irregular e reduzido (flecha superior). Na flecha inferior está indicada a espessura reduzida da parede óssea da vértebra. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2 cm.

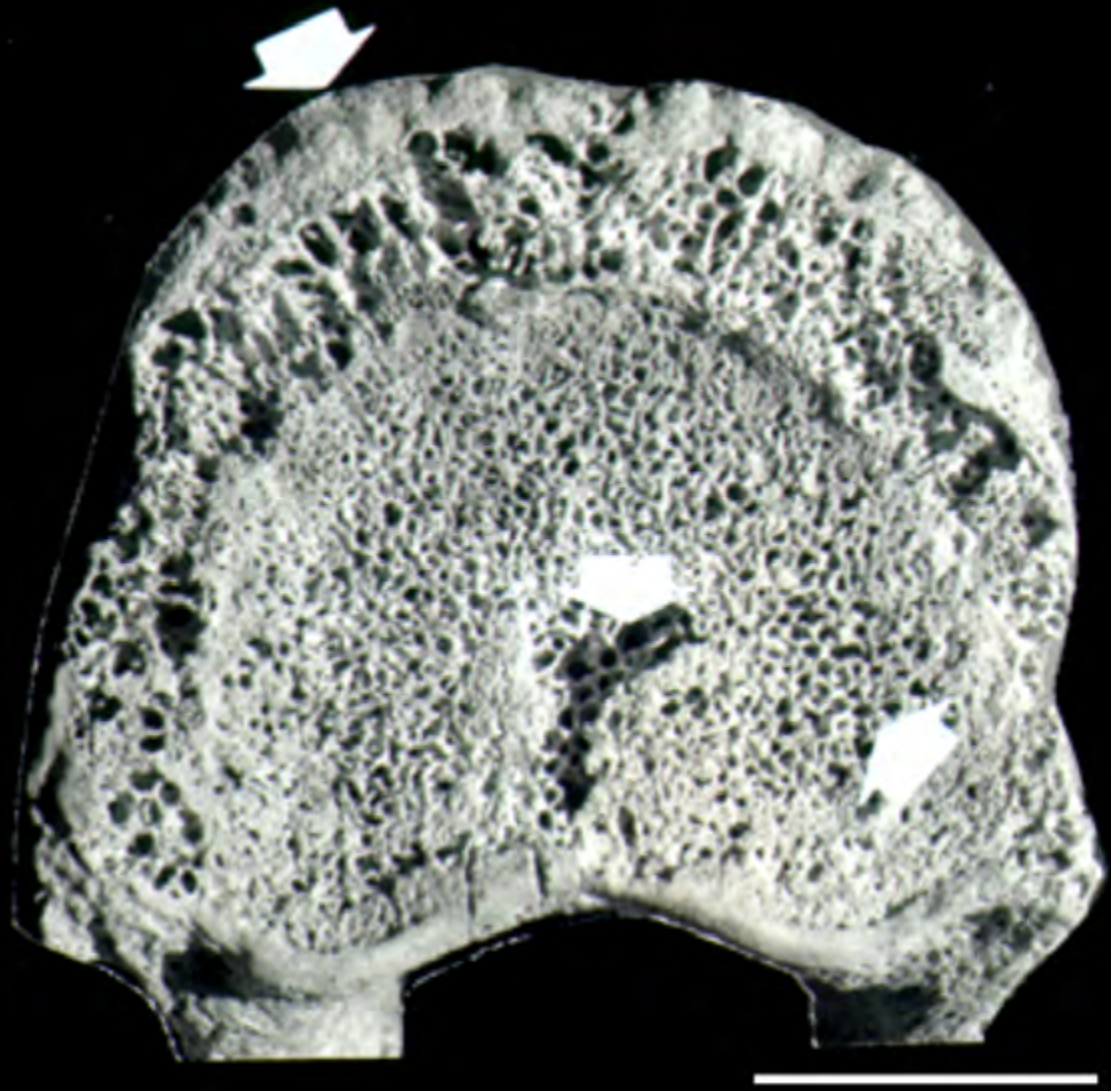


Figura 16. Homem (material arqueológico brasileiro). Corpo vertebral visto de cima. A flecha superior mostra um osteófito. A flecha mais à direita indica as porosidades típicas de uma osteoporose. No centro da fotografia a flecha indica uma hérnia de Schmorl (anomalia). Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2 cm.

Figura 17. Fêmur de gambá (*Didelphis albiventris*). Material recente. Osteomielite com cloacas (flecha) e um grande sequestro (seta) dentro do osso, e visível através da cloaca. Material do MCN/FZBRS. Retirado de Ferigolo (2007). Escala = 2 cm.

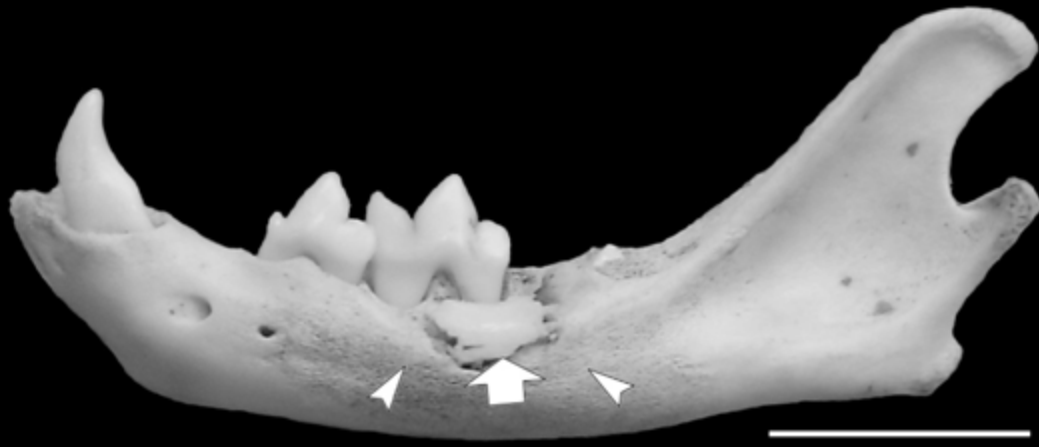


Figura 18. Mandíbula de gato (*Felis* sp.). Material recente. Observe fragmento de osso morto (flecha), devido à osteomielite. Ao redor do mesmo há neoformação óssea, equivocadamente chamada de "periostite" e de "reação periosteal" (setas). Material do MCN/FZBRS. Retirado de Ferigolo (2007). Escala = 2 cm.

INFECÇÕES

Embora osteomielite piogênica (que forma pus) não seja frequente em material fóssil e arqueológico, até pela dificuldade de preservação, outras infecções muito mais importantes são encontradas em esqueletos humanos antigos, entre elas a sífilis, a tuberculose e a lepra.

Osteomielite piogênica

Infecções deste tipo têm como causa fraturas expostas (osso fraturado que perfura a pele), infecções na pele ou músculos que se estendem até o osso, ou até infecções dentárias. Infecções distantes levam a uma osteomielite quando bactérias passam para a corrente sanguínea. São mais comuns em crianças do que em adultos, bem como o são suas complicações, tais como infecção em articulações (artrite séptica), septicemia e morte **(Figuras 17 e 18)**.

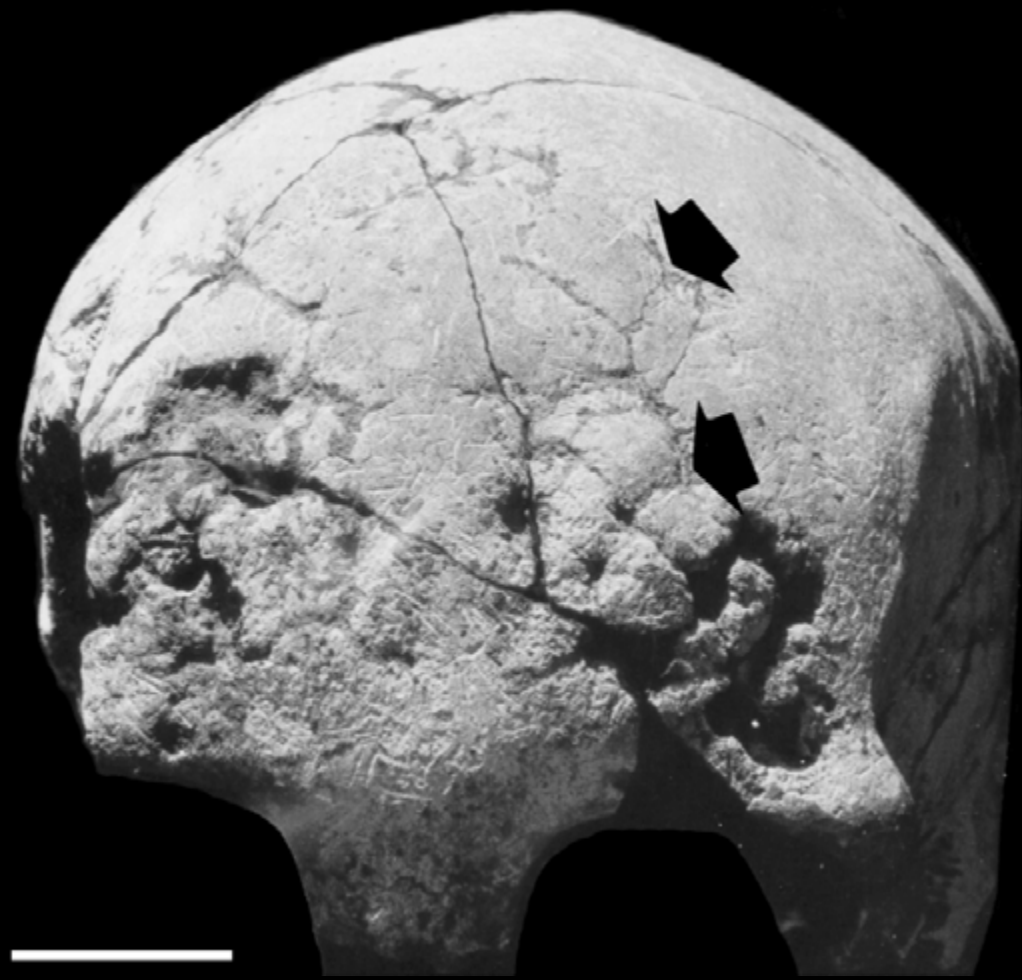


Figura 19. Homem (material arqueológico brasileiro). Sífilis terciária. Crânio com "crateras", algumas em fase ativa, outras curando, e várias curadas. O padrão é típico da sífilis terciária. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2 cm.

Sífilis

A sífilis é de grande interesse para a paleopatologia, porque é uma das poucas infecções cuja história é conhecida, pelo menos desde os tempos de Colombo. Logo após Colombo e sua troupe terem voltado de sua primeira viagem à América, ocorreu na Europa uma epidemia de sífilis que matou muitos milhares de pessoas (ver Ferigolo, 1988 e Crosby, 1993).

Outras doenças que os europeus trouxeram para a América são: varíola, gripe, pneumonia, disenterias e gonorréia. Em troca, os europeus levaram a sífilis, que já se tornara uma infecção benigna entre os ameríndios (Ferigolo,1988).

A sífilis somente apresenta sinais no esqueleto após muitos anos sem tratamento, chamada de sífilis terciária, quando a pessoa além das lesões ósseas apresenta sérias lesões no sistema nervoso e no coração, pelas quais vêm a morrer. Nos ossos, as lesões são todas muito típicas (por isso, chamadas de patognomônicas) **(Figura 19)**.

Sobre o intercâmbio das doenças trazidas pelos "colonizadores", e as doenças que eles levaram das Américas para a Europa, bem como sobre as atrocidades cometidas pelos europeus, veja o excelente livro de Alfred W. Crosby, *Imperialismo Ecológico* (1993). O Dr. Crosby é um especialista na história da Sífilis.

Tuberculose

A tuberculose é uma infecção muito antiga na história da humanidade, talvez adquirida há muitos milhares de anos a partir do gado bovino, na forma de uma tuberculose intestinal. Como pode acontecer até hoje. A doença não existia nas Américas, tendo sido introduzida pelos colonizadores. A forma pulmonar é a mais comum **(Figura 20)**, mas a tuberculose pode afetar também o aparelho urinário e os ossos **(Figura 21)**. A forma pulmonar, quando não tratada, pode se estender até a coluna vertebral, com grande destruição das vértebras. A tuberculose, tipicamente "atravessa as articulações", assim levando ao fusionamento das vértebras e dos diferentes ossos, o que não acontece com as osteomielites bacterianas banais. A forma óssea é comum desde o Antigo Egito **(Figura 22)**, onde é encontrada inclusive em inscrições e em estatuetas.

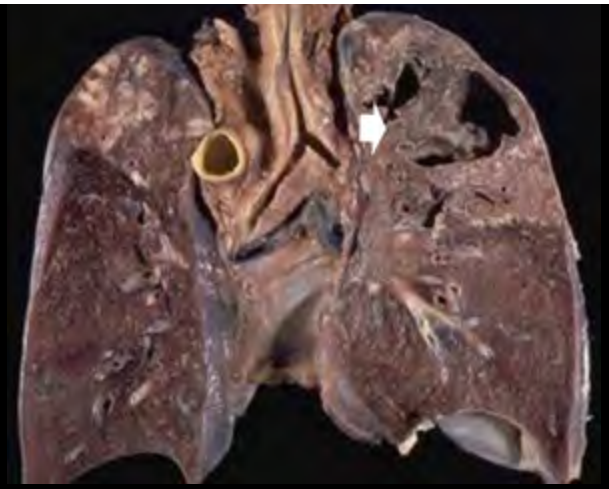


Figura 20. Tuberculose pulmonar humana. Material recente. Tipicamente as lesões pela tuberculose acontecem nos lobos pulmonares superiores, ou na porção apical dos lobos inferiores. Com o tempo o tecido pulmonar é destruído e se formam grandes cavidades (flecha). Fonte: www.discovermagazine.com.

Figura 21. Leão marinho sul-americano (*Otaria byronia*). Material recente. (A) crânio, vista dorsal: neoformação óssea periosteal em ambos os parietais, sugestiva de ossificação por processos tuberculoso (setas); (B) vista parcial lateral esquerda do rostro: lesão lítica arredondada, perfurando o maxilar, típica de tuberculose óssea (seta). Retirado de Braunn & Ferigolo (2004). Escalas 10 mm.

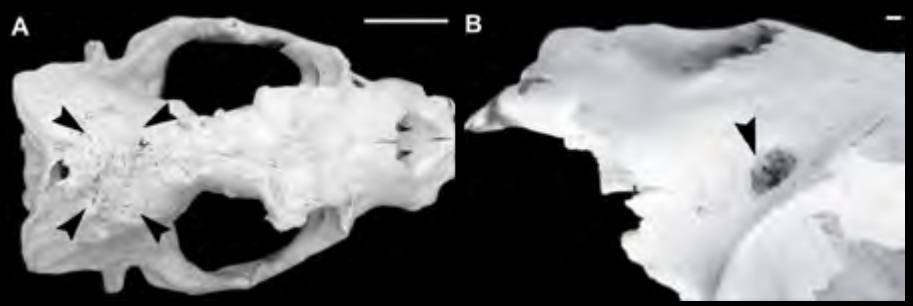


Figura 22. Paleopatologia histórica. Tuberculose. Hungria entre Séculos 12 e 16. Segmento de coluna vertebral, com colapso da sétima até a décima-segunda vértebra torácica, destruição dos arcos neurais e fusionamento do segmento. Acentuada cifose, devido à destruição dos corpos vertebrais (flecha). A única doença que dá esse tipo de lesão é a tuberculose. Retirado de Marcsik *et al*. (2006).

Varíola

A varíola e a peste bubônica, com certeza são as infecções mais importantes da história da humanidade. Ambas dizimaram milhões de pessoas ao longo dos séculos. E a varíola certamente foi o fator mais importante na "conquista" das Américas pelos espanhóis. Sabe-se hoje que, em todos os continentes que "conquistaram", o sucesso dos europeus não se deveu à sua "inteligência superior", como eles pensavam, mas sim principalmente às infecções que levavam em seus próprios corpos (Crosby, 1993). Por exemplo, onde é hoje o México, antes de Colombo viviam cerca de 30 milhões de pessoas (Ameríndios), que foram reduzidos a apenas três milhões, passados apenas cinquenta anos. Há poucos anos, o vírus da varíola foi coletado em uma múmia egípcia com cerca de 5.000 anos, e os estudos mostraram que tais vírus não estavam "mortos", mas apenas em um estado de dormência **(Figuras 23 e 24)**.

Figura 23. Cabeça da múmia do Faraó Ramsés V, com erupção da pele fortemente sugestiva de varíola. Retirado de Brothwell & Sandison (1967).

Figura 24. Faraó Sirah (1197-1191 a.C.), 19ª dinastia. À esquerda, vista do topo do sarcófago; à direita os pés do faraó. A múmia é de um indivíduo de cerca de 16 anos. Seu pé esquerdo está muito deformado, o que permite sugerir que ele tenha sofrido paralisia devido à poliomielite. Fonte: http://www.crystalinks.com/Siptah.html.

Artrose

Doenças em articulações são muitas vezes chamadas de "reumatismo", o que na realidade não é o nome científico de nenhuma patologia articular. A doença articular mais comum é a artrose, que pode ter muitas causas. Uma delas é a existência de uma artrite prévia e de longa duração. Muitas vezes tais artrites são doenças auto-imunes, como é o caso da artrite reumatóide. Outras causas da artrose são outras artrites, sejam elas traumáticas, ou até mesmo infecciosas.

Mas a artrose é uma das doenças mais comuns em esqueletos humanos principalmente como alteração senil, ou degenerativa. No material arqueológico ela é mais frequente em algumas populações onde há uma maior sobrecarga sobre os membros. E é mais comum nos membros onde essa sobrecarga se dá. Diferentemente do que muitos crêem, o material arqueológico mostra muitos indivíduos com idade acima dos 60 anos. A principal evidência não é apenas a artrose, mas as discopatias da coluna vertebral, cujos sinais secundários vão se desenvolvendo progressivamente, indicando assim a idade dos indivíduos.

As principais articulações com artrose são a do quadril (coxo-femoral) e do joelho (tanto no fêmur, quanto na tíbia e na patela (ou rótula). Também é comum artrose entre as articulações posteriores das vértebras (chamadas de zigapófises), mas a causa das mesmas não é muito clara. Artrose é também a regra quando das fraturas dos membros, porque os fragmentos frequentemente se solidificam com uma certa angulação, o que altera completamente a mecânica e o equilíbrio articular.

Nos mamíferos fósseis os sinais de artrose parecem relacionados a dois aspectos. Em primeiro lugar, ela só aparece em animais que vivem muito, de modo que é uma artrose relacionada à sobrecarga, pois tais animais são todos de grande porte, e ao envelhecimento. Pequenos mamíferos vivem uns poucos anos, de modo que nunca desenvolverão artrose, a não ser em condições especiais, como trauma ou infecção articular. Em segundo lugar, como a artrose está relacionada aos grandes animais e ao seu peso, a artrose vai aparecer na articulação que sofre maior sobrecarga, que é o caso da articulação do quadril (articulação coxo-femoral). Assim, os sinais vão aparecer principalmente na cabeça femoral e no acetábulo da pelve **(Figuras 25 e 26)**.

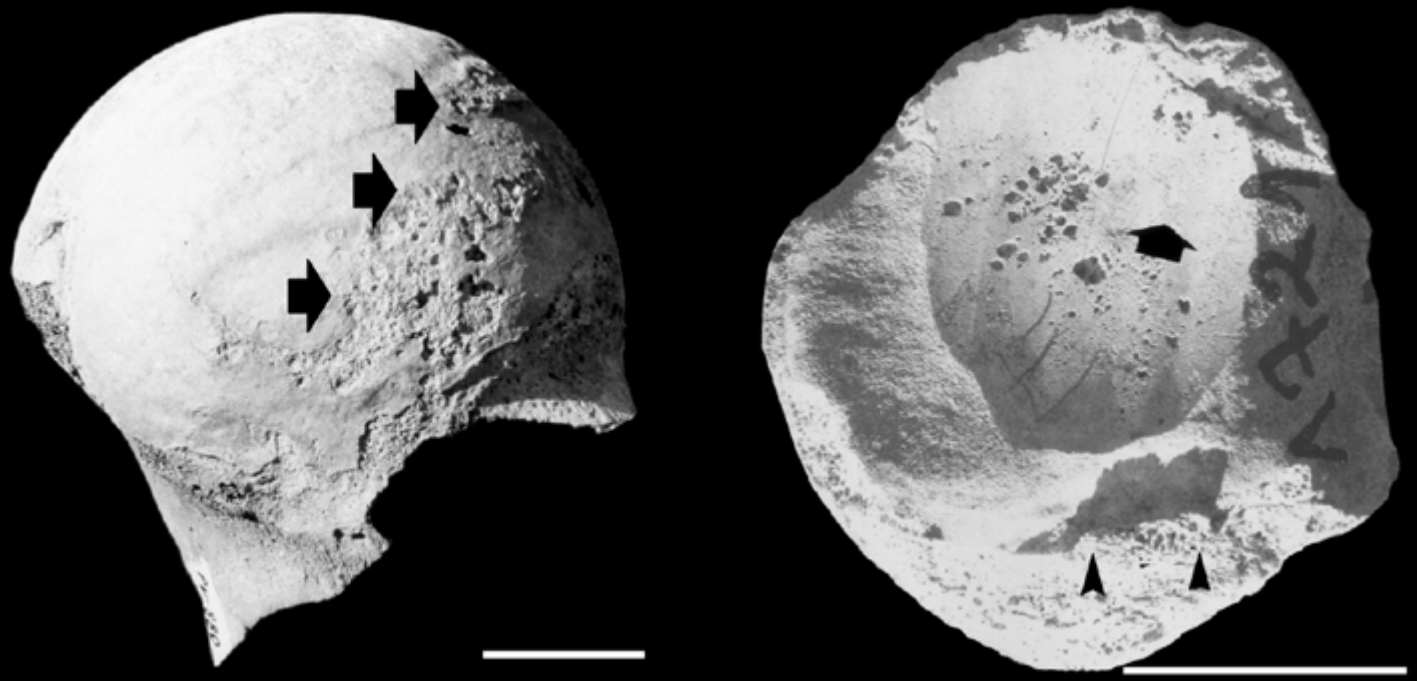


Figura 25. *Toxodon* sp. Mamífero da megafauna do Pleistoceno superior do RS. Cabeça de fêmur esquerdo. As erosões indicadas pelas flechas são as erosões subcondrais, típicas da artrose. Material da Secção de Paleontologia do MCN/FZBRS. Escala = 2cm.

Figura 26. Homem (material arqueológico brasileiro). Patela (rótula), vista da face que se articula com o fêmur. A área deprimida (côncava) se deve à artrose, onde toda a parte externa do osso foi reabsorvida. As aparentes erosões são na realidade o osso interno (osso esponjoso), visível devido à reabsorção óssea. A flecha indica uma área de osso muito denso (esclerose óssea), que se formou pelo atrito direto com o fêmur. As setas, na porção inferior da fotografia indicam osteófitos marginais, também relacionados à artrose. etirado de Ferigolo, 1987a). Escala = 2cm.

Discopatias ("Bicos de Papagaio)

O que se chama de "bico de papagaio" é na realidade uma ossificação de tecidos moles nas margens dos corpos das vértebras, em consequência das discopatias. Chamam-se essas ossificações de "osteófitos". Eles se formam em função da instabilidade que surge entre as vértebras, devido às discopatias **(Figura 27)**.

Discopatia é uma "doença dos discos"? Na verdade, as vértebras são separadas pelos discos intervertebrais, que são em parte cartilaginosos, em parte tecido embrionário. Com o tempo, com a idade, os discos sofrem desidratação, e no final se ossificam. Como o disco funciona como uma bola de tênis entre duas vértebras, separando-as, com a degeneração dos discos as vértebras passam a deslizar uma sobre a outra. Para impedir que o escorregamento de uma vértebra sobre a outra comprima a medula e os seus nervos, formam-se os osteófitos, que com o passar dos anos crescem e finalmente formam pontes ósseas, fixando as vértebras. Discopatias aparecem em todas as pessoas com mais de quarenta anos de idade. Portanto, as discopatias e os "bicos de papagaio" são realmente alterações senis, embora sejam doenças porque podem causar muitos problemas. A compressão dos nervos da medula tem como sintoma a "ciática", e pode ser ocasionada pelos osteófitos.

Figura 27. Preguiça gigante (megaterídeo), animal da megafauna pleistocênica da América do Sul. Vértebra torácica, com marcados osteófitos ("bicos de papagaio") na margem anterior da vértebra (flechas). Na superfície da vértebra pode-se observar erosões (setas), devido à discopatia. Material da Seção de Paleontologia do MCN/FZBRS. Escala = 2cm.

PROBLEMAS NUTRICIONAIS E METABÓLICOS

Em paleopatologia há vários sinais principais de déficit nutricional, mas que podem também representar um problema de metabolismo, não uma falta de ingestão dos alimentos necessários. Os principais são considerados a hipoplasia de esmalte nos dentes, e as linhas de Harris nos ossos longos. São também considerados como indicação de problema nutricional, (1) a redução no crescimento corporal, (2) a maior susceptibilidade às infecções, e (3) a presença de osteoporose em um indivíduo que não tem idade para ter uma osteoporose senil.

Outros sinais podem ser não devidos a um déficit de ingestão de nutrientes, mas sim devidos a uma perda dos mesmos, por espoliação de sangue, como o ocasionado pelos parasitas intestinais. Em material arqueológico em geral, sinais de anemia se devem a verminoses intestinais.

Hipoplasia de esmalte

A hipoplasia de esmalte tem sido considerada em paleopatologia humana como devido a um déficit nutricional. No entanto, sabe-se hoje que também as infecções banais da infância levam a distúrbios metabólicos, e ao aparecimento de hipoplasia. Em mamíferos a hipoplasia é comum naqueles animais que têm um desgaste e portanto um crescimento muito rápido dos dentes **(Figura 28)**.

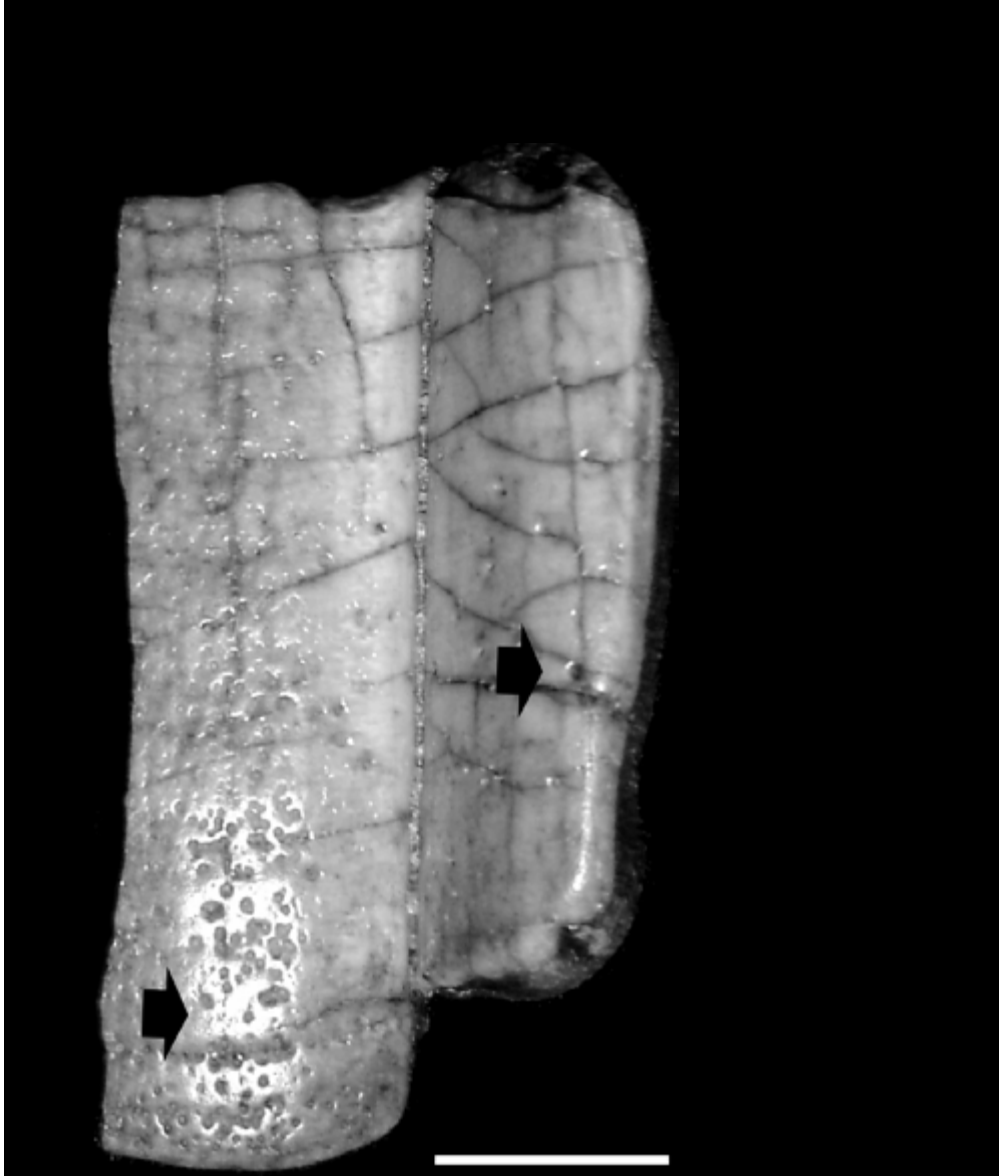


Figura 28. Fragmento de dente molar de *Toxodon* sp**.** Mamífero da megafauna Sul-americana, do Pleistoceno superior do RS (entre 10 e 15 mil anos atrás). Observe os pontos (Flechas) de hipoplasia no esmalte, os quais se apresentam como pequenos orifícios. Material da Seção de Paleontologia do MCN/FZBRS. Escala = 2cm.

Linhas de Harris

As linhas de Harris **(Figura 29)** são observadas nas radiografias dos membros inferiores, e aparecem como linhas transversais, devido a trabéculas de osso mais espesso. Tais linhas têm sido consideradas em paleopatologia humana como evidência de carência nutricional, ou de infecções na infância. Considera-se então que seriam trabéculas ósseas mais espessas, formadas quando a criança se recupera de sua doença. No entanto, sabe-se hoje que tais linhas estão também relacionadas a fases de crescimento mais rápido dos ossos. Assim, todas as crianças normais as apresentam, quando são feitos exames para outros fins (suspeita de fratura, etc.). As únicas crianças que não têm linhas de Harris nos ossos são as que têm uma doença chamada de kwashiorkor, e que morrem de desnutrição crônica. Como as linhas se formam por uma aposição óssea mais intensa, nessas crianças as linhas não se formam porque eles nunca se recuperam do déficit nutricional. O nome africano kwashiorkor já indica a origem da doença, pois significa "doença do primeiro filho, quando nasce o segundo". Ou seja, quando nasce o segundo filho, o primeiro, que era alimentado praticamente apenas pelo leite materno, passa então a não receber alimento algum.

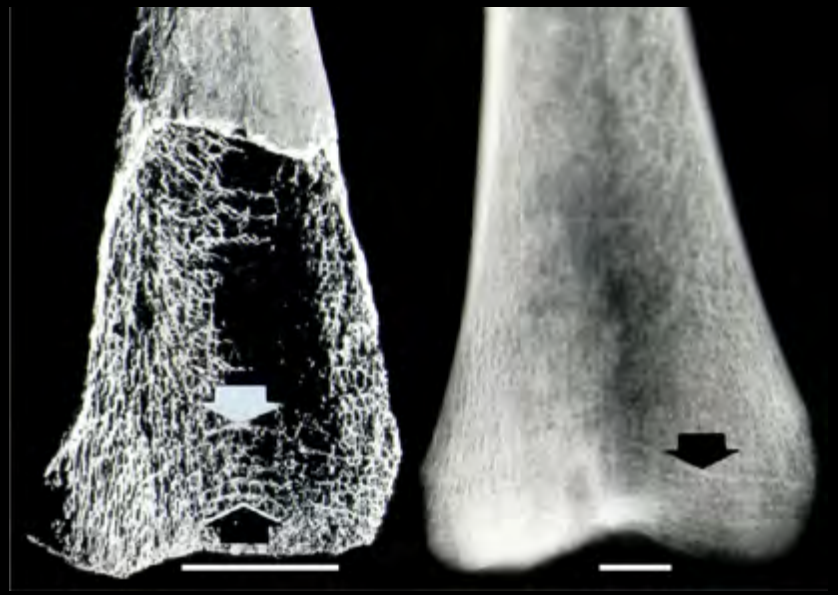


Figura 29. Homem (material arqueológico brasileiro). Fragmento de fêmur de uma criança. Como o osso está já fraturado, está exposto o osso esponjoso interno, e também as linhas de Harris (flecha). À direita, radiografia do mesmo espécime. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

Anemia

Em material arqueológico, os sinais de anemia indicam geralmente infestação por parasitas intestinais. De modo que evidência de anemia não indica, em geral, déficit alimentar. Alguns parasitas se alimentam do sangue, levando a uma anemia. Nesses casos, o tecido formador de sangue (tecido hematopoiético) se hipertrofia tentando formar mais sangue, o que faz com que apareça uma erosão na superfície do osso, que se torna porosa. Os dois principais lugares que se observa isso são o teto da órbita (onde se chama de *cribra orbitalia*), e a face lateral do crânio (no osso parietal), onde se chama de hiperostose porótica. Esses são locais onde, no crânio o tecido hematopoiético é mais volumoso **(Figura 30)**.

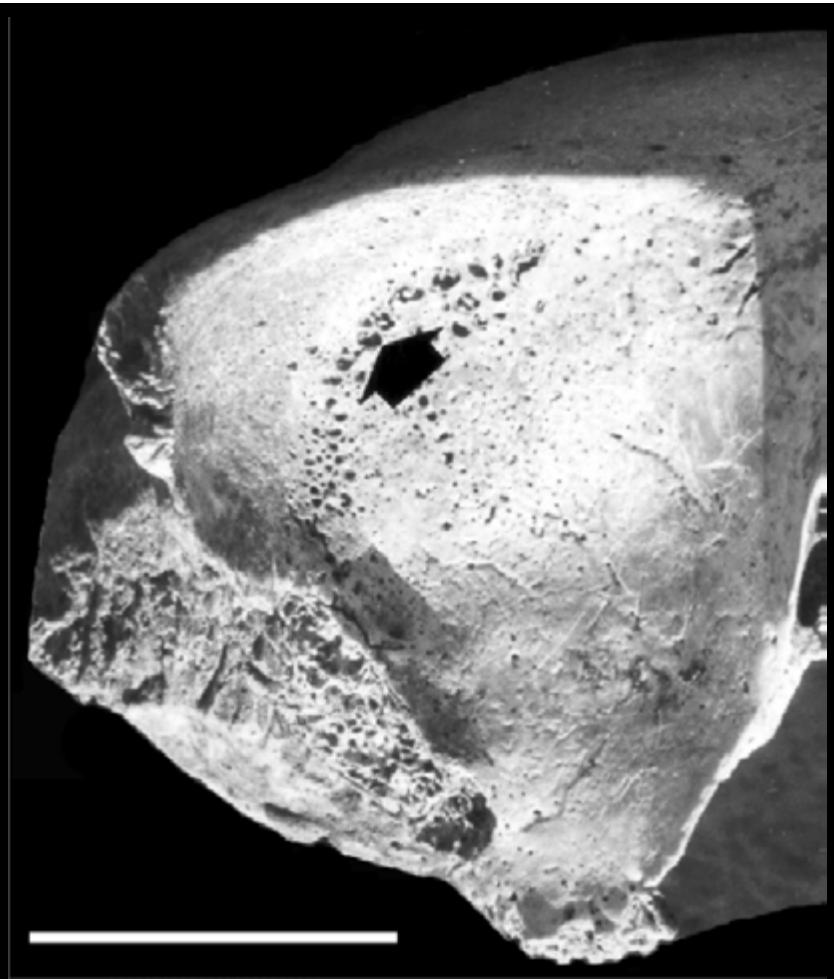


Figura 30. Homem (material arqueológico brasileiro). Órbita vista por baixo. A flecha está indicando as diminutas perfurações na superfície do osso do teto da órbita. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

TUMORES

Tumores malignos tornam os ossos muito frágeis, pelo que são raros em esqueletos pré-históricos. Tumores benignos são menos raros, mas muitos destes não são realmente tumores, mas antes anomalias ou espessamentos ósseos relacionados a inflamações crônicas. Nos fósseis os tumores verdadeiros são raríssimos **(Figuras 31,32 e 33)**.

CÁLCULOS

Cálculos de órgãos internos de mamíferos, seja da vesícula biliar, e mais comumente do aparelho urinário, podem ser eventualmente encontrados nos sítios fossilíferos **(Figura 34)**.

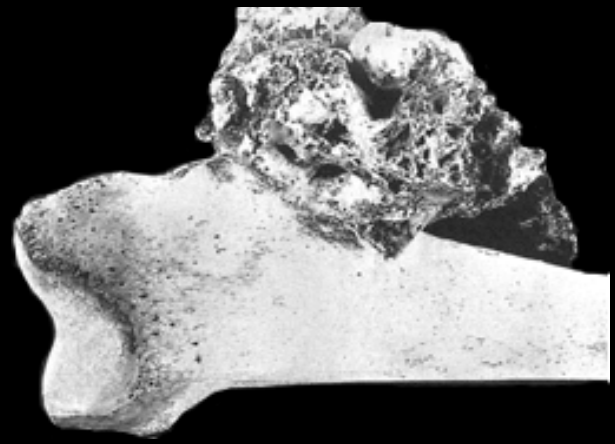


Figura 31. Material arqueológico egípcio. Porção distal do fêmur de indivíduo da 5ª Dinastia do Egito, com grande massa irregular, identificado inicialmente como sendo um tumor maligno (um osteossarcoma). Autores posteriores vieram a considerá-lo como um osteocondroma, um tumor benigno, mais conhecido simplesmente como exostose (o tipo mais comum de tumor benigno). Retirado de Aufderheide & Rodriguez-Martin (2011).

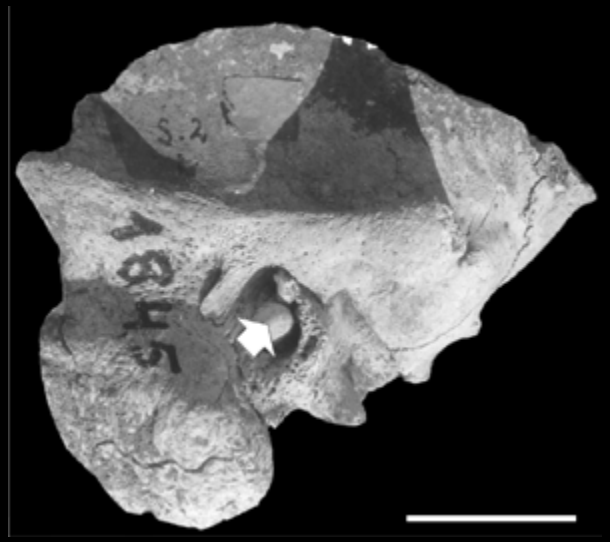


Figura 32. Homem (material arqueológico brasileiro). Exostoses dentro do conduto auditivo externo ("osteoma"). Estes espessamentos ósseos podem fechar quase todo o conduto do ouvido, levando à surdez. Eles por vezes são considerados como tumores benignos, mas são devidos à otite externa crônica. Como se observa em nadadores e surfistas atuais, também no material arqueológico tais exostoses aparecem em populações litorâneas. Exostoses como essas são hoje comuns dentro dos seios da face, em casos de sinusite crônica. Eventualmente são associadas à osteomielite. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

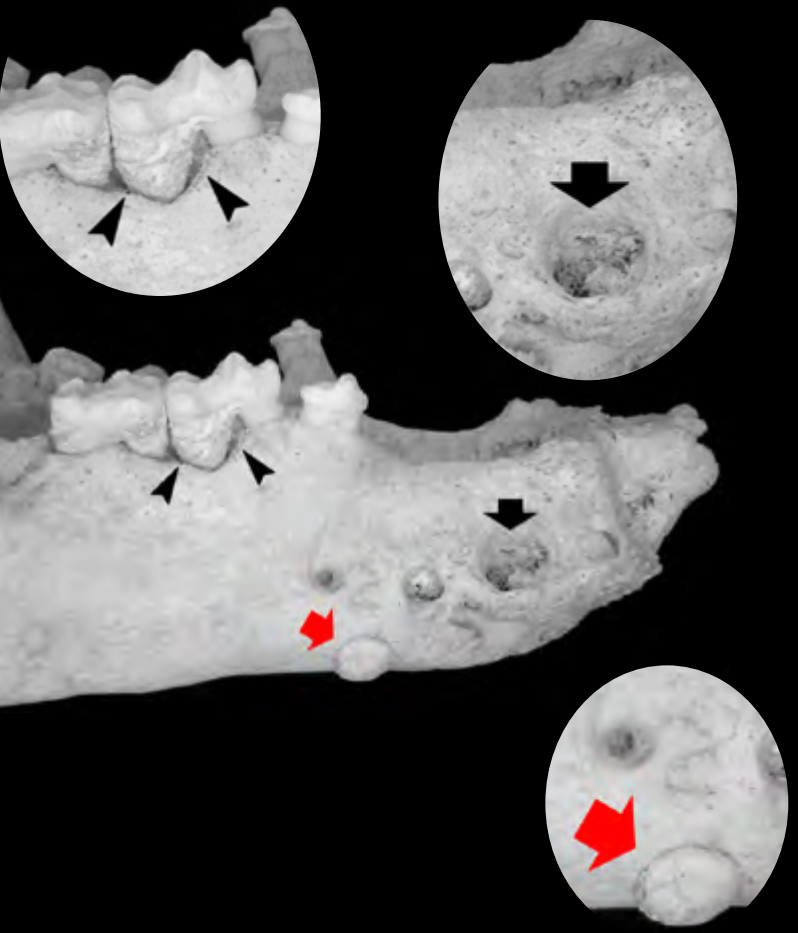


Figura 33. *Ursus maritimus* (urso polar). Material recente. Mandíbula. No canto inferior direito há uma massa óssea arredondada, um osteoma (flecha vermelha), causado pela infecção crônica dos abscessos dentários e da osteomielite, causada pelos abscessos dentários (flecha preta). Onde está marcado com setas observa-se reabsorção óssea devido a uma periodontite. As partes mais claras sobre a raiz são restos de cálculos dentários. Material da Coleção de Mastozoologia do MCN/FZB/RS.

Figura 34. Cálculo seccionado ao meio, provavelmente urinário, de mamífero do Pleistoceno superior da Argentina. Observe as camadas concêntricas. Material do Departamento de Paleontologia, *Museo de La Plata*, Argentina. Escala = 2cm.

"DOR DE DENTE" (DOENÇAS DENTÁRIAS)

Em material arqueológico é notável a frequência das patologias dentárias. As razões são várias. Em primeiro lugar tais populações com frequência usavam alimentos crus, o que exige maior tempo de mastigação, e leva a um maior desgaste dentário. Com o desgaste vêm outras patologias, entre elas a exposição da polpa dentária, sua morte, e eventualmente complicações que vão desde inflamações até abscessos dentários e osteomielite. Raramente, principalmente em crianças, tais osteomielites disseminam levando à morte.

As doenças dentárias mais comuns no homem pré-histórico são as mesmas que as modernas. Há uma grande diferença, no entanto: em populações de caçadores-coletores (que apenas caçavam e coletavam os alimentos, mas não se dedicavam à agricultura), as cáries são muito menos frequentes, porque elas se relacionam principalmente à presença de amido (consumo de grãos e raízes) na dieta.

Nos mamíferos as cáries são raras, e presentes apenas nos que utilizam alimentos ricos em amido, ou que comem mel (e.g. urso). Mas há também uma grande diferença aqui, a de que muitos mamíferos têm dentes que desgastam muito, e também crescem durante toda a vida. Nesses animais não chegam a se formar cáries e outras patologias são também raras. O mesmo se dá com outros vertebrados que substituem constantemente os dentes (peixes, anfíbios e répteis). As doenças mais comuns no homem são as fraturas, as periodontites, as lesões periapicais e as cáries.

Algumas doenças são complicações do desgaste pronunciado dos dentes. O que é comum em populações pré-históricas, principalmente nos que utilizam alimentos crus, e nos que utilizam os dentes para fazer utensílios. Nesses dentes as fraturas são muito comuns, bem como um desgaste tal que pode chegar a atingir o nível da polpa dentária (onde estão os nervos e os vasos sanguineos). Com isso o dente morre e a contaminação interna do dente pode levar a um processo inflamatório no ápice das raízes (lesões periapicais), ou mesmo a abscessos (infecções) periapicais. As infecções podem evoluir para uma osteomielite. São também muito comuns as periodontites, que se iniciam como gengivites, mas que chegam a levar, quando muito graves e de longa duração, à reabsorção das paredes dos alvéolos dos dentes, de modo que esses podem cair, sem terem nenhuma doença intrínseca a eles mesmos.

Fraturas dentárias

As fraturas são a patologia dentária mais comum em dentes tanto do homem pré-histórico quanto nos mamíferos fósseis **(Figura 35)**. Isso se deve a várias razões, a principal delas sendo o desgaste dentário. Em dentes braquiodontes (dentes de coroa baixa), como no caso do homem, o desgaste acentuado (atrição) leva a um grande desgaste da parte menos dura, a dentina, formando-se assim bacias do centro do dente, marginadas por altas cristas de esmalte. Com a mastigação de alimentos mais duros, essas cristas fraturam, o que também pode levar à exposição da polpa, aos abscessos e à osteomielite. Alguns mamíferos desgastam e fraturam os principais pentes da mastigação, até ficarem apenas as raízes. Isso acontece, por exemplo, como o gambá (*Didelphis*).

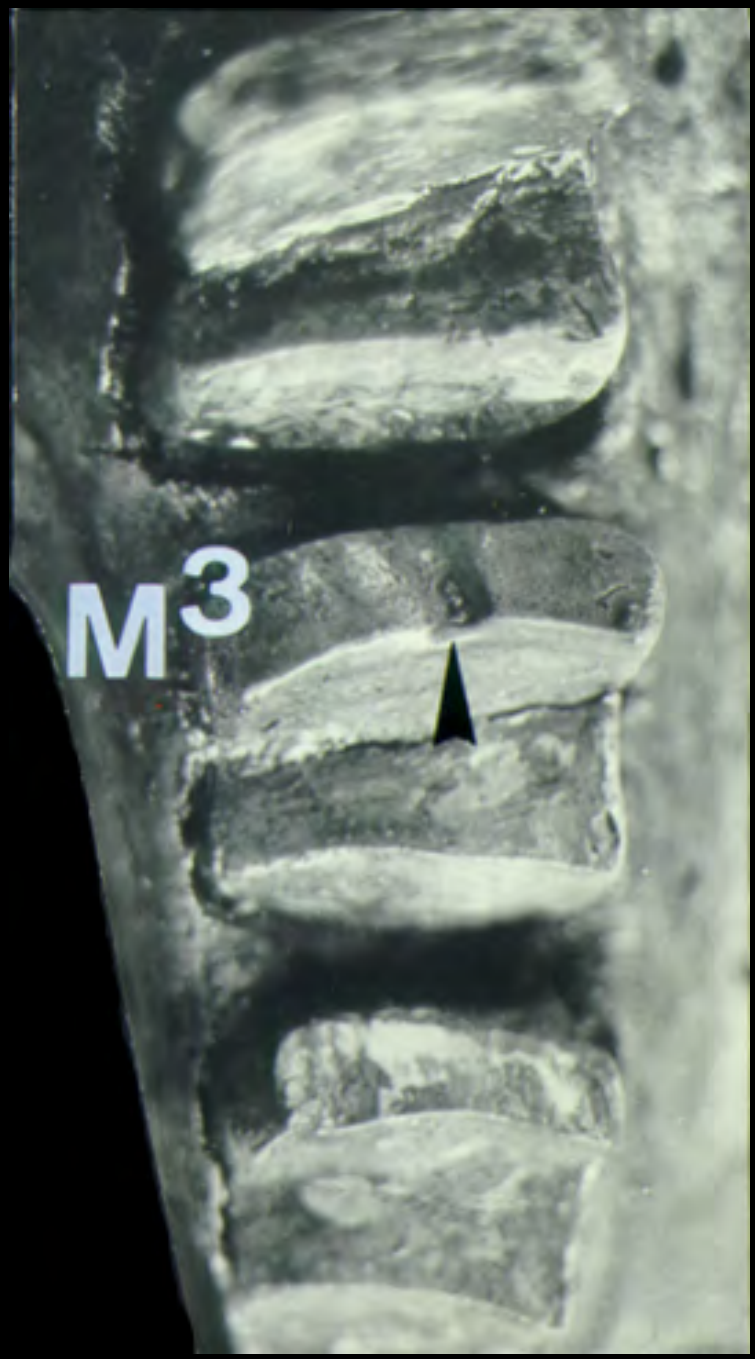


Figura 35. *Eremotherium laurillardi*, preguiça gigante do Pleistoceno superior do RS. Dentes superiores, onde um deles (terceiro molariforme, M3) apresenta uma pequena fratura (seta), que ocorreu em vida. Identifica-se uma fratura em vida quando sua superfície está arredondada e lisa, devido à mastigação depois da fratura. Se a fratura tivesse ocorrido após a morte a área fraturada seria irregular com margens agudas. Retirado de Ferigolo (1987a).

Desgaste dentário (atrição e abrasão)

O desgaste dentário, chamado de atrição, é algo que ocorre normalmente, mas em mamíferos que têm dentes de coroa baixa (braquiodontes), como no homem, carnívoros, no porco e muitos roedores, o desgaste com o tempo leva a sérias complicações, a mais grave podendo ser uma disseminação de uma infecção, uma septicemia (disseminação da infecção via sanguínea) e a morte. Braquiodontes são dentes que têm uma coroa, um colo e raízes. Dentes de crescimento contínuo, i.e., por toda a vida, não têm raízes, e todo o dente têm a forma como se fosse uma coroa muito alta. Chamamos nesse caso de *fuste* dentária.

Como durante o desgaste dos dentes braquiodontes eles tenderiam a ficar cada vez mais baixos e deixarem de ocluir, para evitar isso o cemento (um tecido do dente) é depositado sobre as raízes, e o dente parece crescer, como que "saindo do alvéolo". Neles a coroa se torna cada vez mais baixa e as raízes mais altas. Chama-se a isso *extrusão* dentária **(Figuras 36 e 37)**.

O uso não masticatório dos dentes na feitura de utensílios como cordas, também acentua o desgaste de dentes que normalmente não se desgastam tanto na mastigação, como é o caso dos dentes incisivos. Outros processos também levam ao desgaste seletivo de dentes não utilizados na mastigação, como é o caso de uso de cachimbo. Nesse caso, o desgaste de dentes superiores e inferiores é simétrico, tomando a forma de uma crescente, quando a mandíbula está ocluída com os maxilares. Esses desgastes não masticatórios são chamados de abrasão dentária **(Figuras 38 e 39)**.

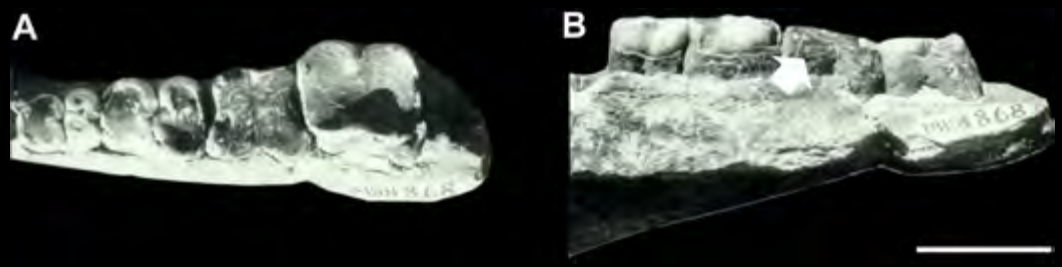


Figura 36. Fragmento de mandíbula de *Tayassu* sp., mamífero da megafauna Sul-americana. (A) em vista oclusal; (B) em vista de lado. O primeiro molar (flecha) está desgastado quase até o nível das raízes. Todos os dentes estão sofrendo extrusão. A presença de extrusão, na falta de outros processos, indica indivíduo senil. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

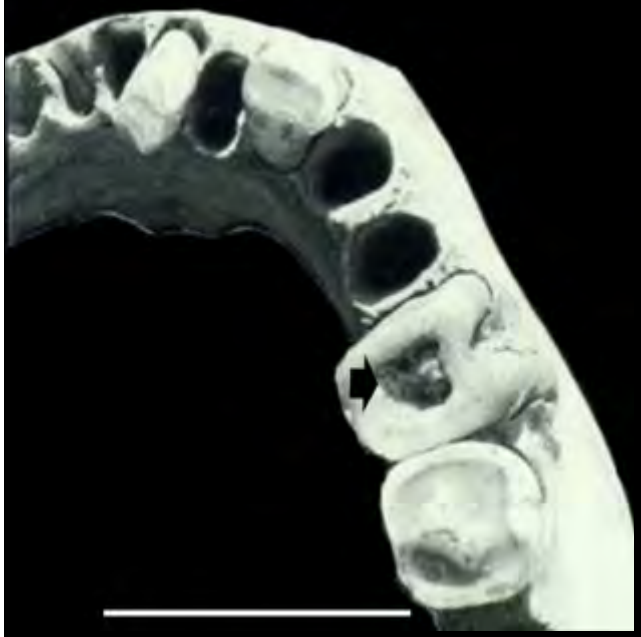


Figura 37. Homem (material arqueológico brasileiro). Fragmento de mandíbula, no qual um dos dentes está tão desgastado que expôs a câmara pulpar (flecha). Não deve ser confundido com uma cárie. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

Figura 38. Homem (material arqueológico brasileiro). Fragmento de mandíbula. Os dentes estão extremamente desgastados, como se pode ver pelo molar (M1; último dente à esquerda), onde não há mais coroa, sendo visíveis praticamente apenas as raízes. Nas raízes desse dente e naquelas do dente à direita há abscessos periapicais (setas), um deles expandindo o osso que toma um aspecto de bolha (flecha). No dente à direita há "periostite" uma camada de osso neoformado, devido a uma osteomielite. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

Figura 39. Homem (material arqueológico brasileiro). Fragmento da maxila. No dente mais à direita (primeiro molar), há um enorme abscesso periapical. Logo acima desse abscesso, há uma perfuração (seta) no seio maxilar (um dos seios da face). Essa é uma das complicações possíveis, nos casos de abscessos periapicais. A perfuração leva a uma sinusite séptica. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

Periodontite

Periodontites são inflamações dos tecidos que fixam os dentes no osso (chamados em conjunto de periodonto). Elas começam como simples gengivites, mas com o tempo podem evoluir para a formação de cálculos dentários, e finalmente levando à reabsorção da parede dos alvéolos dentários. Nesses casos, os dentes ficam sem apoio ósseo e caem, por vezes sem nenhuma patologia neles mesmos. As periodontites podem se iniciar devido à retenção de alimentos, e evoluir até a perda dentária **(Figura 40)**.

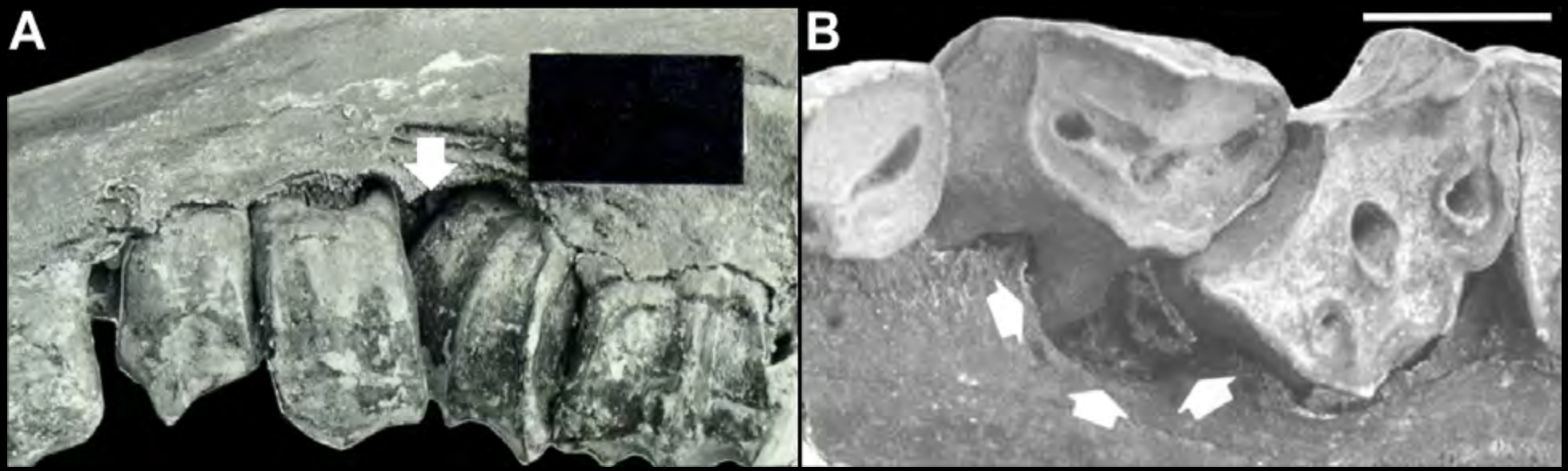


Figura 40. *Xenorrhinotherium bahiensis*, um grande ungulado da megafauna Sul-americana (Pleistoceno superior). Vista parcial do crânio.(A) vista lateral, (B) vista oclusal. Entre o pré-molar e o molar, junto às raízes, há uma grande área de reabsorção óssea (B; flechas), devido a uma periodontite. A lesão se originou porque o molar está mal-posicionado, como se vê na vista lateral. O mal posicionamento leva à retenção de alimentos, o que ocasiona uma periodontite. Em (A) se vê claramente como o osso que forma a parede do alvéolo está reabsorvido (flecha). Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

Cáries

Como já vimos, as cáries são pouco frequentes no homem pré-histórico caçador-coletor, não agricultor, portanto. Bem como são raras nos mamíferos fósseis. Como as cáries são duas a quatro vezes mais comuns em populações de agricultores, esse importantíssimo aspecto pode ser inferido com toda a segurança apenas pelo número de cáries dos esqueletos. Normalmente populações de caçadores-coletores têm, na média geral, menos de "duas cáries por boca" (**Figura 31**).

Figura 41. Homem (material arqueológico brasileiro). Dois ossos maxilas com cáries oclusais em dentes molares. Em (A) há uma cárie (flecha) de grandes proporções. Em (B) a cárie (flecha) destruiu toda a coroa dentária. Retirado de Ferigolo (1987a). Escala = 2cm.

PALEOPATOLOGIAS EM INVERTEBRADOS E PLANTAS FÓSSEIS

Nos invertebrados fósseis, as alterações mais comuns são as marcas deixadas por predadores, como as perfurações nas conchas, desde foraminíferos até os moluscos **(ver capítulo TAFONOMIA DE INVERTEBRADOS: O ENIGMA DAS CONCHAS)**. Nas plantas fósseis são mais comuns também os sinais de predação (recortes nas folhas), as deformidades (como galhas) causadas por insetos parasitas, bem como infecções por fungos.

Nas plantas fósseis, o estudo das paleopatologias são por vezes chamadas de "interação entre insetos e plantas". Os assim chamados de "galhadores" são insetos que, ao predar plantas, fazem com que, por meio de um estímulo químico das mesmas, elas desenvolvam tecidos patológicos. Esses formam galhas, as quais fornecem um local para o desenvolvimento do inseto parasita.

Sobre bioerosão (predação) em foraminíferos veja Vicalvi(2007), e sobre moluscos veja Senra (2007). Sobre sinais de predação (biocorrosão) em palinomorfos veja o trabalho de Arai & Azevedo-Soares (2007); e sobre a predação de insetos sobre plantas veja Adami-Rodrigues *et al*. (2004a, b; predação sobre folhas), Bolzon *et al*. (2004; galerias por insetos, ação de fungos e bactérias), e Stone *et al*. (2008; predação sobre folhas, galhas). Todos esses são trabalhos científicos, mas estão em português, exceto o último.

RELAÇÃO ENTRE DOENÇAS E EXTINÇÕES

A relação entre patologias e extinções é muito complexa. Basta dizer aqui que mudanças ambientais de todos os tipos têm íntima relação com a disseminação das infecções. Assim, seja qual for o fator considerado nas extinções, as doenças, principalmente as infecções, devem ter sido um fator preponderante, se não o principal (Ferigolo, 1993, 1999). É o caso da suposta extinção dos dinossauros, relacionada à queda de um meteoro na península de Iucatã, México **(ver capítulo EXTINÇÃO: A OUTRA FACE DA EVOLUÇÃO)**. Considerando-se que tal evento realmente ocorreu, pelas inúmeras evidências, como a camada de irídio, e que o efeito catastrófico tenha levado a uma profunda mudança climática na Terra, muitos animais que vieram a se extinguir o fizeram em função das infecções. A mudança climática reduz a oferta de alimentos, principalmente plantas, mas os animais geralmente não morrem de fome. Eles morrem bem antes, pela queda das resistências orgânicas, quando falta alimentação adequada (Ferigolo, 1993, 1999).

DOENÇAS EM OBRAS DE ARTE

Doenças têm sido frequentemente representadas em obras de arte, desde tempos pré-históricos. As mais antigas são imagens de mãos mostrando dedos amputados, feitas borrifando um pigmento com a boca, sobre as mãos, colocadas contra a rocha. Pinturas e inscrições egípcias e de outras culturas apresentam inúmeras doenças, desde anomalias congênitas, casos de paralisia por poliomielite, e até infecções graves como a tuberculose. Alguns desses são os casos mais antigos registrados para as respectivas doenças, de modo que são do maior interesse para a História da Medicina e das infecções **(Figuras 42 a 46)**.

Figura 42. Pinturas de mãos na Caverna de Gargas, nos Pirineus franceses. Os dedos muito curtos poderiam representar amputação. Muitas pinturas rupestres mostram a impressão negativa de mãos, onde aparentemente faltam dedos, ou parte de dedos. De uns tempos para cá, alguns autores têm contestado que todos seriam casos de amputação, podendo ser simplesmente brincadeiras, porque tais figuras podem ser replicadas dobrando os dedos (como se vê na figura da direita). Fonte: www.bradshawfoundation.com.

Figura 43. Estátua do faraó Amenhotep IV (museu egípcio do Cairo), mais conhecido como Akenaton, pai de Tutankamon. Ele pertenceu à 18º dinastia, e reinou entre os anos de 1352 e 1336 a.C. Aparentemente sofria da Síndrome de Marfan, uma doença genética que afeta o tecido conjuntivo do corpo, e se caracteriza por mãos, pés e dedos muito longos, queixo e abdômen proeminentes, etc. Todos esses sinais estão presentes nas esculturas e inscrições que representam esse faraó. Akenaton é também conhecido por ter sido o primeiro monoteísta na história da humanidade. Fonte: www.ancient-egypt.co.uk/cairo%20museum/cm,%20akhenaten/index:htm.

Figura 44. Estátua de um pedinte da Alexandria, Egito, Século II a.C. A acentuada corcunda (cifose) e a extrema magreza (caquexia) permitem sugerir um caso de tuberculose. A corcunda se deve à destruição de alguns corpos vertebrais. Fonte: www.archaeology.org/blog/?p=64. Ver figura 22 com as lesões da Tuberculose na coluna vertebral.

Figura 45. Vênus de Willendorf, Áustria, com cerca de 18 a 25 mil anos. Ela representa uma mulher com acentuada hipertrofia das nádegas, por acúmulo de gordura (esteatopigia). Muitas dessas vênus podem estar relacionadas aos cultos à fecundidade, e poderiam representar mulheres muito férteis.
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Venus_von_Willendorf_01.jpg).

Figura 46. Estela funerária do Egito, Século XIV a.C. Ela provém do sítio de Sakara, ao sul do Cairo, e possivelmente é a mais antiga representação de um caso de poliomielite. No centro da estela está representado um porteiro, que carrega uma taça na mão esquerda, enquanto se apóia em um bastão. Observe sua perna direita, que é bem mais fina (atrofiada), e o pé que está deformado e mal toca o solo. Os sinais são característicos de sequela da poliomielite. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Polio_Egyptian_Stele.jpg). Ver figura 24 e comparar com a foto do pé do faraó Sirah.

REFERÊNCIAS

ADAMI-RODRIGUES, K.; SOUZA, P. A.; IANNUZZI, R. & DAMIANI-PINTO, I. 2004b. Herbivoria em folhas gonduânicas do Neopaleozoico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. Porto-Alegre: Revista Brasileira de Paleontologia 5:93-102.

ARAI, M. & AZEVEDO-SOARES, H. C. 2007. Palinoicnofósseis: marcas de bioerosão em palinomorfos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.118-121.

BOLZON, R. T.; AZEVEDO, I.& MACHADO, L. G. 2004. Registro da atividade de organismos em um caule do Permiano do rio Grande do Sul, Brasil. Arquivos do Museu Nacional 62 (4): 513-518.

DOMINATO, V. H.; MOTHÉ, D.; AVILLA, L. S. & BERTONI-MACHADO, C. 2009. Ação de insetos em Vértebras de Stegomastodon waringi (Mammalia, Gomphotheriidae) do Pleistoceno de Águas de Araxá, Minas Gerais, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia 12(1)1:77-82.

FERIGOLO, J. 1985. Paleopatologia em preguiças terrícolas. Osteoartrose. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8 (Rio de Janeiro, 1983), Coletânea de Trabalhos Paleontológicos, sér. Geologia, DNP M, 27: 35-41.

FERIGOLO, J. 1987a. Paleopatologia comparada de vertebrados: "Homem de Lagoa Santa", "Homem do Sambaqui de Cabeçuda" e Mamíferos Pleistocênicos. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Tese de Doutorado, 490 p.

FERIGOLO, J. 1987b. Anatomia Comparada, Paleontologia e paleopatologia de Vertebrados. Porto Alegre: Paula-Coutiana 1:105-127.

FERIGOLO, J. 1988. Sífilis terciária em esqueleto indígena de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. Iheringia, S. Miscelânea 2:39-52.

FERIGOLO, J. 1990a. Epifisite vertebral em Eremotherium laurillardi. Ameghiniana 26 (3-4): 243.

FERIGOLO, J. 1990b. Manifestações neotênicas na coluna vertebral de toxodontídeos pleistocênicos do Brasil. Ameghiniana 26(3-4): 243.

FERIGOLO, J. 1991a. Enfermidades degenerativas e senis em megamamíferos do Pleistoceno Superior do Brasil. Ameghiniana 28(3-4): 408..

FERIGOLO, J. 1991b. Odontopatologia em mamíferos do Pleistoceno Superior do Brasil. Ameghiniana 28 (3-4):408.

FERIGOLO, J. 1993. Extinções de mamíferos Pleistocênicos: a hipótese das infecções: uma solução pela imunologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 13 & SIMPÓSIO PALEONTOLÓGICO DO CONE SUL 1, Boletim de Resumos, p.192.

FERIGOLO, J.; NEGRI, F. R.; RODRIGUES, P. H.; PITANA, V. G. & BUCHMANN, F. S. 2004. Osteomielite crônica e artrite séptica em preguiça terrestre (Mammalia, Xenarthra, Mylodontidae) do Pleistoceno do Rio Grande do Sul, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS 4, Rio Claro, Boletim de Resumos, p.23-24.

SENRA, M. C. 2007. Bioerosão em moluscos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.126-133.

VICALVI, M. A. 2007. Bioerosão em foraminíferos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.122-125.

Livros clássicos de paleopatologia

AUFDERHEIDE, A. C. & RODRÍGUES-MARTIN, C. 2011. The Cambridge Encyclopedia of Human Paleopathology. Cambridge: Cambridge University Press.

BROTHWELL, D. R. & SANDISON, A. T. 1967. Diseases in Antiquity. A Survey of the, Injuries and Surgery of Early Populations. Springfield.

MOODIE, R. L. 1923. Paleopathology. An Introduction to the Study of Ancient Evidences of Disease. Urbana, University of Illinois. Edição facsimile da AMS Press, New York, 1980.

Paleopatologia de Vertebrados não humanos

FERIGOLO, J. 2007. Paleopatologia em Mamíferos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia. p. 88-107.

FERIGOLO, J. 1999. Late Pleistocene South-American land-mammal extinctions: the infection hipothesis. In: J. RABASSA & M. SALEMME (eds.). Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Rotterdam: A. A. Balkema, v. 12, p. 279-310.

MOODIE, R. 1923. Paleopathology. An Introduction to the Study of Ancient Evidences of Disease. Urbana, University of Illinois. Edição facsimile da AMS Press, New York, 1980.

Paleopatologia Humana

AUFDERHEIDE, A. C. & RODRÍGUES-MARTIN, C. 2011. The Cambridge Encyclopedia of Human Paleopathology. Cambridge: Cambridge University Press.

CROSBY, A. W. 1993. Imperialismo Ecológico: a expansão biológica da Europa 900-1900. S. Paulo: Companhia das Letras.

Alguns trabalhos sobre Paleopatologia em invertebrados e planta

ADAMI-RODRIGUES, K.; IANNUZZI, R. & DAMIANI-PINTO, I. 2004a. Permian insect-plant interaction from a Gondwana flora, southern Brazil. Fossils and Strata 51:106-125.

ADAMI-RODRIGUES, K., SOUZA, P. A., IANNUZZI, R. & DAMIANI-PINTO, I. 2004b. Herbivoria em folhas gonduânicas do Neopaleozoico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. Revista Brasileira de Paleontologia 5:93-102.

ARAI, M. & AZEVEDO-SOARES, H. L. 2007. Palinoicnofósseis: marcas de bioerosão em palinomorfos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.118-121.

BOLZON, R. T.; AZEVEDO, I. & MACHADO, L. G. 2004. Registro da atividade de organismos em um caule do Permiano do Rio Grande do Sul, Brasil. Arquivos do Museu Nacional 62 (4):513-518.

SENRA, M.C. E. Bioerosão em moluscos. 2007. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.126-133.

STONE, G. N.; HAM, R. M. van der & BREWER, J. G. 2008. Fossil oak galls preserve ancient multitrophic interactions. Londres: Proceedings Royal Society B 275: 2213-2219.

VICALVI, M. A. 2007. Bioerosão em foraminíferos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.122-125.

ARAI, M. & AZEVEDO-SOARES, H .L. 2007. Palinoicnofósseis: marcas de bioerosão em palinomorfos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.118-121. 2007.

BOLZON, R. T., AZEVEDO, I., MACHADO, L. G. 2004. Registro da atividade de organismos em um caule do Permiano do Rio Grande do Sul, Brasil. Arquivos do Museu Nacional 62(4): 513-518. 2004.

SENRA, M. C. E. 2007. Bioerosão em moluscos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.126-133.

STONE, G. N., HAM, R. W. J. M. van der, & BREWER, J. G. 2008. Fossil oak galls preserve ancient multitrophic interactions. Londres: Proceedings Royal Society B 275: 2213-2219.

VICALVI, M. A. 2007. Bioerosão em foraminíferos. In: I. S. CARVALHO & A. C. S FERNANDES (eds.), Icnologia. S. Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p.122-125.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Bingo paleopatológico
Jogo de memória paleopatológico
Cruzadinha paleopatológica
Caça-palavras paleopatológico

18

DO CAMPO AO LABORATÓRIO: A VIAGEM DE UM FÓSSIL

Alexander W. A. Kellner

Uma das principais curiosidades a respeito da pesquisa com fósseis é como estes são encontrados. Ao se deparar, por exemplo, com as montagens de dinossauros expostos com todo o seu esplendor nos museus, muitas pessoas acabam ficando com uma falsa impressão de que os organismos extintos são descobertos completos e que são facilmente transportados e "postos de pé" nas salas de exposição **(Figura 1)**.

Filmes, como a série *Jurassic Park*, também podem ajudar a perpetuar essa noção equivocada ao exibir cenas onde cientistas, munidos apenas de pinceis e trinchas, encontram esqueletos totalmente articulados **(Figura 2)**. Nada poderia estar mais distante da nua e crua realidade do dia a dia de um paleontólogo na busca de organismos extintos que, em tempos distantes, viveram no nosso planeta.

Figura 1. Esqueletos de dinossauros montados na entrada principal do *American Museu of Natural History* em Nova Iorque: cena hipotética de um dia no Jurássico, onde uma "mãe" da espécie *Barosaurus lentus* (direita) protege o seu filhote do ataque do predador *Allosaurus fragilis* (esquerda). Todos os esqueletos são reconstruções (réplicas) feitas a partir de esqueletos originais incompletos desses dinossauros. Foto: Alexander Kellner.

Figura 2. Cena do filme *Jurassic Park,* onde paleontólogos descobrem um esqueleto de um dinossauro carnívoro completo, utilizando somente trinchas e pincéis, bem distante da realidade do que se constitui a coleta de um fóssil. Fonte: em http://shakefire.com/blogs/peter-oberth/2013/03/26/everything-wrong-withjurassic-park.

Talvez o primeiro aspecto a ser destacado é a raridade de um fóssil, uma verdadeira exceção na natureza. O que costuma ocorrer após a morte de um organismo é a sua decomposição e total destruição pela ação de bactérias ou animais necrófagos. As condições para que por alguma porção desse organismo (que faz parte da biosfera) seja incorporada nas rochas (que faz parte da litosfera) e preservada por milhares ou milhões de anos são excepcionalmente infrequentes e raras. Também deve ser lembrando que os espécimes paleontológicos não compreendem apenas um único tipo de organismo ou material, mas que existe uma tremenda diversidade de fósseis, cada tipo com características próprias **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**, o que vai influenciar diretamente nas condições de sua preservação e, deste modo, nas técnicas empregadas em sua coleta **(ver capítulo DO CAMPO AO LABORATÓRIO: A VIAGEM DE UM FÓSSIL).** Vertebrados são bem diferentes dos invertebrados, que, por sua vez, diferem dos microorganismos e, também, das plantas. Cada um apresenta determinado potencial de preservação, o que, direta ou indiretamente, vai afetar a maneira como são fossilizados e, consequentemente, recuperados das rochas onde foram preservados.

ETAPA 1: PESQUISA PRÉVIA

O leitor pode estranhar, mas o ponto de partida da coleta de um fóssil se inicia bem longe do campo propriamente dito e está ligado à definição do que se quer encontrar. De um modo geral, quando busca um fóssil, o pesquisador está interessado em um determinado tipo de organismo ou em um conjunto de organismos que viveu durante um período geológico específico. Ou seja, nenhum paleontólogo simplesmente vai ao campo com o intuito de coletar o que aparecer, e sempre existe um alvo bem definido. Sendo assim, não será em qualquer lugar que o cientista vai encontrar o fóssil de seu interesse. E não é apenas isso: bem antes de girar a chave do *Land Rover* e partir para a expedição, também é necessário estabelecer se o lugar com as rochas daquele período no qual viveu o objeto de desejo do paleontólogo tem o potencial de preservar fósseis!

Como foi destacado no capítulo **O CICLO DAS ROCHAS**, as rochas podem ser divididas em três tipos principais de acordo com a sua gênese: rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. As ígneas, formadas geralmente em condições de alta temperatura e pressão, não preservam fósseis. A única exceção são as cinzas vulcânicas, que compreendem um tipo bem particular de rocha ígnea, onde raramente são preservados restos de organismos. O segundo tipo de rocha, denominada de metamórfica, também tende a não preservar fósseis. Apenas rochas metamórficas de baixo grau (por exemplo, a ardósia), formadas a baixa temperatura e pressão (geologicamente falando) podem preservar fósseis, algo também tido como raro na natureza. Já nas rochas sedimentares, o terceiro tipo principal de rocha, é onde comumente se pode encontrar restos fossilizados e são nelas que os paleontólogos fazem as suas descobertas. Essas rochas estão dispostas em camadas e estão associadas a feições tectônicas chamadas de bacias sedimentares.

Como vimos, antes de iniciar as buscas, é necessário realizar uma pesquisa prévia para saber em qual região podemos encontrar a rocha apropriada para avaliar o potencial de preservação dos fósseis que esta-

mos buscando. Mas onde se pode obter essa informação? A principal fonte são os mapas geológicos, confeccionados pelos geólogos de campo, que estudaram o terreno, separando os diferentes tipos de rochas e estabelecendo as suas idades. Esses mapas e as publicações associadas a eles também informam se as camadas de rochas se formaram em ambientes marinhos ou fluviais, por exemplo, dado também importante antes do paleontólogo se aventurar na procura de fósseis. Além dos mapas, em muitos casos são consultados trabalhos anteriores, publicados por outros pesquisadores, onde há relatos de locais ou regiões onde determinados exemplares paleontológicos já foram encontrados. Vale a pena ressaltar um dos "mantras" do paleontólogo de campo: onde foi encontrado um fóssil, existe sempre o potencial do encontro de mais exemplares.

Assim, o inicio da busca por organismos extintos preservados nas rochas é realizado no gabinete ou em uma biblioteca, com exame de mapas e referências para tentar, dentro do possível, selecionar uma área específica com um potencial maior para a preservação do material que se quer encontrar. Apenas para exemplificar, se um pesquisador está à procura de dinossauros não avianos **(ver capítulo SIM, NÓS TEMOS DINOSSAUROS ... E MUITOS!)**, que são répteis que em sua maioria viveram em terra firme durante a Era Mesozoica, ele vai procurar regiões onde são encontradas rochas sedimentares depositadas por rios ou lagos existentes durante os períodos Triássico, Jurássico ou Cretáceo **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**. Caso o pesquisador esteja mais interessando em encontrar formas de dinossauros basais, ele vai direcionar a sua expedição para depósitos do Triássico, que é o período quando esses répteis surgiram, e evitará depósitos do Permiano (mais antigos, onde não existiam dinossauros) ou do Cretáceo (mais recentes, onde formas mais derivadas de dinossauros seriam mais comuns).

ETAPA 2: PROSPECÇÃO

Munidos das informações obtidas na pesquisa prévia, o pesquisador prepara um projeto que é submetido para agências de fomento patrocinadoras de pesquisas científicas, tais como CNPq, FAPERJ e FAPERGS, entre outras. Se agraciado (o que nem sempre é o caso), seleciona a sua equipe (geralmente colegas, técnicos, alunos e estagiários) e parte para o campo. Uma vez na região, pode montar acampamento ou se alojar em um hotel ou pensão, e iniciar a etapa de prospecção. Essa fase é uma das mais importantes de toda a coleta, pois será nessa etapa que a equipe vai procurar afloramentos com restos de fósseis. Ou seja, nada de escavação, por enquanto.

Como já mencionado, fósseis são raros e, muitas vezes, estão preservados de forma aleatória. Assim, mesmo trabalhando em uma camada de rochas sedimentares com alto potencial fossilífero, isto não significa que fósseis serão encontrados. Realizar uma escavação, atividade que demanda muito tempo e recursos, sem antes se ter algum indício da presença de material paleontológico, fatalmente irá proporcionar um resultado negativo, trazendo decepção para todos os envolvidos, sem contar em dificuldades futuras para a obtenção de novos projetos de coleta de campo.

Muitas vezes fósseis podem ser encontrados durante a etapa de prospecção. Geralmente esses se encontram na superfície do terreno, sendo removidos facilmente. Infelizmente, na maioria dos

casos, os espécimes estão muito intemperizados, tendo sido parcialmente destruídos pela ação do tempo e do clima, o que é particularmente comum quando falamos de ossos **(Figura 3)**. Mesmo assim, no caso de invertebrados com concha, por exemplo, eles podem estar completos o suficiente para fornecer dados ao menos preliminares sobre uma determinada região **(ver capítulo TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?)**. É comum serem feitas prospecções em minas, uma vez que até pela natureza da atividade mineradora, camadas contendo fósseis acabam sendo expostas **(Figura 4)**. Sempre é bom salientar que, mesmo não se encontrando uma área de escavação, trabalhos de prospecção são muito importantes e têm revelado uma grande quantidade de fósseis importantes **(Figuras 5A e B)**, as vezes coletados sob condições extremamente difíceis **(Figuras 5 C e D)**.

Figura 3. Fragmento de osso intemperizado encontrado durante uma prospecção nas camadas da Formação Santa Maria (Triássico), nas proximidades da cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Foto: Alexander Kellner.

Figura 4. Mina Poti em Recife, Pernambuco. Muitas prospecções são realizadas em regiões onde existe atividade de mineração, o que acaba expondo camadas fossilíferas e fósseis. Foto: Alexander Kellner.

Por outro lado, nem sempre a fase de prospecção é bem sucedida. Esta, na realidade, é a regra: depois de muito andar pelo terreno, o paleontólogo costuma voltar para casa sem ter encontrado nada expressivo e, não raro, sem um fóssil sequer. Não existe, infelizmente, uma "maquininha detectora de fósseis", que poderia facilitar muito trabalho e economizar tempo e muita "sola de bota". É comum a realização de várias expedições de prospecção para uma mesma região na busca de um local apropriado para o desenvolvimento de uma escavação. Em muitos casos, depois de algumas tentativas, a região é abandonada e projetos são direcionados para outras áreas. São os "ossos" do ofício.

Figura 5. Expedição do Museu Nacional/UFRJ para a Ilha James Ross, na península Antártica. Trabalhos de prospecção (A) revelaram uma grande quantidade de fósseis de plantas e invertebrados (B). Entre estes um tronco de quatro metros que se localizava intemperizado sob o terreno (C) e cuja coleta se deu sob condições extremas (D). Este e outros exemplares dessa atividade de prospecção encontram-se em exposição no Museu Nacional/UFRJ. Fotos: Alexander Kellner.

ETAPA 3: ESCAVAÇÃO

Princípios Gerais

Mesmo quando um ponto de escavação é encontrado, não existem garantias de que um grande achado será realizado. Sempre lembrando que o mais interessante não é exatamente o que aflora na superfície mas sim aqueles fósseis que permanecem enterrados, protegidos da ação do intemperismo. Um pesquisador somente saberá se o esforço terá valido a pena quando a escavação for iniciada **(Figura 6A e B)**.

Não é incomum que um ponto de escavação acabe se revelando pouco produtivo. Muitas vezes os fósseis simplesmente não estão muito bem preservados. Isto pode ocorrer pela destruição parcial do material antes mesmo de que tenha virado um fóssil, devido à longa exposição ao ambiente após a sua morte há milhões de anos **(ver capítulo TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?)**. Outras vezes, durante o processo de fossilização pode haver a destruição parcial do material.

Por outro lado, existem casos onde a área de escavação é tão rica, a ponto de ser explorada por décadas, e sempre revelar novos fósseis. Uma dessas situações felizes é a região as margens do lago Barreales em Neuquén, Argentina, onde foi instalado um centro paleontológico e onde tem sido realizadas escavações por mais de uma década **(Figura 7)**. Também no Brasil, a região de Peirópolis, Minas Gerais, é um bom exemplo de uma região extremamente fossilífera explorada por muito tempo **(Figura 8Ae B)**.

Figura 6. Afloramento Sítio Janner, município de Agudo, Rio Grande do Sul. Prospecção das camadas da Formação Santa Maria (A) revelaram a presença de um crânio de cinodonte (B), grupo ao qual pertencem os mamíferos. Atividade de campo posterior resultou em uma pequena escavação para a remoção desse exemplar com segurança. Fotos: Alexander Kellner.

Figura 7. Centro Paleontológico Lago Barreales, em Neuquén, Argentina, onde a riqueza fossilífera propiciou a instalação do Centro Paleontológico Lago Barreales. Na parte da frente da imagem, um sequencia articulada de vértebras de um dinossauro. Foto : Alexander Kellner.

Figura 8. Escavações realizadas em Peirópolis, Município de Uberaba, Minas Gerais (A). Descoberta por Llewellyn Ivor Price na década de 60, essa região tem produzido uma grande quantidade de vertebrados fósseis do Cretáceo, como dinossauros (B). Fotos: Alexander Kellner.

Pode parecer estranho, mas os procedimentos básicos de uma escavação não se modificaram muito com o tempo. As substancias empregadas são melhores, tais como a resina metacrílica paraloide (ou acriloide) que substitui as colas de outrora na proteção do material paleontológico, mas continua-se utilizando papel, gesso, pás, picaretas, martelos, marretas, ponteiras, agulhas, trinchas e pincéis. E, sobretudo, força física.

As escavações podem ser distintas quanto à sua abrangência e aos procedimentos utilizados, o que está diretamente relacionado ao material fóssil encontrado e ao tipo de rocha sedimentar onde o mesmo se preservou. No entanto, existem quatro princípios básicos que se aplicam a qualquer escavação.

O **primeiro princípio geral**, e o principal, é procurar remover o fóssil do campo para o laboratório da forma mais segura possível. Na maioria dos casos, o material fóssil não é apenas frágil, mas também muito mais delicado do que a rocha na qual se encontra preservado. Muito material paleontológico é destruído pela ansiedade do coletor em procurar remover o sedimento do fóssil na tentativa de, ainda no campo, descobrir os detalhes do material encontrado. No entanto, é justamente nesse momento que o fóssil pode sofrer danos irreparáveis. O segredo é expor o fóssil o menos possível e apenas remover a rocha sedimentar na qual ele se preservou no laboratório de preparação, onde o técnico dispõe de tempo, equipamentos e condições próprias para preparar o exemplar com toda segurança.

O **segundo princípio geral** é procurar não apenas resgatar o fóssil, mas também observar a relação entre o fóssil e a rocha sedimentar onde este está preservado. Este tipo de dado somente poderá ser recuperado durante a coleta, como, por exemplo, o exato nível da camada onde o espécime foi encontrado, a sua orientação na camada e a relação entre os diferentes fósseis descobertos **(Figura 9)**. A não aquisição destes dados em campo pode prejudicar interpretações posteriores. Muitas vezes, particularmente em coletas antigas, esses dados de campo foram perdidos. Fotografias do material *in situ* e desenhos ressaltando aspectos importantes podem e devem ser realizados sempre que possível.

O **terceiro princípio geral** é procurar coletar o máximo de material possível quando as condições forem favoráveis. Nunca se sabe quando se poderá retornar a um afloramento fossilífero, particularmente se este se localiza em local afastado e de difícil acesso (financiamento, infra estrutura, etc.). Também existe uma série de variáveis, tais como as condições climáticas, que podem influenciar uma coleta. Chuvas, por exemplo, são um dos fatores mais limitantes de uma escavação já que, além de prejudicar muito o trabalho das pessoas em si, impede a aplicação de técnicas de coleta como a aplicação de gesso (veja abaixo). Sem contar que em certas áreas, escavar em uma rocha sedimentar encharcada simplesmente destrói o fóssil. Assim, caso as condições forem favoráveis, coletar o máximo de fósseis possível, observando as condições de segurança tanto individual como do material, deve ser sempre uma meta de uma escavação.

O **quarto e último princípio geral** é procurar trabalhar de forma contínua respeitando os seus limites. É muito comum que alunos na sua primeira participação em uma atividade de campo (incluindo a prospecção) procurem trabalhar de forma muito enérgica, excedendo as suas possibilidades físicas. Assim, se não houver cuidado, mal termina o primeiro ou o segundo dia de campo e o integrante da equipe já se encontra exaurido, sem conseguir trabalhar de forma produtiva nos dias seguintes, sujeitando a si mesmo, inclusive, a acidentes. Nunca é demais enfatizar que a atividade de campo é fundamentalmente uma atividade de equipe e que, quando um integrante passa por problemas, todos são afetados.

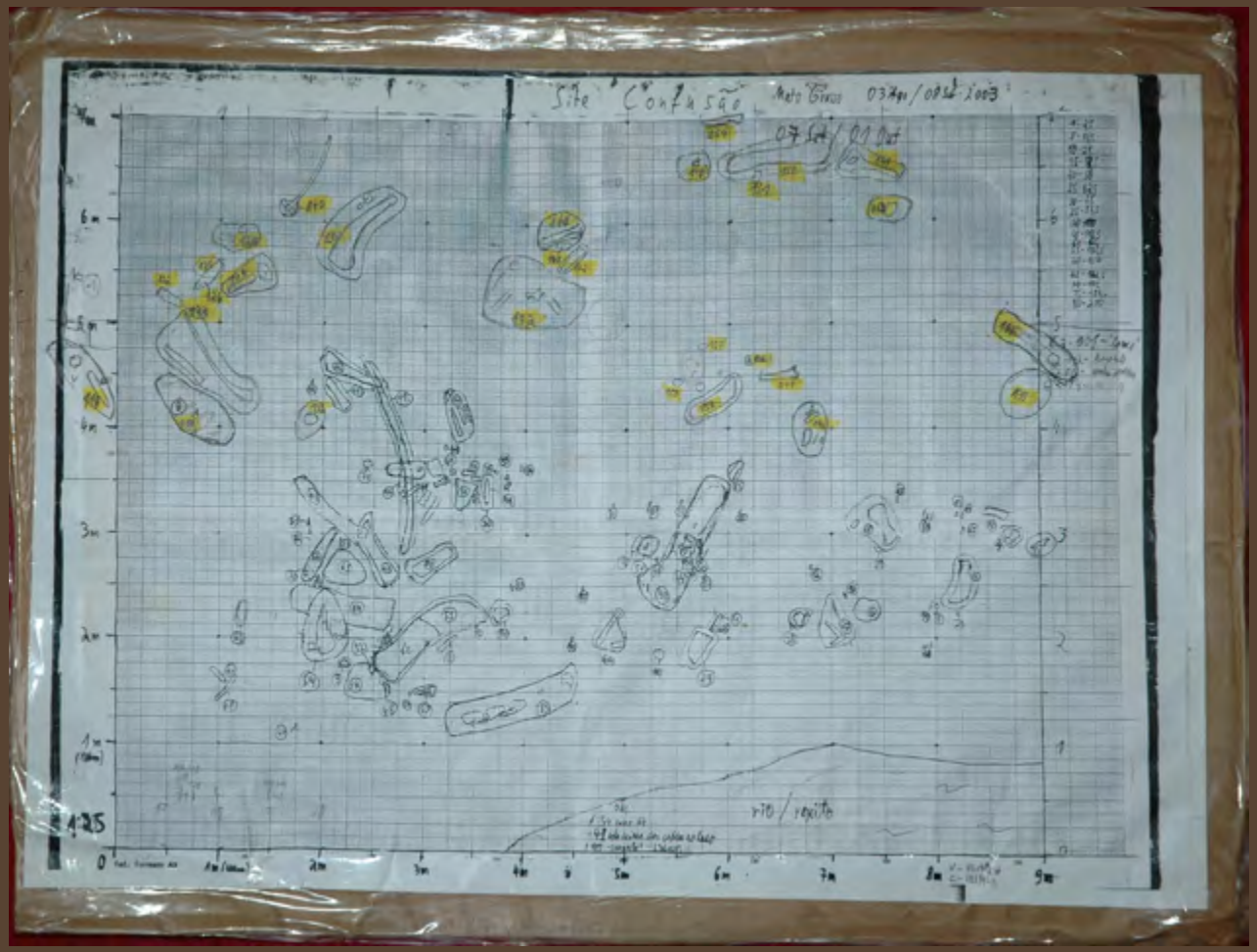


Figura 9. Mapa do afloramento confeccionado durante a expedição realizada em 2003 e 2006 as margens do Rio Confusão, Município de Tesouro, Mato Grosso, mostrando a posição relativa dos diferentes fósseis encontrados. Foto: Alexander Kellner.

ESCAVAÇÃO CLÁSSICA

De uma forma geral, a atividade de coleta configura -se em se chegar o mais próximo possível da camada (às vezes camadas) fossilífera, o que envolve uma atividade física muito grande **(Figura 10 A a C)**. Longe de serem utilizadas trinchas e pincéis, este procedimento é feito com marteletes pneumáticos, pás, baldes, enxadas, marretas e ponteiras **(Figura 11)**. A finalidade é construir jaquetas de gesso com o fóssil no seu interior que possibilitam o transporte seguro do material do campo ao laboratório.

Figura 10. Expedição realizada em 2006, às margens do Rio Confusão, Município de Tesouro, Mato Grosso. Diferentes fases da escavação realizada em 2006: inicio dos trabalhos (A), fase final (B) e vista panorâmica do alto (C). Ao total foram aproximadamente 25 dias de atividade de campo. Essa região se constitui em um dos poucos pontos de escavação no Brasil que contêm muitos fósseis para serem descobertos, podendo ser trabalhada por décadas. Fotos: Alexander Kellner.

Figura 11. Expedição realizada em 2006 às margens do Rio Confusão, Município de Tesouro, Mato Grosso. O primeiro objetivo de uma escavação é a remoção do material estéril que se encontra acima da camada contendo fósseis, o que é feito por ferramentais tais como marteletes pneumáticos, enxadas, pás, marretas e ponteiras. Foto: Alexander Kellner.

Após atingir a camada fossilífera, o trabalho consiste em encontrar os exemplares e tentar estabelecer os seus limites **(Figura 12)**. Essa é uma fase onde se emprega menos força e mais habilidade, sendo necessário muita atenção, uma vez que pequenos fósseis podem ser encontrados, tais como dentes **(Figura 13)**. Importante ressaltar que o coletor não deve remover totalmente o sedimento do fóssil, uma vez que esse procedimento o tornaria muito frágil podendo, assim, quebrar durante o seu transporte (veja o primeiro princípio geral). Sempre que necessário, a parte exposta do fóssil é protegida por paraloide e/ou colas, que devem ser aplicados apenas quando o material estiver bem seco.

Uma vez delimitada a área, é escavada a rocha que está ao redor do fóssil, que passa a se destacar do terreno como se formasse um pedestal **(Figura 14 A e B)**. Cumprida esta etapa, escava-se a base desse pedestal, procurando formar um sulco ao seu redor, o que será muito importante para as fases seguintes. Em seguida, com auxílio de trinchas umedecidas por água, são aplicadas sobre o fóssil (e às vezes, sobre parte da rocha) camadas de papel toalha ou papel higiênico **(Figura 14C)**. Deve ser evitado jornal que, além de não ter a mesma maleabilidade, libera tinta que pode impregnar o fóssil. Também se procura evitar a formação de bolhas de ar, que acabam enfraquecendo a jaqueta de gesso.

Figura 12. Expedição realizada em 2006 as margens do Rio Confusão, Município de Tesouro, Mato Grosso. Uma vez atingida a camada contendo fósseis, o trabalho passa a ser delimitar os diferentes exemplares para a confecção de blocos ou jaquetas de gesso. Foto: Alexander Kellner.

Figura 13. Dente de dinossauro saurópode encontrado durante a delimitação de blocos durante uma escavação realizada em Mato Grosso em 2006. Foto: Alexander Kellner.

Esta aplicação de papel visa proteger o fóssil das camadas de gesso que são adicionadas a seguir **(Figura 14 D)**. A primeira camada de gesso deve ser bastante líquida, para possibilitar uma melhor acomodação sobre a superfície do fóssil (protegido por papel) e da rocha, muitas vezes bastante irregular. Em seguida são cortados tecidos (por exemplo, sacos de aniagem ou de algodão) que são colocados em baldes com gesso líquido, formando bandagens. Sem que o gesso esteja endurecido, essas bandagens são colocadas por cima e em volta do pedestal de rocha contendo o fóssil. Especial cuidado é dedicado para que essas bandagens sejam colocadas uma sobre as outras em direções contrárias, e que também atinjam a base do pedestal. Após o gesso ter secado, o que pode ocorrer em mais ou menos horas dependendo das condições de humidade, esse procedimento é repetido até que se tenha certeza que a jaqueta de gesso não irá se romper durante o transporte do material. Muitas vezes, em blocos maiores, são adicionados tela de arame, visando fortificar a jaqueta **(Figura 14 E)**. Também pode ser adicionado um pouco de cimento (poucas gramas) à camada de gesso final, que é colocada, de forma mais pastosa, procurando eliminar, ao máximo, reentrâncias na superfície da jaqueta. Se for colocado cimento demais, o gesso tende a não se consolidar, prejudicando a resistência do bloco.

As etapas seguintes são bem simples. O bloco de gesso, que até agora se encontrava fixo ao terreno, tem que ser virado. Isto é feito por intermédio de talhadeiras, posicionadas no sulco existente na base do pedestal, abaixo da proteção das bandagens. Com batidas em diferentes partes, o bloco é solto do terreno e virado. Parte da superfície pode ser removida para diminuir peso da jaqueta e depois, uma última camada de gesso é adicionada. Após o secar, a jaqueta de gesso está pronta para o transporte **(Figura 14F)**. **Veja aqui qual a maior jaqueta de gesso confeccionada no Brasil.**

Figura 14. Diferentes fases da coleta de um fóssil de dinossauro. Após determinar os limites do fóssil (A), é escavado ao seu redor (B), o fóssil é protegido por papel (C) e engessado (D). Para fortalecer blocos grandes, os mesmos podem ser reforçados com telas de arame (E). Depois do bloco ser virado, o mesmo é removido do afloramento e pode ser transportado do campo para o laboratório (F). Expedição ao Mato Grosso em 2006. Fotos: Alexander Kellner.

OUTRAS ESCAVAÇÕES

Como foi mencionado, dependendo do terreno onde a escavação é realizada, existem outros procedimentos. Por exemplo, existem afloramentos com calcários laminados (como na Formação Crato, na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil) ou folhelhos (como nas unidades da Formação Tremembé, Taubaté, São Paulo), onde raramente se prepara uma jaqueta de gesso. O procedimento padrão é quebrar as rochas de forma sistemática, retirando placas onde são encontrados os fósseis **(Figura 15)**. As principais ferramentas são as talhadeiras e martelos, podendo, também, ser utilizadas serras elétricas para facilitar a remoção da superfície rochosa.

Figura 15. Placa de folhelho contendo fósseis de peixes encontrados na Formação Ipubi, Cretáceo da Bacia do Araripe. Os fósseis formam uma parte mais frágil na rocha, podendo se expostos com talhadeiras e martelos. Foto: Alexander Kellner.

Em outras áreas, os fósseis podem estar preservados em nódulos calcários que são bem mais resistentes do que a rocha sedimentar onde estão inseridos **(Figura 16 A e B)**. Escavações nessas áreas consistem em acumular os nódulos **(Figura 16C)** que podem ser abertos com a utilização de talhadeiras e martelos **(Figura 16 D e E)**. Os fósseis formam uma zona de fraqueza na rocha, que tende a quebrar exatamente onde estes estão preservados **(Figura 16F)**.

Por último, cabe lembrar que a coleta de outro grupo de fósseis difere bastante dos procedimentos registrados acima: são os microfósseis **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**. Pelas suas pequenas dimensões, os mesmos podem ser praticamente invisíveis ao olho nu. Desta forma, para coletar microfósseis não se fazem escavações, mas sim coletas sistemáticas em rochas sedimentares que exibem um maior potencial para o encontro desse material. Até mesmo pela sua uti-

Figura 16. Alguns depósitos como a Formação Romualdo (Cretáceo Inferior, Bacia do Araripe, nordeste) possuem fósseis preservados em nódulos calcários inseridos dentro de folhelhos (A, B). Por serem mais resistentes, esses nódulos podem ser removidos das rochas sedimentares (C) e depois abertos com talhadeiras e martelos (D, E) expondo os fósseis (plantas), que formam uma zona de fraqueza no nódulo (F). Fotos: Alexander Kellner.

lização, tem que haver um controle estratigráfico muito rígido, onde fica registrado a nível milimétrico de onde o material foi retirado. Ademais, tem que se ter todo um cuidado para que não haja contaminação, com amostras de diferentes camadas sendo armazenadas de forma conjunta, o que pode invalidar os resultados obtidos. Sacos plásticos, recipientes especiais e a elaboração de perfis detalhados são rotina para os cientistas que procuram microfósseis. Somente após uma preparação específica para o tipo de microfósseis que está sendo procurado é que se sabe se a coleta teve sucesso. Se existe desvantagem em coletar rochas sem saber se elas contêm ou não microfósseis, a vantagem é o fato das amostras não precisarem ser grandes ou pesadas - alguns gramas de rocha sedimentar são suficientes para a obtenção de centenas ou milhares de exemplares **(Figura 17)**.

Figura 17. Amostras de rocha (CPRM-RS) contendo microfósseis. Foto: Marcelo Leite.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica claro que o sucesso de uma atividade de campo de prospecção esta diretamente relacionado não apenas ao achado de uma camada fossilífera, mas também que o paleontólogo possa visualizar vestígios de fósseis. As melhores regiões para este tipo de atividade são os desertos, onde não existe uma cobertura vegetal exuberante que impeça ao pesquisador visualizar material paleontológico. Esta, também, é uma (mas não a única) explicação do porquê de o Brasil, com a sua extensão continental e com camadas potencialmente fossilíferas, não ter produzido quantidades de fósseis na mesma escala do que outros países como a vizinha Argentina, ou a China, por exemplo: a falta de boas áreas de exposição.

Há, ainda, situações onde o material encontrado não apresenta nenhuma novidade significativa pelo fato de existirem dezenas de fósseis daquele mesmo tipo. Tal situação é muito comum em áreas muito fossilíferas que vem sendo exploradas sistematicamente ao longo dos anos, onde o achado de algo novo se torna cada vez mais difícil. Por isso mesmo, pesquisadores tendem a procurar regiões novas, onde o registro fóssil seja mais escasso.

Como comentado no início do capítulo (Etapa:2, prospecção), uma curiosidade é o fato de que as técnicas de coleta não são muito diferentes das empregadas no passado. Inclusive em um tempo que pode ser associado à visão mais romântica e de aventura da atividade de campo na paleontologia, como as famosas expedições do explorador norte-americano Roy Chapman Andrews (1884-1960), que desbravou distintas áreas da China e Mongólia, tendo encontrado centenas de fósseis. Ainda hoje sacos de aniagem e gesso são os produtos mais utilizados, apesar de já ser empregada a espuma de poliuretano (espuma expansiva) com resultados interessantes. As vezes, fotos aéreas e imagens de satélite podem auxiliar na identificação de camadas com potencial fossilífero, mas não existem equipamentos que revelem a presença dos fósseis em um terreno.

Depois do que foi apresentado nesse capítulo, o leitor certamente compreendeu que fósseis são raros, e encontrar exemplares no campo é uma atividade complexa que requer muito estudo prévio e dedicação. Assim, se uma pessoa não treinada encontrar algum fóssil, o ideal é procurar avisar uma instituição científica (centro de pesquisa, museu ou universidade) sobre o achado, enviando fotografias, mas sem tentar coletar o material, a não ser que partes destes estejam soltas no terreno. Aliás, nunca é demais enfatizar que algumas das principais descobertas realizadas na paleontologia foram feitas por paleontólogos amadores ou pessoas leigas, que, ao acaso, encontraram restos de organismos extintos e tomaram a medida certa, que é a de avisar os cientistas. Além disso, cabe lembrar o terceiro princípio geral: durante uma escavação, coletar o máximo possível. São inúmeros os exemplos de blocos coletados que ficam por décadas sem preparação e que, ao serem abertos, fazem a felicidade dos pesquisadores! Nem sempre é possível preparar (isto é, remover a rocha sedimentar que cobre o fóssil) todo o material coletado, uma vez que este processo costuma ser o mais lento de toda a atividade do paleontólogo, até mais do que a própria pesquisa! Porém, uma vez no campo, deve-se tentar recuperar o máximo de material possível, pensando nas gerações futuras de pesquisadores que talvez não tenham oportunidade de revisitar esses afloramentos.

Sem contar que os mesmos podem ter sido destruídos pela ação do tempo ou mesmo pelo próprio processo de urbanização, onde casas e outras construções podem ser erguidas no que outrora foi uma área de escavação. A região de Peirópolis, em Minas Gerais, e os arredores de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, são alguns dos exemplos onde áreas de interesse paleontológico deixaram de ser acessíveis pela ocupação humana.

Outro ponto a ser destacado é o fato de que a coleta é o início de tudo, mas não o final. Ou seja, depois do fóssil viajar até o laboratório, ele tem que ser preparado, estudado e apenas após isso alguns deles poderão ser expostos para o público. Sempre é bom ter em mente que o acervo de uma instituição é bem maior do que o material que porventura é apresentado nas exposições, que tendem a ter o seu espaço bem reduzido. Sem contar que uma exposição não pode, apenas, apresentar o fóssil e que é cada vez mais importante apresentar a contextualização do achado.

Finalizando, a coleta de fósseis é uma atividade de equipe, que requer planejamento e dedicação de muitas pessoas, algumas que não necessariamente participam da parte de campo em si, mas atuam nos bastidores para que esta possa ser desenvolvida **(Figura 18)**. Mesmo quando tudo é feito de forma correta, existem situações onde os resultados não correspondem ao esperado, o que é inerente à própria preservação aleatória dos fósseis. No entanto, a alegria de encontrar um fóssil depois de dias, às vezes semanas de trabalho duro, dormindo em barracas e se alimentando de forma precária, faz tudo valer a pena.

Não é difícil imaginar certa perplexidade do leitor ao se deparar com essa profissão, onde pessoas passam privações e ficam felizes ao realizar a descoberta de um punhado de ossos. Porém, é o trabalho dessas pessoas que resulta nos achados que proporcionam uma noção de como era o planeta há milhões de anos e como a se deu a diversificação da vida ao longo do tempo profundo. E ainda há muito mais para ser descoberto. Então, quem se habilita?

Figura 18. Equipe do Museu Nacional/UFRJ e outros profissionais que atuaram diretamente ou nos bastidores da realização da expedição ao Mato Grosso em 2006, que ficou registrada no documentário Caçadores de Dinossauros (Produtora Terra Brasilis, 2006).

VOLTE AO SUMÁRIO

19

VERTEBRADOS FÓSSEIS: DO LABORATÓRIO PARA A PESQUISA E EXPOSIÇÃO

Helder de Paula Silva
Jéssica Pontes Silva
Alexander W. A. Kellner

A descoberta de um fóssil e o seu transporte do campo para o laboratório **(ver capítulo DO CAMPO AO LABORATÓRIO: A VIAGEM DE UM FÓSSIL)** é apenas parte da tarefa de um paleontólogo **(Figura 1)**. Pode parecer uma surpresa para a maioria das pessoas, mas existe uma etapa fundamental entre a coleta de um exemplar preservado nas rochas e o seu estudo pelo pesquisador até que ele, eventualmente, acabe nas exposições que tanto encantam o público. Esta etapa é chamada de preparação do fóssil e costuma demandar muito tempo, às vezes meses, e não é raro, até a escala de anos.

A expressão "preparação" pode ser um tanto abstrata para o leitor e possui significados diferentes dependendo da área de pesquisa, cada uma com as suas especificidades e necessidades próprias, como é o caso, por exemplo, da geologia e da biologia molecular. Em se tratando de paleontologia, a etapa de preparação consiste,

basicamente, na remoção da rocha na qual o fóssil se encontra preservado. Nunca é demais enfatizar que não existe apenas um tipo de material paleontológico, mas sim uma grande variedade **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**, desde microfósseis até folhas de plantas, passando pelos mais distintos vertebrados e invertebrados. Assim, da mesma forma como não existe um modelo único de preservação de fósseis, também não existe uma técnica única que possa produzir um resultado satisfatório na remoção da rocha sedimentar onde o exemplar está preservado. É exatamente nesse ponto que se mostra a importância do conhecimento, domínio das técnicas e, sobretudo, o discernimento sobre qual delas é a mais aplicável na preparação de um determinado fóssil.

Figura 1. Diversas jaquetas de gesso coletas no campo durante uma expedição ao Mato Grosso, em 2006. Foto: Helder de Paula Silva.

REGRAS GERAIS DA PREPARAÇÃO DE FÓSSEIS

Existem alguns pontos importantes que todo profissional que desenvolve a preparação de um fóssil deve observar durante o seu trabalho. Uma síntese dessas regras é apresentada abaixo.

(1) Controle. Parece ser trivial, mas esta é a primeira palavra que deve estar na mente de um profissional que tem por objetivo preparar fósseis. Se o preparador perder o controle da preparação poderá causar danos irreparáveis a um exemplar que, muitas vezes, é o único registro de uma espécie que outrora habitou o nosso planeta. Assim, saber exatamente o que se está fazendo e avaliar bem os riscos e as consequências para o fóssil, inerentes à utilização de uma determinada técnica, são fundamentais para uma preparação bem sucedida (Kellner, 1995).

(2) Cada fóssil é um caso particular. A segurança de um fóssil é um dos pontos principais da preparação. Existem procedimentos gerais quando se fala na preparação de fósseis, mas nem todos se aplicam a todos os exemplares. Ou seja, ainda que preparemos dois fósseis procedentes da mesma região e unidade estratigráfica, o procedimento de preparação mais adequado para cada um pode diferir. As variáveis principais estão vinculadas ao tipo de rocha na qual o espécime está preservado, a como este foi coletado e ao grau de intemperismo ao que o material foi submetido. Essas variáveis farão com que o preparador opte por uma ou outra técnica e, na medida em que o trabalho prossiga, realize mudanças e adaptações com as situações encontradas, que nem sempre podem ser previstas nas fases iniciais da preparação.

(3) Objetivos e planejamento. A determinação do que se quer obter com a preparação de um determinado fóssil é formulada pelo pesquisador, mas a técnica a ser empregada e o consequente planejamento da preparação propriamente dita devem ser determinados pelo preparador. Desta forma, logo de início, têm que ser estabelecidos, de forma clara e precisa, quais são os objetivos da preparação. A finalidade de uma preparação pode variar bastante, e está diretamente ligada às feições que se espera que sejam reveladas pelo fóssil. Por exemplo, um exemplar pode ser julgado com potencial de representar uma espécie nova. Assim, a meta principal será isolar ao máximo o fóssil da rocha sedimentar, expondo as suas características anatômicas, respeitando-se a integridade do material. Outro objetivo pode estar vinculado à observação de uma área específica de um exemplar nunca observada ou examinada antes, e que pode estar escondida por partes do próprio fóssil. Um bom exemplo são os estudos da anatomia interna de peixes, que se encontram abaixo das escamas. Ou, então, a pesquisa com base em lâminas paleohistológicas, onde parte do fóssil terá que ser removida e submetida à laminação. Normalmente, este tipo de procedimento é destrutivo, devendo ser empregado apenas quando outros não produzem o resultado desejado (p.ex:, tomografia com-

putadorizada) e quando existem muitos exemplares da espécie em questão.

Também existem casos onde um exemplar está sendo preparado para ser exposto ao público. Nessas situações, o principal aspecto a ser observado pelo preparador não é algum detalhe anatômico, mas sim a beleza estética do material. No passado, era comum o emprego de procedimentos não reversíveis em fósseis que seriam expostos, tais como a utilização de gesso para unir ou mesmo completar partes não preservadas. Em muitos casos, exemplares eram perfurados para serem montados ou fixados em paredes e vitrines. Este tipo de procedimento deve ser evitado, uma vez que compromete desnecessariamente pelo menos parte do fóssil.

Por último, existem diversos casos nos quais a preparação se resume a estabilizar o material. São casos onde o fóssil estava exposto ao intemperismo ou então foi submetido a choques mecânicos durante o seu transporte do campo ao laboratório, resultando em danos.

(4) Registo de procedimentos e substâncias empregadas para cada exemplar ("prep-log"). Como já comentado, cada fóssil a ser preparado é um caso específico e, como tal, podem existir variações tanto de procedimentos como também nas substâncias empregadas em sua preparação. Particularmente no que diz respeito às substâncias tais como colas e solventes, as que são empregadas hoje em dia diferem bastante das utilizadas no passado e continuarão a mudar à medida que outros produtos sejam empregados com sucesso na estabilização e conservação de material fóssil. No entanto, problemas podem ocorrer ao longo dos anos, à medida que as substâncias empregadas sofram alterações devido a fatores diversos, tais como umidade, temperatura, manuseamento do exemplar e procedimentos utilizados durante a remoção da rocha sedimentar. Assim, manter uma ficha (física e digital) com a história de preparação de cada exemplar pode auxiliar a mitigar problemas no futuro. Concomitantemente, esse "prep-log" pode oferecer uma boa oportunidade de avaliação do que deu certo ou não na preparação, servindo para reavaliar substâncias e procedimentos. Registros fotográficos e desenhos das diferentes fases de preparação também devem ser incentivados. Esses dados são importantes particularmente quando diversas partes de um ou mais indivíduos preservados em um mesmo bloco sejam isoladas, já que existirá a possibilidade de se reestabelecer o posicionamento dessas partes e a sua relação com a rocha antes da preparação. Um "prep-log" bem realizado serve, inclusive, como base de pesquisa.

(5) Atualização e experimentação. Como em toda atividade profissional, o preparador de fósseis deve procurar manter-se informado sobre novos procedimentos na preparação de fósseis. Também é incentivada a realização de experiências e pesquisas sobre novas maneiras e produtos que possam ser utilizados tanto na remoção da rocha como também na conservação do exemplar. Técnicas, procedimentos, substâncias e materiais empregados em outras áreas, tais como a arqueologia, podem, eventualmente, ser aplicáveis na preparação de material paleontológico. Existe um simpósio anual da *Society of Vertebrate Paleontology* onde preparadores se encontram para trocar experiências nesse campo. Também no Brasil passou a ser mais comum a apresentação de comunicações sobre

técnicas de preparação aplicadas a casos específicos em congressos paleontológicos.

O LABORATÓRIO DE PREPARAÇÃO

O laboratório é o local mais adequado para a realização de atividades de preparação, que não devem acontecer no campo **(ver capítulo DO CAMPO AO LABORATÓRIO: A VIAGEM DE UM FÓSSIL)**. Sendo assim, é importante que durante a coleta somente seja removido dos fósseis o sedimento necessário para facilitar seu transporte até o laboratório ou até algum local propício para seu armazenamento.

O laboratório deve ter uma estrutura que permita receber e trabalhar o material que chega do campo. Como regra geral, o laboratório deve ser bem iluminado e arejado, composto de bancadas de trabalho ou mesas resistentes, além de iluminação adequada **(Figura 2)**. Para cada tipo de técnica utilizada, se faz necessário o uso de equipamentos e ferramentas específicas. Os laboratórios, mesmo os mais simples, devem possuir, além das ferramentas básicas de preparação (ponteiras, martelos, agulhas e substâncias químicas), pelo menos uma lupa e uma caixa com areia para acondicionar peças grandes ou frágeis durante sua manipulação. Equipamentos como microretíficas, esmerilhadeiras e aspiradores de pó também são desejados, pois são muito importantes na fase de

Figura 2. Laboratório de preparação do Museu Paleontológico Egidio Feruglio, Trelew, Chubut, Argentina. Este é um dos mais modernos laboratórios paleontológicos da América do Sul. Foto: Alexander Kellner.

abertura dos blocos ou jaquetas de gesso **(Figura 2)**. Laboratórios mais modernos podem contar ainda com sistemas de refrigeração e exaustão, além de equipamentos mais complexos.

Um sistema de ar comprimido, mesmo simples, faz uma grande diferença não somente na qualidade como também na velocidade em que a preparação poderá ser realizada. Este sistema permite que diversas ferramentas sejam acopladas a ele, aumentando a gama de possíveis técnicas a serem empregadas. Jatos de ar com abrasivos **(Figura 3)** e o uso de canetas pneumáticas **(Figura 4)** são algumas destas possibilidades.

DIFERENTES TÉCNICAS

As diversas técnicas de preparação podem ser divididas em dois grandes grupos: a preparação química e a preparação mecânica. De forma resumida, a preparação química utiliza produtos químicos (como ácidos) para a remoção da matriz rochosa, enquanto a preparação mecânica emprega meios físicos. Um preparador que domine bem ambas as técnicas tem a vantagem de usar a que for melhor em cada caso, além de ter ainda uma terceira opção, que é fazer uma combinação de ambas (Silva & Kellner, 2006).

De maneira geral, o controle é muito maior na preparação mecânica, quando comparado ao que ocorre na preparação química. Isto porque, além de na preparação mecânica o preparador permanecer junto ao exemplar durante todo o tempo de execução, ele determina diretamente onde aplicar as forças que removerão a matriz. Já na preparação química quem faz a remoção são os produtos químicos que, por se encontrarem em solução, podem facilmente chegar a pontos internos do fóssil que não são detectados nem mesmo durante monitoramento intenso.

Figura 3. Sistema de jato de areia do laboratório de preparação do Museu Paleontológico Egidio Feruglio, Trelew, Chubut, Argentina. Foto: Alexander Kellner.

Figura 4. Diferentes martelos pneumáticos (A) que são utilizados na preparação mecânica através de um sistema de ar comprimido (B). Fotos: Helder de Paula Silva.

PREPARAÇÃO MECÂNICA

A preparação mecânica é a mais comum e amplamente utilizada na preparação de fósseis, podendo ser empregada na remoção de qualquer tipo de rocha. Martelos e ponteiras de diversos tamanhos continuam sendo as ferramentas mais comumente utilizadas neste tipo de preparação, tendo seu uso associado a outros tipos de instrumentos, melhorando a eficiência da preparação. Como ferramentas manuais usadas, é possível citar: instrumentos de uso odontológico (espátulas e esculpidores diversos), artístico (talhadeiras, cinzéis, sopradores e pincéis) ou da construção civil (martelos, ponteiras e talhadeiras) **(Figura 5)**. Os equipamentos elétricos mais comuns são os pequenos motores com movimentos giratórios ou de precursão ou ainda equipamentos pneumáticos **(Figura 4)**.

Ao chegar do campo, geralmente o fóssil encontra-se envolto em algum material, como uma jaqueta de gesso, que é tradicionalmente a forma mais segura de coletar um espécime paleontológico **(ver capítulo DO CAMPO AO LABORATÓRIO: A VIAGEM DE UM FÓSSIL)**. Na abertura da jaqueta de gesso pode-se diminuir, com o auxílio de um aspirador de pó, a propagação da poeira resultante do emprego de uma esmerilhadeira para cortar o gesso **(Figura 6)**. De forma geral, a jaqueta é preparada com a parte do fóssil que se encontrava exposta no campo, na parte inferior. Desta maneira, existe a possibilidade de se alcançar mais facilmente a parte que não está exposta do material e que na vasta maioria dos casos tem a sua superfície externa intacta.

A remoção da rocha sedimentar que se encontra envolvendo o fóssil na preparação mecânica é feita por meio do impacto direto, golpeando ou raspando o sedimento com alguma ferramenta, o que gera

Figura 5. Martelos, ponteiras e outras ferramentas semelhantes utilizadas na preparação mecânica de fósseis. Fotos: Helder de Paula Silva.

Figura 6. Abertura de jaqueta de gesso. O aspirador de pó é utilizado para remover a poeira produzida pelo corte do gesso com a esmerilhadeira.
Foto: Alexander Kellner.

Figura 7. Algumas substâncias utilizadas para proteção e estabilização dos fósseis.
Foto: Helder de Paula Silva.

vibrações que se espalham por toda a rocha. Para dar maior estabilidade e minimizar esta vibração produzida, o material a ser preparado deve, sempre que possível, ser apoiado sobre um saco de areia.

A remoção da rocha sedimentar é feita, no início, com ferramentas mais pesadas, tais como martelos e ponteiras, que são substituídos pela utilização de martelos pneumáticos **(Figura 4A)**. Aos poucos, detalhes antes ocultados pela rocha vão ficando expostos, sendo necessária sua proteção, o que pode ser feito com várias substâncias **(Figura 7)**. Um produto muito utilizado nesta proteção é o paraloide, também conhecido como acriloide. Trata-se de uma resina meta-acrílica que é diluida em um solvente e que, ao ser aplicada na superfície do fóssil, se transforma numa película protetora, assim como um verniz. Tal processo ocorre pela evaporação do solvente. A velocidade de secagem vai variar, então, de acordo como a temperatura do ambiente e com o tipo de solvente utilizado. Acetona, por exemplo, evapora mais rápido que etanol. Caso haja interesse em uma maior penetração do produto, o solvente menos volátil deve ser utilizado. Outro fator que influencia na penetração desta resina é sua viscosidade e a porosidade do fóssil. A viscosidade é diretamente proporcional à concentração do paraloide. De maneira geral, as concentrações mais utilizadas no laboratório variam entre 2% e 10%. Concentrações mais elevadas podem servir como uma espécie de cola, com a vantagem de poder ser removível se necessário, bastando para isso o uso de um solvente.

A preparação com canetas pneumáticas pode ser utilizada tanto em exemplares resistentes **(Figura 8)** com também em exemplares mais frágeis ou fragilizados devido à preparação química, por exemplo **(Figura 9)**.

De forma geral, a preparação mecânica, pelo menos em sua fase final, deve ser feita debaixo de lupas **(Figura 10)** ou microscópios binoculares **(Figura 11)**.

Figura 8. Utilização de canetas pneumáticas em uma vértebra cervical de pterossauro (grupo extinto de répteis voadores) que havia sido parcialmente preparada com ácido fórmico. Foto: Alexander Kellner.

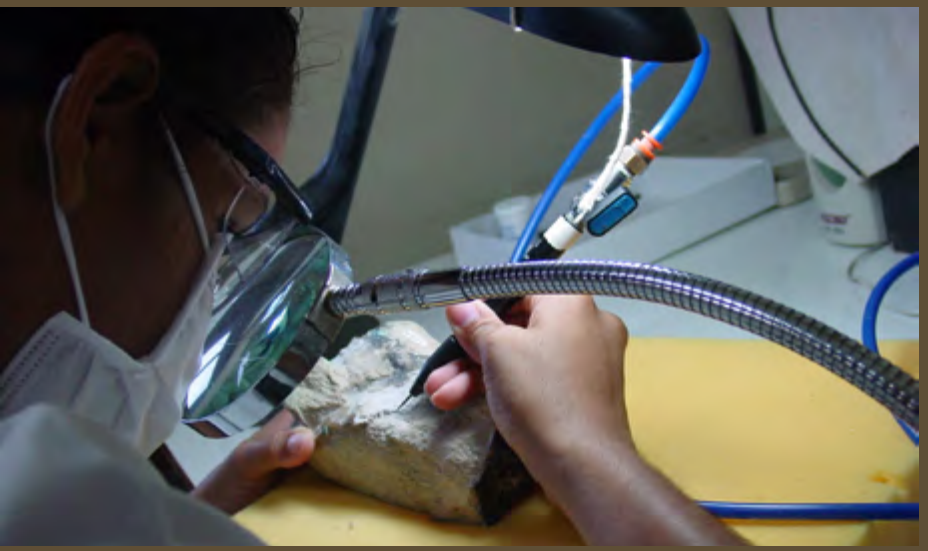


Figura 10. Preparação mecânica de um osso de dinossauro debaixo de lupa. Foto: Helder de Paula Silva.

Figura 9. Utilização de canetas pneumáticas em um fêmur de dinossauro. Foto: Alexander Kellner.

Figura 11. Preparação mecânica de um crânio de crocodilomorfo utilizando lupa binocular. Foto: Helder de Paula Silva.

USO DE CARBOWAX

Uma técnica muito utilizada na preparação mecânica, particularmente em exemplares pequenos e frágeis, é o emprego de carbowax. De forma simplificada, ela se baseia no conceito da técnica de transferência (*transfer preparation,* veja em Leiggi e May, 1994), muito empregada na preparação química (ver item "Preparação Química"). Este procedimento pode ser uma solução para um dilema que muitos preparadores têm quando ficam na dúvida entre deixar de expor algumas regiões do fóssil ao optar suspender a preparação sem remover as camadas que dão sustentação ao exemplar, ou continuar a preparação, sabendo do risco iminente de perder parte do material ao tentar essa remoção. O Carbowax é uma espécie de cera (polietilenoglicol) com consistência semelhante à da parafina, que permite a fixação do fóssil em uma superfície firme, conferindo ao conjunto uma resistência forte o suficiente para suportar o estresse físico da remoção mecânica da matriz. Antes do carbowax, outras opções como a parafina, gesso e o próprio paraloide foram utilizadas, mas o carbowax possui diversas vantagens, por ser de manipulação mais simples e de fácil remoção. A maneira mais fácil de utilizar carbowax nas preparações paleontológicas é fazer com que esta substância venha a aderir ao exemplar fóssil. Para isso o carbowax deve ser aquecido para que passe para o estado líquido (como ocorre com a parafina) e, depois, aplicado sobre ambas as superfícies que se deseja unir, ou seja, tanto na da face exposta do fóssil quanto na do local que será usado como sustentação. Pedaços de madeira, azulejo, blocos de cimento, tijolo, cacos de telha, etc. podem ser exemplos de locais utilizados como base de apoio ao fóssil em preparação. Uma vez que as superfícies estejam com uma quantidade suficiente de carbowax, ambas as partes devem ser unidas. Em pouco tempo o carbowax irá resfriar, tornando-se novamente rígido e mantendo as duas faces unidas.

Os principais cuidados no uso desta substância são evitar seu contato, quando ainda quente, com a pele, pois pode causar queimaduras. Após solidificado, deve-se também evitar o contato do carbowax com líquidos e sua exposição ao calor. Ao término da preparação, todo carbowax deve ser removido, o que pode ser feito facilmente por meio de raspagem. Outra forma de remover o produto é usando calor. Uma lâmpada incandescente direcionada e mantida próxima produz calor suficiente para derretê-lo. Caso ainda haja resíduos indesejáveis de carbowax no fóssil, estes podem ser retirados usando-se um cotonete ou pincel umedecido com água, já que se trata de um produto hidrossolúvel. Como o carbowax é incolor, é aconselhável usar algum pigmento para facilitar sua visualização, o que facilitará o trabalho de sua remoção. Para este tipo de uso, o ideal é que seja utilizado um carbowax com peso molecular entre 3500 e 8000. Quanto maior o peso molecular, mais resistente é esta substância.

PREPARAÇÃO QUÍMICA

Métodos de preparação química podem ser utilizados tanto em micro quanto em macrofósseis. No que se refere aos macrofósseis, o método mais difundido é denominado de transferência (*transfer preparation*), na qual uma face do fóssil é fixa em uma cama de resina, por exemplo, em uma superfície, permitindo que a face oposta seja preparada (para uma revisão detalhada, veja Kellner, 1995). Nela a preparação química se vale de ácidos, particularmente dos orgânicos (ácido acético e fórmico), para a remoção da rocha sedimentar que envolve o fóssil. Desta forma, essa técnica tende a ser utilizada com maior sucesso em fósseis preservados em rochas calcárias ou naqueles onde a matriz sedimentar possui um alto grau de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), minerais que são facilmente atacados por esses ácidos.

No caso de vertebrados, cabe lembrar que os ácidos orgânicos também atacam os ossos, que são formados por fosfato de cálcio. Assim, a técnica somente pode ser empregada com sucesso pelo fato de a dissolução de fosfato de cálcio ser muito mais lenta do que a dissolução do carbonato, dando tempo ao preparador de proteger a parte exposta do fóssil.

Abaixo são apresentadas, de forma resumida, as etapas envolvidas na preparação química de vertebrados fósseis, conforme apresentado por Kellner (1995) para preparações utilizando ácido fórmico.

(1) Limpeza inicial

Consiste de uma imersão de curta duração em uma solução ácida (diluída em até 10%) para uma limpeza inicial, com remoção de poeira e pequenos fragmentos de rocha do fóssil. Este procedimento facilita a visualização dos limites entre o fóssil e a matriz sedimentar. Na solução é acrescentado fosfato de cálcio até sua saturação, visando minimizar o ataque do ácido ao fóssil. O tempo no qual o fóssil deve permanecer em imersão varia de trinta segundos a um minuto, tendo que ser neutralizado em água corrente por um período de aproximadamente 2 horas.

(2) Proteção

Como o ácido ataca o material fóssil, é importante minimizar o efeito do contato, que é inevitável. Desta forma, a área exposta do fóssil é protegida com substâncias tais como o paraloide **(Figura 12)**. Outras substâncias, tais como massa de modelar, também podem ser aplicadas nessa etapa **(Figura 13)**.

Figura 12. Escápula de pterossauro sendo protegida com paraloide. Foto: Alexander Kellner.

Figura 13. Além do uso de paraloide, o fóssil ou áreas da matriz sedimentar onde não se deseja a ação da solução ácida, podem ser protegidos com massa de modelar. Foto: Alexander Kellner.

(3) Imersão

A dissolução do carbonato de cálcio ocorre durante a imersão. A concentração da solução ácida, assim como o tempo de imersão, são inversamente proporcionais à fragilidade do material. Normalmente, o tempo das imersões também vai diminuindo conforme a preparação prossegue **(Figuras 14 a 16)**.

A solução ácida é preparada diluindo-se o ácido em água numa concentração que costuma variar de 3% a 10%. No caso do ácido fórmico, que é mais reativo, a concentração é menor que a necessária quando se utiliza o ácido acético. Para reduzir o ataque do ácido aos elementos ósseos, assim como na solução preparada para a limpeza inicial, é adicionado fosfato de cálcio até saturar a solução. Um monitoramento periódico é importante para retirar o fóssil da solução ácida, que deve ocorrer quando partes do fóssil são expostas.

(4) Neutralização

A neutralização se faz necessária para impedir que a reação continue mesmo após o fóssil ter sido retirado da solução. A forma mais simples de neutralizar o material é usando água que, preferencialmente, deve ser corrente. O período de tempo de neutralização não deve ser menor que o dobro do tempo em que o exemplar esteve mergulhado na solução ácida (fase de imersão).

(5) Secagem

Antes de repetir uma nova imersão do fóssil, as partes expostas devem ser protegidas novamente (ver etapa 2), o que deve ocorrer apenas quando o exemplar estiver completamente seco. A secagem deve ocorrer naturalmente, ao ar livre, ou seja, sem o uso de secadores, estufas ou fornos. O tempo da secagem varia com as condições de umidade do local onde a preparação estiver sendo feita. Geralmente é superior a 24 horas.

(6) Repetição

As etapas 2 a 5 devem ser repetidas sucessivas vezes até o final do processo de preparação **(Figura 17)**.

Em se tratando de uma preparação química, deve ser dada atenção especial ao descarte adequado da solução. Também é importante peneirar essa solução, visando à recuperação de resíduos físicos tais como ossos pequenos, que podem se desprender da parte principal do fóssil e se depositar no fundo. Nessa etapa também podem ser descobertos exemplares de pequenas dimensões que foram preservados na matriz sedimentar.

(7) Limpeza final

Os produtos que foram usados na proteção devem ser retirados do fóssil. Particularmente, algum eventual resto de massa de modelar deverá ser removido com muito cuidado. Sempre é importante lembrar que o fóssil submetido à preparação química se encontra bastante fragilizado.

(8) Restauração

Nesta fase, partes do fóssil que se soltaram, mas que se gostaria de manter juntas, podem ser unidas. Nesta etapa também ocorre a aplicação de paraloide para consolidar os ossos. Este paraloide deve ser bastante

Figura 14. Diferentes espécimes imersos em solução de ácido fórmico diluído. Foto: Alexander Kellner.

Figura 15. Espécimes podem ser imersos sem que tenha havido a necessidade da confecção de uma caixa de acrílico (método de transferência), como ocorre com este osso de pterossauro. Foto: Alexander Kellner.

Figura 16. Ácido fórmico diluído age na dissolução da matriz sedimentar. Depois de algum tempo, a solução torna-se turva e o espécime não pode mais ser visto, o que faz com que seja necessário um monitoramento periódico do avanço da preparação. Foto: Alexander Kellner.

Figura 17. (A a D) Diferentes estágios da preparação química de um nódulo contendo um peixe fóssil da Formação Romualdo (Cretáceo Inferior). Note que partes do fóssil começam a aparecer à medida que a preparação avança. Fotos: Alexander Kellner.

diluído para penetrar na superfície do exemplar, consolidando-o internamente. Deve-se tomar cuidado nesta aplicação para que detalhes anatômicos do material não sejam ocultados pelo excesso de paralóide.

(9) Numeração

Deve ser escolhido um local no exemplar para receber a numeração de catálogo (livro-tombo da instituição de pesquisa ou museu). Por exemplo, o espécime MN 6594-V trata-se de um pterossauro referido a *Tropeognathus* cf. *T. mesembrinus* que integra a coleção do Museu Nacional (MN = Museu Nacional; V = vertebrado).

(10) Armazenagem

A armazenagem segura de fósseis preparados quimicamente tem que ser observada devido à fragilidade dos mesmos. Produtos como algodão devem ser evitados, uma vez que podem aderir ao material, sendo de difícil remoção.

Ainda nessa técnica pode ser realizada a transferência de um fóssil para uma cama de resina (método de transferência). Os procedimentos são os mesmos utilizados na confecção da cama de carbowax, diferindo apenas na substância, que agora é resina (ver artigos em Leiggi & May, 1994). Tal técnica é muito utilizada na preparação de peixes fósseis **(Figura 18)**.

Figura 18. (A e B) Fósseis podem ser embutidos em camas de resina, com a remoção total da matriz sedimentar por preparação química (veja Leiggi & May, 1994). Fotos: Alexander Kellner.

COMENTÁRIOS FINAIS

Além de conhecer técnicas, ferramentas e equipamentos, um preparador deve ter pelo menos noções básicas de geologia e anatomia, pois esses são conhecimentos fundamentais para que ele tenha controle de suas atividades, evitando danificar o material em preparação.

Existem diversas situações que podem ocorrer durante a preparação que podem dificultar o processo como um todo. Em alguns casos, é bastante difícil se fazer a distinção entre o fóssil e a rocha, ambos com as mesmas texturas e coloração. Nesses casos, procura-se umedecer o sedimento, que tende a absorver líquido de forma diferente daquela do fóssil. Outro problema comum é a incorreta aplicação de adesivo, sobretudo resina, o que pode restringir a preparação. Em muitas situações, a matriz sedimentar tende a aderir firmemente ao fóssil, e quando esta se desprende do sedimento pela preparação mecânica a camada externa do osso pode desprender-se junto, sendo, portanto, destruída.

Um problema um tanto comum é a perda de dados relativos à orientação espacial dos ossos na matriz sedimentar, visto que estes acabam sendo isolados durante a preparação. Desta forma, é muito importante se ter um registro de todo processo de preparação ("prep-log", veja Regras Gerais da Preparação de Fósseis), o que vai facilitar o reestabelecimento da posição original de todos os elementos que compõem o fóssil (ou fósseis) da amostra.

Outra situação que deve ser evitada é o que pode ser designado de preparação excessiva ("*over preparation*") de um exemplar. Nem sempre é seguro fazer-se a remoção total da rocha sedimentar que envolve o fóssil. Em certas partes, onde o fóssil não se encontra bem preservado ou tenha sido erodido devido a sua exposição na superfície, deve-se aproveitar a matriz para dar suporte.

Por último, deve-se levar em consideração uma armazenagem segura do material fóssil, que, até mesmo pela necessidade e o objetivo da preparação, pode ter partes fragilizadas pela preparação, gerando, inclusive, problemas em ser manuseado ou moldado.

Sobre as técnicas de preparação apresentadas acima, é novamente importante enfatizar que os procedimentos podem variar de fóssil para fóssil. No caso da preparação química, como se trata da manipulação de produtos às vezes tóxicos, é sempre importante que sejam tomados os cuidados necessários com o vestuário e o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs). Ademais, a parte do procedimento relativo à imersão dos fósseis em solução ácida deve ser realizado sempre em uma capela **(Figura 19)**.

Entre as vantagens da preparação química, pode ser destacado um maior aproveitamento de tempo, uma vez que diversos exemplares podem ser imersos simultaneamente em solução de ácido diluído. Além disso, existem casos onde elementos do fóssil estão tão próximos que não podem ser separados por técnicas mecânicas, ou são tão frágeis que apenas a dissolução da matriz sedimentar poderá expô-los. Em termos de desvantagens, o processo de preparação química é mais difícil de ser controlado e pode gerar perda irreparável ao material. De certa forma, todo material preparado quimicamente tende a sofrer fragilização generalizada.

A preparação mecânica pode proporcionar um controle maior. Mesmo quando há alguma quebra involuntária do fóssil du-

rante o processo, as partes podem, na maioria dos casos, ser unidas novamente sem grandes dificuldades.

Também existem problemas quanto à preparação mecânica. A principal é o tempo que se gasta, que pode ser bem maior do que na preparação química, sobretudo no caso de existirem muitos exemplares a tratar. Danos irreversíveis também podem ser causados aos fósseis, devido à pouca habilidade ou falta de prática do preparador. Além disso, esta técnica não funciona na remoção da rocha sedimentar em pontos de difícil acesso ou visualização, e tende a produzir muita poeira e barulho.

Figura 19. Por motivos de segurança, preparações químicas devem ser realizadas em capelas. Foto: Helder de Paula Silva.

REFERÊNCIAS

KELLNER, A. W. A. 1995. Técnica de preparação para tetrápodes fósseis preservados em rochas calcárias. A Terra em Revista 1: 24-31.

LEIGGI P. & MAY P. 1994 Vertebrate Paleontological Techniques. v. 1, Cambridge: Cambridge University Press.

SILVA, H. P.; KELLNER, A. W. A. 2006. A combinação de técnicas na preparação de vertebrados fósseis: o exemplo de Thalassodromeus sethi (Pterosauria, Tapejaridae). In: V. GALLO; P. M. BRITO; H. M. A. SILVA & F. J. FIGUEIREDO (orgs.). Paleontologia de Vertebrados: Grandes Temas e Contribuições Científicas. Interciência, p. 193- 301.

20

TÉCNICAS PARA CONFECÇÃO DE RÉPLICAS DE FÓSSEIS

Téo Veiga de Oliveira
Flávio Augusto Pretto
Voltaire Dutra Paes Neto
Paulo Aragão de Macedo

Os fósseis parecem, à primeira vista, estruturas bastante resistentes. Afinal de contas, muitos destes organismos conservam-se praticamente intactos nas rochas, às vezes por milhões de anos **(ver capítulo INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA)**. Essa ideia, contudo, não poderia estar mais equivocada. Apesar de muitas vezes parecerem robustos (imagine um osso de um grande dinossauro, por exemplo), os fósseis são estruturas extremamente delicadas, e a simples exposição ao ambiente pode, por muitas vezes, destruir um registro precioso da vida na terra.

Tendo isso em mente, a confecção de réplicas de fósseis é uma importante aliada na conservação do patrimônio fossilífero **(ver capítulo PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO)**. Ao invés de expor os fósseis originais, muitos museus e universidades optam por produzir cópias fiéis desses materiais, cuja integridade é prioridade **(Figura 1)**. Assim, enquanto o fóssil original pode ser mantido em segurança e em condições controladas junto à coleção de uma instituição, sua réplica fica disponível ao público, minimizando os riscos de danos ao primeiro.

Além da preservação da informação contida no fóssil original, a confecção de réplicas permite a multiplicação e a troca de conhecimento entre instituições. Muitas espécies são conhecidas por apenas um único exemplar fossilizado, e a replicação é a principal maneira de diversas instituições compartilharem esse patrimônio.

Figura 1. Réplicas de tetrápodes triássicos: à esquerda o rincossauro *Hyperodapedon* e, à direita, o cinodonte *Trucidocynodon*, expostas no Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Flávio Pretto.

Por fim, o uso de réplicas é uma maneira eficaz e atraente de divulgar a paleontologia em sala de aula. O contato direto com um fóssil (ainda que seja uma réplica) torna mais palpável e visual a ideia da existência de seres vivos extintos há muito tempo.

A réplica pronta de um fóssil é o resultado de um processo minucioso e delicado. Tudo começa com a confecção de um **molde**, a partir do fóssil original. Apesar de ser um processo bem estabelecido, ele precisa ser ajustado para adequar-se às particularidades de cada fóssil. Além disso, essa etapa necessita de um cuidado extremo, para que danos ao material original sejam evitados. Deve-se sempre ter em mente que fósseis (de uma maneira geral) são entidades raras, de grande valor científico e que devem ser tratadas com o máximo de cuidado. Apesar dos riscos inerentes à confecção do molde, a réplica consiste na maneira mais eficaz de perpetuação do fóssil original, o qual pode, assim, ser mantido em segurança. A partir do molde serão produzidas as **réplicas**, que podem, por fim, ser pintadas para retratar o espécime original com maior fidelidade.

TIPOS DE MOLDES

Moldes podem ser originados natural ou artificialmente. Os **moldes naturais** são gerados a partir da interação do organismo (ativamente, quando em vida, ou passivamente, depois de morto), com os sedimentos circundantes. Os moldes naturais podem ser de dois tipos: internos e externos.

Moldes naturais externos: são aqueles onde o sedimento (e, posteriormente, a rocha) reproduz o aspecto externo de alguma estrutura do organismo. Exemplos de moldes podem incluir desde pegadas, até partes inteiras de um organismo **(Figura 2)** **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**.

Moldes naturais internos: são aqueles onde o sedimento preenche cavidades naturais de um organismo, como a cavidade encefálica ou o interior de uma concha **(Figura 3)**.

Os **moldes artificiais**, por sua vez, reproduzem os processos naturais a fim de capturar alguma feição anatômica preservada no espécime original **(Figura 4)**. Desse modo, moldes artificiais também podem ser externos (quando algum produto é aplicado à superfície externa de um organismo), ou internos (quando um produto é inserido dentro de uma cavidade natural de um organismo).

MATERIAIS USADOS NA CONFECÇÃO DE MOLDES ARTIFICIAIS

O produto mais utilizado para a confecção de moldes é a borracha de silicone. Há basicamente dois tipos de silicone que podem ser utilizados na moldagem de fósseis:

(1) o primeiro tipo é aquele utilizado também na colagem de vidros (como na fabricação de aquários) e vedação de determinadas estruturas (boxes para banheiro, por exemplo). É encontrado em forma de bisnagas, e vulcaniza em contato com o ar, tendo como principal característica a baixa fluidez. Este silicone, apesar de útil para cobrir superfícies mais verticais ou com inclinação negativa (viradas para baixo), devido à baixa fluidez, é consideravelmente mais caro e menos rentável que o segundo tipo. É usado principalmente para fazer pequenos reparos em moldes feitos com o silicone do segundo tipo. Além disso, o produto emite vapores irritantes ao sistema respiratório durante a vulcanização, principalmente devido à presença de ácido acético em sua composição.

(2) o segundo tipo de silicone, mais utilizado, vulcaniza somente quando misturado a um catalisador específico e não emite quase nenhum vapor irritante. É muito fluido, o que permite uma melhor captação dos detalhes em relação ao primeiro tipo, mas dificulta sua aplicação em superfícies inclinadas.

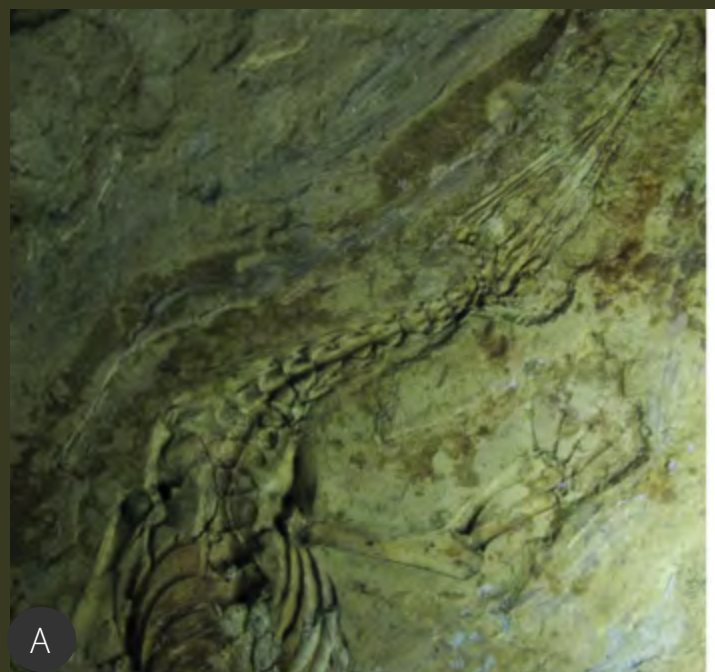
Além do silicone, é bastante difundido o uso do látex, mais flexível e elástico, o que confere ao molde uma durabilidade maior do que a daqueles feitos com silicone. O látex, entretanto, é mais caro que a borracha de silicone.

Existem, por fim, os moldes feitos com alginato. O alginato é um pó que ao ser misturado com água torna-se gelatinoso. É usado principalmente para a fabricação de moldes de próteses, em especial na ortodontia. Moldes de alginato são atóxicos mas pouco duráveis, perdendo a viabilidade em poucas horas.

Figura 2. Moldes naturais externos. (A) pegadas de dinossauros terópodes. Reproduzido de Mateus & Antunes (2003). (B) detalhe de uma folha de *Glossopteris*. Foto: R. Weller/Cochise College.

Figura 3. Moldes internos. (A) molde natural do interior da concha do gastrópode *Serratocerithium*. Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. (B) molde interno do cérebro (roxo) e dos canais auditivos (rosa) do dinossauro *Tyrannosaurus*, obtido por tomografia. Retirado de Stokstad (2005).

Figura 4. (A) a partir do molde natural deste esqueleto do mesossauro *Stereosternum*, foi confeccionado um contramolde artificial em silicone (à direita). (B) fóssil original pertencente à Coleção do Museu de Paleontologia da UFRGS. Foto: Flávio Pretto.



CONFECÇÃO DE MOLDES

Será abordado apenas o método de confecção de moldes externos. Para tanto, eles serão divididos em três categorias básicas: moldes simples (com uma face), moldes duplos (com duas faces) e moldes complexos (com três ou mais faces).

Moldes simples

Os passos a seguir descrevem o método de confecção de um molde simples, com uma face apenas. O método descrito utiliza o silicone como material de confecção do molde (do segundo tipo, cuja vulcanização requer o uso de catalisador). No entanto, o processo básico é similar para qualquer dos produtos apresentados anteriormente.

(a) Preparação do fóssil. Além da remoção da maior parte da matriz rochosa que circunda o fóssil, esta etapa inclui também uma série de cuidados **(Figura 5)** que impedem danos significativos ao fóssil durante o processo de moldagem. A primeira medida a ser tomada é o preenchimento de qualquer cavidade que não tenha valor informativo (fraturas e rachaduras, por exemplo) e que dificultem a desmoldagem. Cavidades muito delgadas e profundas podem reter o silicone em seu interior (dificultando sua retirada) e precisam ser preenchidas parcialmente. O mesmo deve ser feito com estruturas naturais que perfurem o fóssil de um lado a outro (como forames e fenestras, por exemplo). Normalmente, o preenchimento destas estruturas é feito com um material de fácil remoção e que não danifique (ou danifique o mínimo possível) o fóssil, sendo a massa de modelar (ou plastilina) o mais recomendável. A argila é outro material de fácil aplicação, mas a grande quantidade de água retida por ela pode danificar o fóssil. Ceras como a parafina e o carbowax (ou polietilenoglicol) também podem ser utilizados.

Após este procedimento, a superfície do fóssil deve ser protegida de qualquer ação nociva gerada pelo material do molde; para isto o fóssil pode ser tratado com laca, acriloide/paraloide, vaselina, talco etc. Além de impermeabilizar o fóssil, a aplicação destes produtos reduz a aderência do silicone sobre o material original, facilitando a desmoldagem.

(b) Delimitação da área do molde. O fóssil, agora pronto para a moldagem, deve ser então acondicionado sobre uma cama (preferencialmente de massa de modelar) que permitirá definir a área do molde. Em seguida, ergue-se uma parede (também de massa de modelar) ao redor de toda a área onde se deseja aplicar o silicone **(Figura 6)**. Esta parede serve para evitar que o produto transborde. Deve-se tomar a precaução de não deixar buracos na parede e na cama de massa, por onde o produto possa escorrer.

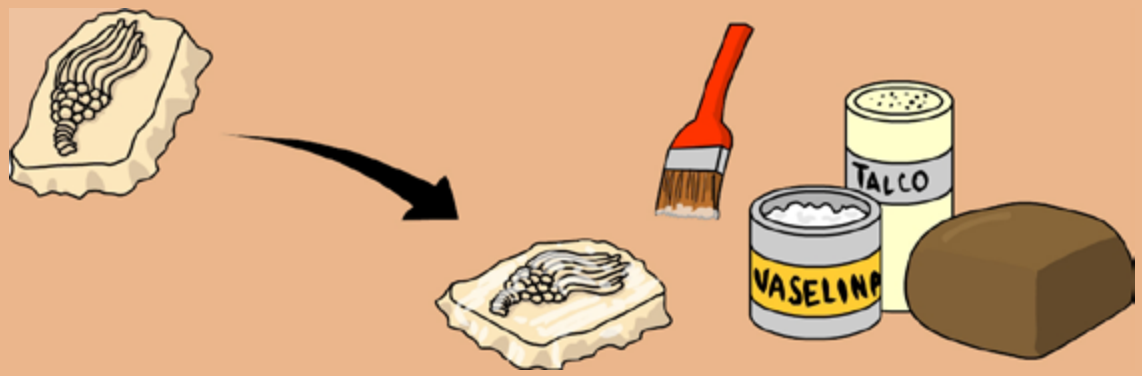


Figura 5. Preparação do fóssil antes da moldagem. O original recebe uma camada de vaselina para facilitar a remoção do silicone, que será despejado sobre o espécime.

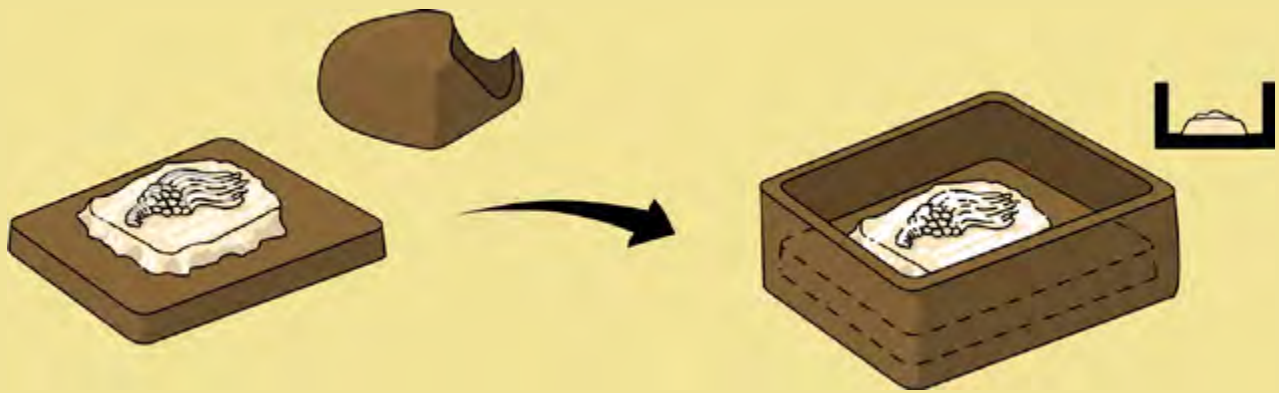


Figura 6. Delimitação da área do molde. À esquerda, o fóssil é acondicionado sobre a "cama" de massa de modelar. Em seguida, são erguidas as paredes que delimitam a área do molde. No canto superior direito pode-se ver um esquema em corte desta etapa.

(c) Preparo do produto para moldagem. O silicone deve ser homogeneizado por cerca de um minuto, antes da adição de catalisador. Após a homogeneização, se adiciona uma pequena quantidade de catalisador (na proporção de 3 a 5%, ou conforme as instruções do fabricante). A mistura deve ser homogeneizada novamente. É importante salientar que a adição de mais catalisador do que o recomendado acelera o processo de vulcanização do silicone, o que diminui o "tempo de vida útil" do preparado. Em outras palavras, o silicone pode enrijecer rápido demais, antes de ser aplicado totalmente sobre o fóssil. Além disso, os moldes onde o silicone recebeu uma adição excessiva de catalisador tendem a ser menos flexíveis, o que aumenta o risco de danos ao molde, no preparo das réplicas. Por outro lado, a adição de menos catalisador atrasa o processo de enrijecimento, por vezes tornando o molde flexível demais, além de extremamente aderente.

(d) Recobrimento do fóssil a ser moldado. Imediatamente após o preparo do silicone, este deve ser despejado sobre a área a ser moldada **(Figura 7)**. O fóssil pode ser coberto de uma só vez, o que consome mais silicone, ou gradualmente; este último processo consiste

na adição de finas camadas de silicone, uma a uma.

Espera-se uma camada vulcanizar, e em seguida se aplica outra até o silicone obter uma espessura de cerca de 5 milímetros sobre o fóssil. Em seguida aplica-se um reforço de gaze, que é recoberta com outra camada de silicone. O processo se repete até obter um molde com a espessura desejada. Além de proporcionar economia de material, a gaze dá ao molde uma maior resistência. É importante que as camadas de silicone que recobrem o fóssil sejam um pouco espessas antes da aplicação da gaze, para que não ocorra perda de detalhe no molde. Deve-se também tomar cuidado ao aplicar a gaze para que não se formem bolhas de ar entre a camada inferior e a camada de gaze. Isso pode ser feito colocando-se uma fina camada de silicone fresco à camada subjacente, antes da aplicação da gaze **(Figura 8)**.

Após o recobrimento do fóssil, respeita-se o tempo de vulcanização do silicone (que pode durar várias horas, dependendo da quantidade de catalisador e da temperatura ambiente). É importante que o silicone esteja completamente vulcanizado para que a remoção do molde possa ser efetuada sem danificá-lo; um molde removido antes de o silicone estar totalmente vulcanizado não cumpre sua função e consiste em material e tempo desperdiçados, além de riscos ao fóssil.

(e) Ajustes finais e desmoldagem. Como o silicone é bastante flexível, em alguns casos é aconselhável aplicar sobre o "verso" do molde uma camada de um material ríjo que impeça a sua deformação durante o posterior preenchimento **(Figura 9)**. Normalmente esta camada é feita de gesso, um material relativamente barato e de fácil manuseio, mas também pode ser usado algum tipo de **resina**, em especial em moldes mais complexos (neste caso é recomendável aplicar uma camada de papel de alumínio acima do silicone antes de aplicar a resina). A resina pode ser reforçada com lã de vidro (ou outro material similar), o que permite que uma camada mais fina de resina seja utilizada **(Figura 10)**. Após isto, é possível separar o fóssil de seu molde, tomando cuidado para não danificá-los **(Figura 11)**.

Moldes duplos

Os passos a seguir orientam a preparação de moldes com duas faces. Muitos dos processos são idênticos aos da preparação de moldes simples, com pequenos ajustes.

(a) Preparação do fóssil. Os processos são os mesmos de um molde simples.

(b) Escolha das partes que constituirão o molde. Diferentemente de um molde simples, onde somente uma face do fóssil será reproduzida, um molde duplo envolverá o fóssil completamente. Para isso, normalmente o fóssil é "dividido" em duas metades. Para isso restringem-se determinadas áreas do fóssil com massa de modelar impedindo que o silicone entre em contato com elas **(Figura 12)**. A escolha da melhor "divisão" deve levar em conta a facilidade no momento da desmoldagem. Assim deve ser evitada uma "divisão" onde uma parte do molde recubra o fóssil por todos os lados.

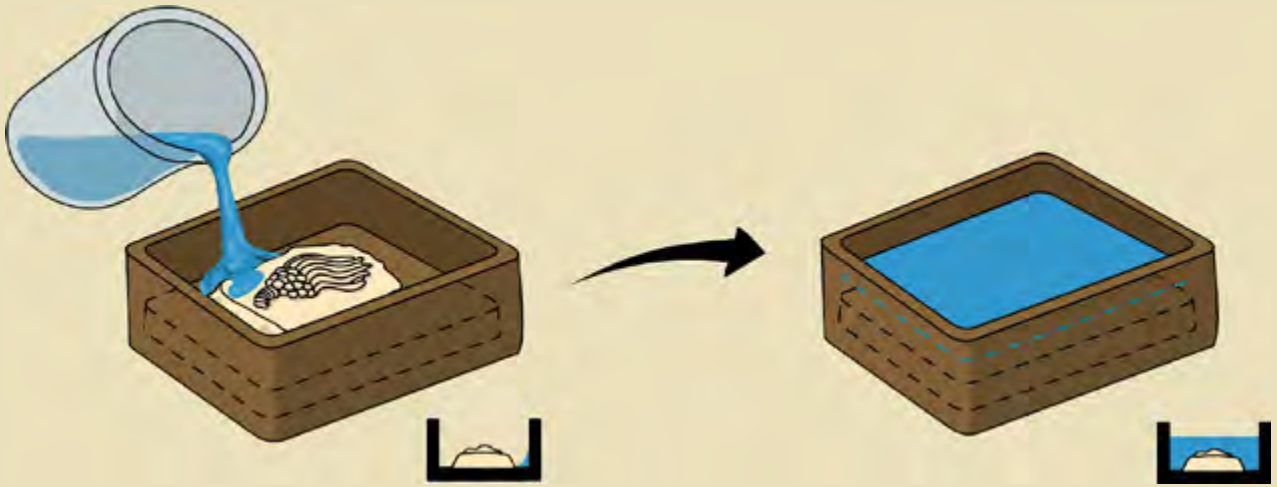


Figura 7. Recobrimento do fóssil a ser moldado. No esquema acima, uma única camada espessa de silicone é despejada dentro da "cama" de massa de modelar.

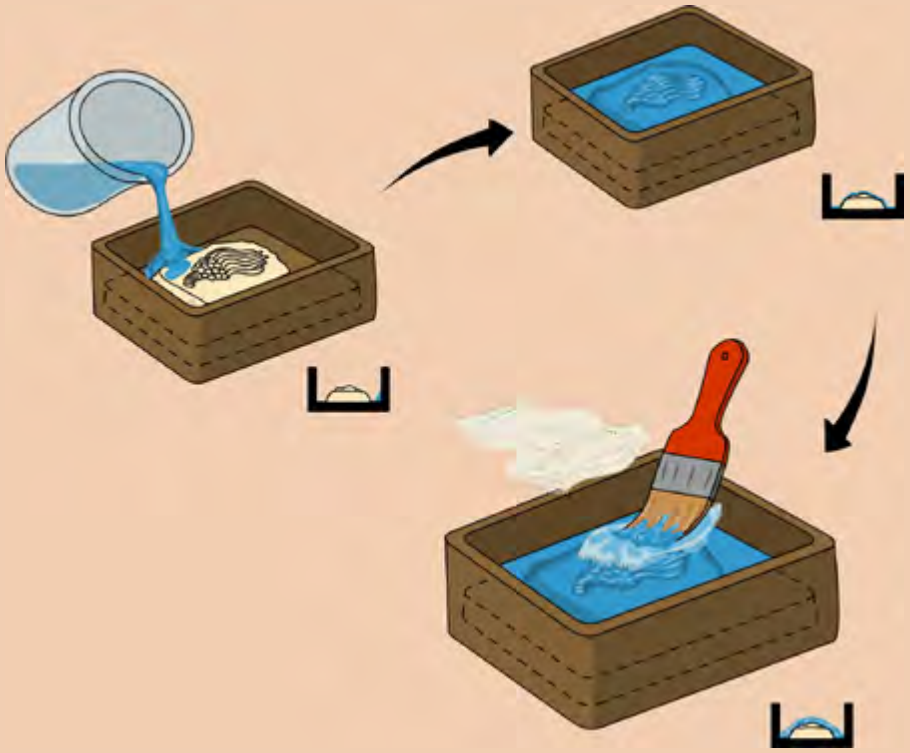


Figura 8. Recobrimento do fóssil, utilizando camadas intercaladas de gaze e silicone. Primeiramente se espalha uma camada de silicone sobre o fóssil, com o auxílio de um pincel. Após a vulcanização desta camada, sucessivas camadas de silicone e gaze são adicionadas. Este processo é repetido até o molde adquirir a espessura desejada.

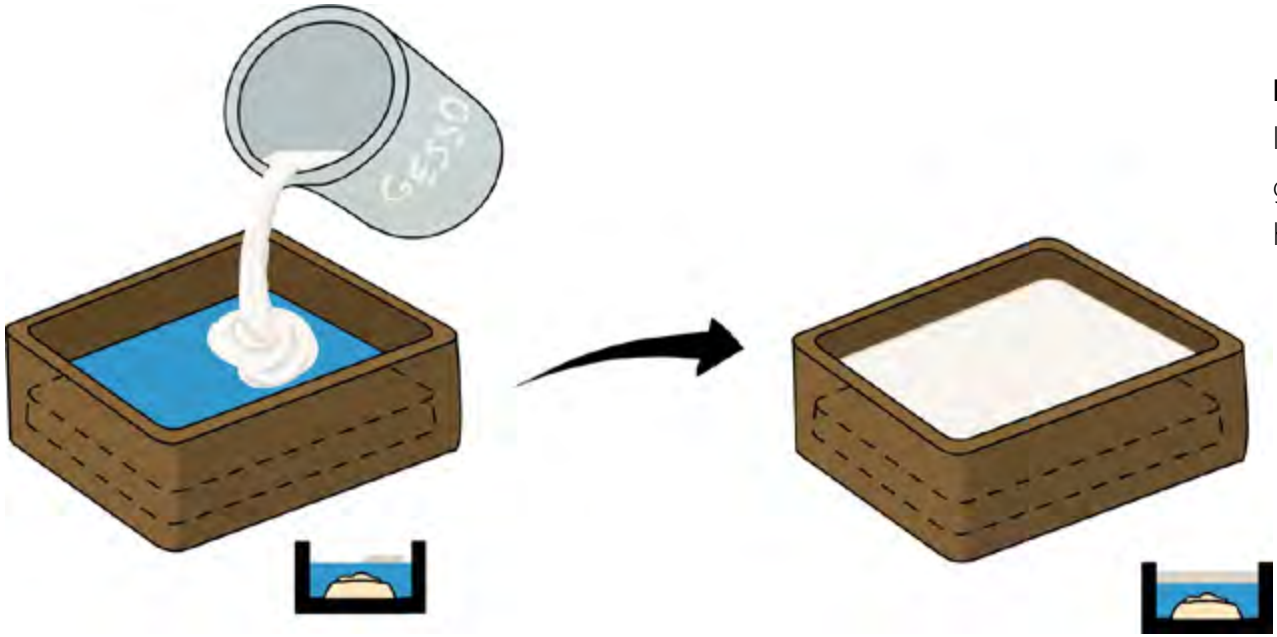
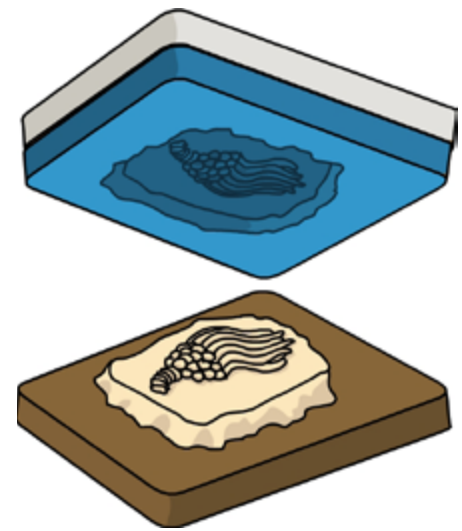


Figura 9. Ajustes finais. Após a cura do silicone, pode-se adicionar uma camada de gesso, para evitar que o molde se deforme na hora de fazer a réplica.

Figura 10. Ajustes finais. Alternativamente ao gesso, pode-se recobrir o molde com resina. Para isso, se aplica uma camada de papel alumínio sobre o molde, e em seguida intercalam-se camadas de resina com lã de vidro.

Figura 11. O molde pronto é separado do original.



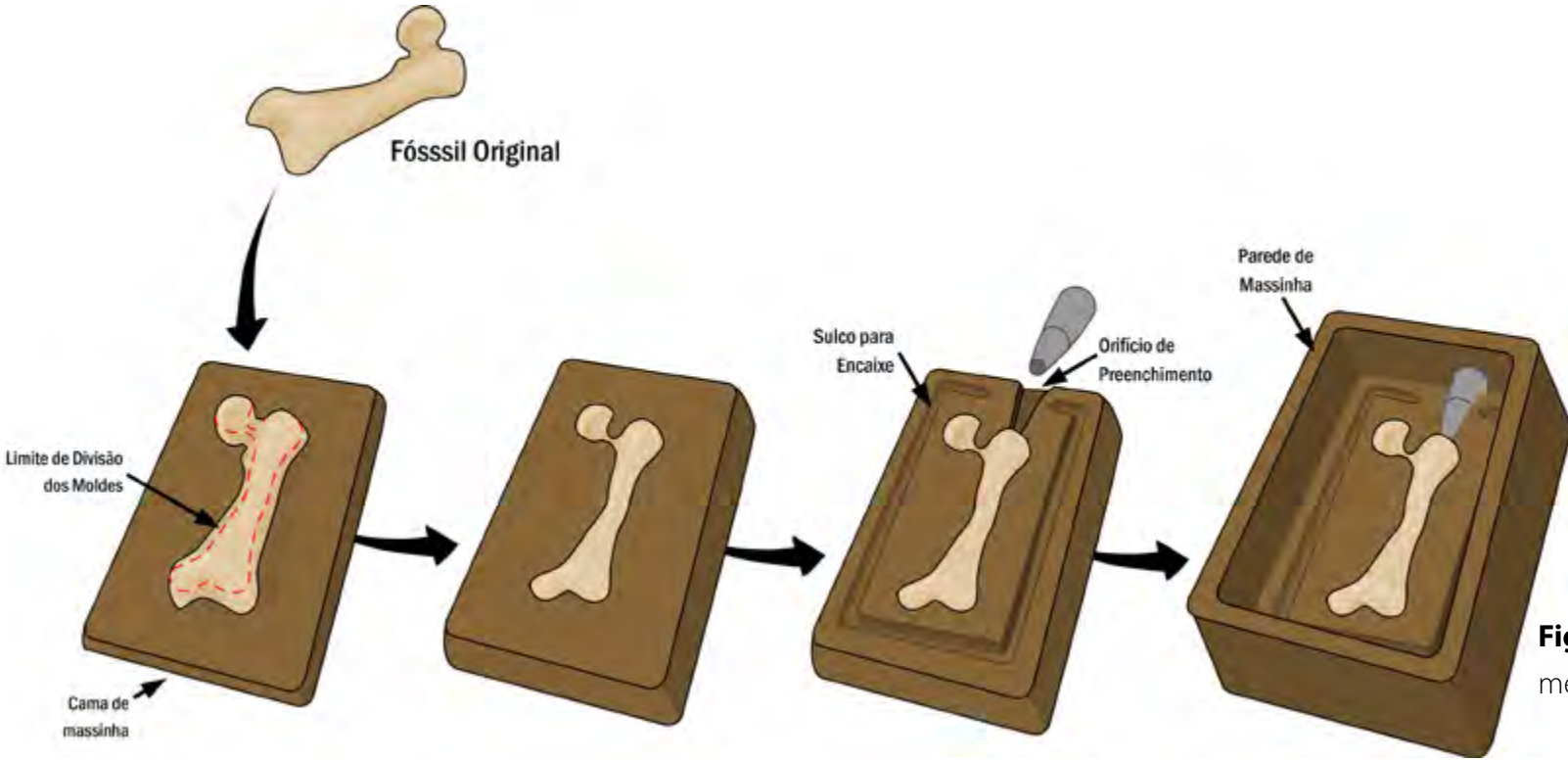


Figura 12. Preparação da primeira metade do molde de um fêmur.

(c) Delimitação da área do molde. O processo é praticamente o mesmo do molde simples: o fóssil é posto sobre uma "cama" de massa de modelar, ficando exposta apenas a porção que será reproduzida na primeira metade do molde **(Figura 12).** As diferenças mais significativas em relação ao molde simples são a necessidade de um encaixe entre as duas metades do molde e a presença de um (ou de mais de um) orifício de preenchimento **(Figura 12)**. A posição deste orifício deve ser escolhida levando em consideração a posição em que o molde será preenchido: ele deve ficar no ponto mais alto, de modo que todo o ar escape por ele. A parede de massa de modelar é erguida da mesma maneira que para o molde simples **(Figura 12)**, tomando um especial cuidado para que não haja espaços por onde o silicone possa escorrer, em especial através do orifício de preenchimento. Pode-se opcionalmente fazer um segundo orifício, paralelo ao orifício de preenchimento, para atuar como respiradouro.

(d) Confecção da primeira metade do molde. O silicone deve ser despejado sobre o fóssil, da mesma maneira que na confecção de um molde simples. Aqui também pode-se aplicar uma camada de resina ou gesso, após a cura do silicone, para manter o molde rijo **(Figura 13)**.

(e) Confecção da segunda metade do molde. Com a primeira metade do molde pronta, a peça é virada e a cama de massa de modelar é removida, expondo a porção do fóssil que não foi coberta pelo silicone. Uma nova parede de massa de modelar é erguida. Um passo importante, e que não pode ser esquecido de maneira alguma, é o isolamento do silicone já enrijecido da primeira metade do molde: caso mais silicone (misturado ao catalisador) seja despejado sobre ele, os dois se fundirão, retendo o fóssil no interior de um bloco sólido de silicone, o que certamente acarretará severos danos durante sua retirada do interior do molde (além

de quase certamente inviabilizar o uso do molde). Assim, a primeira metade do molde pode ser tratada com acrilóide, vaselina ou outro material apropriado. Após o isolamento, o silicone da segunda metade do molde é adicionado. Espera-se o tempo de cura e adiciona-se o material que impedirá a deformação do molde. Se a escolha for pela resina, a borda do conjunto inteiro pode ser furada e atravessada por um parafuso com porca para que o fechamento do molde durante o preenchimento seja preciso **(Figura 14)**.

(f) Desmoldagem. Retiram-se as camadas do molde uma a uma, até que o fóssil possa ser isolado com segurança.

Moldes complexos

Chamamos de moldes complexos aqueles que são formados por três ou mais partes. Os procedimentos básicos de confecção são os mesmos que para um molde simples ou duplo, mas há certas particularidades, e algumas recomendações devem ser observadas. Normalmente, este tipo de molde é utilizado para fósseis com morfologia mais complexa, como crânios. A escolha da melhor "divisão" para o molde passa por uma avaliação criteriosa do fóssil, e deve sempre levar em conta facilitar a remoção do molde com o mínimo de danos ao fóssil (cada fóssil tem características únicas e somente a prática indicará a melhor conformação de seu respectivo molde). Por vezes, as partes do molde podem apresentar cavidades cujo preenchimento total por silicone levaria a um gasto excessivo de material e dificultaria a desmoldagem; assim, aplica-se apenas uma fina camada de silicone (que pode ser reforçada com gaze) e a cavidade é preenchida por um tacelo **(Figura 15)**. Nos moldes complexos, o ma-

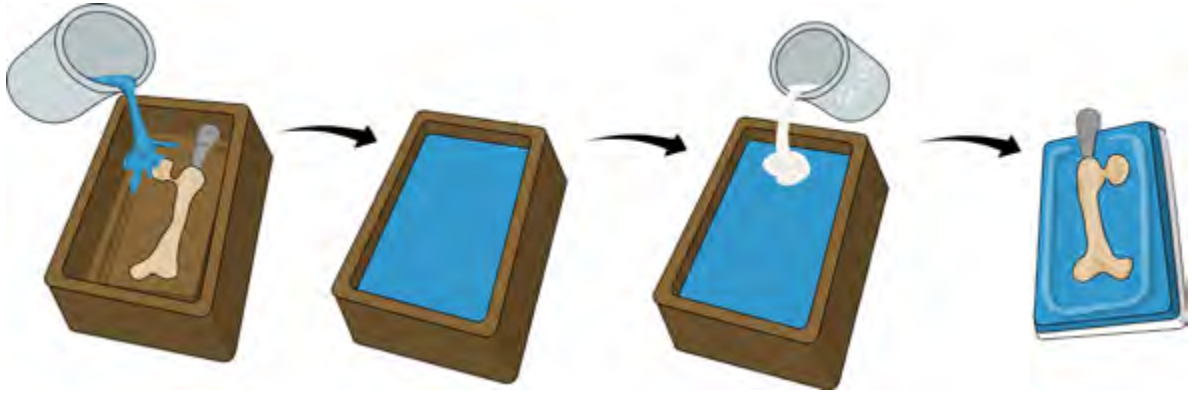


Figura 13. Confecção da primeira metade do molde.

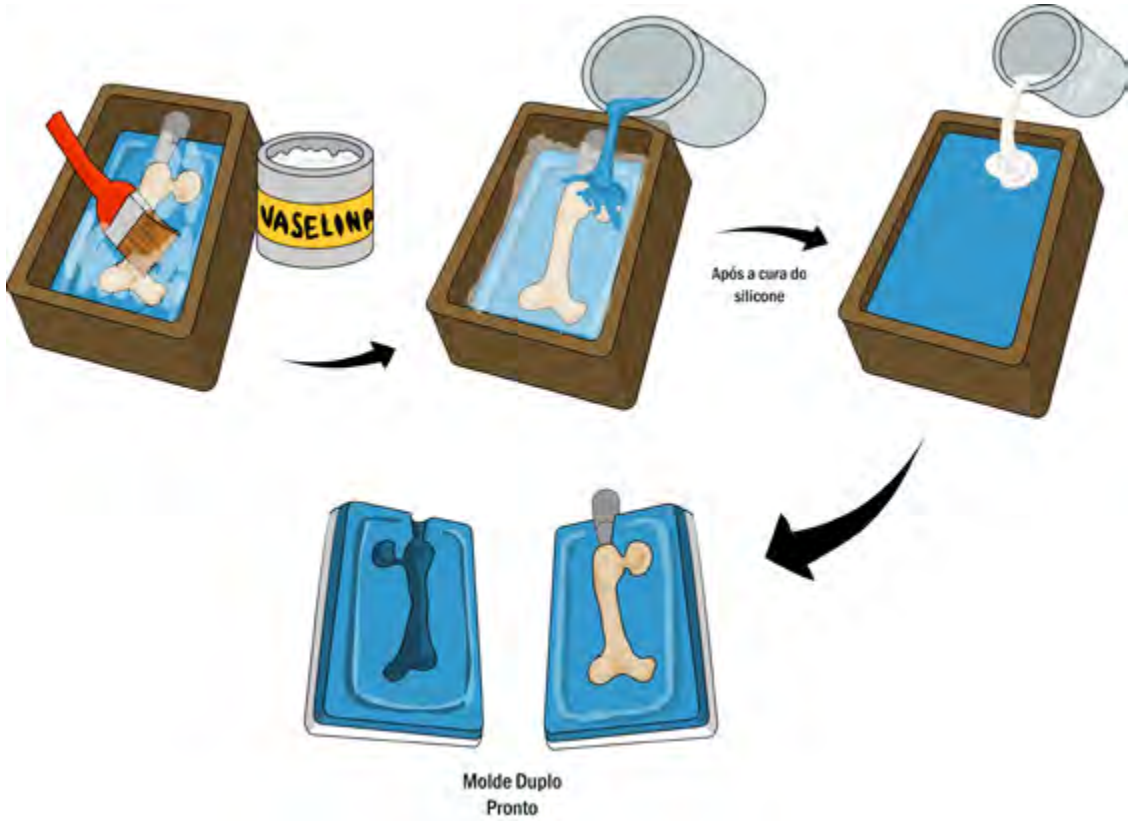


Figura 14. Confecção da segunda metade do molde.

terial rijo que impede a deformação do molde durante o preenchimento deve, obrigatoriamente, ser de resina. As partes de resina devem ser aparafusadas entre si, para que o ajuste entre as partes do molde seja o mais preciso possível **(Figura 15)**.

RÉPLICAS

As réplicas consistem na reprodução da superfície externa do fóssil (ou seja, um "negativo" do molde). Embora possam ser feitas réplicas de cavidades internas (o que é relativamente comum em estudos de paleoneurologia, por exemplo), como regra geral se realizam réplicas a partir de moldes externos.

Além de permitir a reprodução fiel de um fóssil para intercâmbio e estudo, a confecção de réplicas permite a criação de uma "cópia de segurança" do material: uma vez pronta a réplica, novos moldes podem ser produzidos a partir dela para repor moldes danificados. Assim, evita-se expor o material original a uma segunda replicação.

MATERIAIS USADOS NA CONFECÇÃO DE RÉPLICAS

Os materiais mais utilizados para o preenchimento dos moldes (e a confecção de uma réplica) são o gesso e a resina. O primeiro é barato, atóxico e fácil de utilizar, mas aprisiona uma grande quantidade de bolhas, e possui um aspecto mais quebradiço, pouco resistente. A resina, além de liberar vapores tóxicos, é mais cara e difícil de utilizar quando comparada ao gesso. Apesar disso, ela é mais resistente, e o resultado final da réplica é em geral mais satisfatório.

Figura 15. Um molde complexo. As setas apontam os tacelos, feitos de gesso. A cobertura da réplica é feita de resina, com furos para permitir que as partes sejam aparafusadas entre si.

PREENCHIMENTO DE UM MOLDE SIMPLES

(a) Preparação do molde. O molde deve ser limpo antes de ser preenchido pelo material usado na replicação. Pode ser aplicado um desmoldante sobre o molde (como vaselina, por exemplo), antes do preenchimento.

(b) Preparação do material da réplica. Como o preparo do gesso é relativamente simples, descrevemos aqui apenas o preparo da resina de poliéster. Deve-se separar uma quantidade de resina que se considere suficiente para dar à réplica a espessura desejada; o catalisador é, então, adicionado (cerca de 3-5%) e a mistura é homogeneizada por alguns segundos. A adição de menos catalisador do que o recomendado atrasa o processo de cura, o que não acarreta problemas maiores além de uma espera mais prolongada; já a adição de catalisador em excesso pode inutilizar a réplica (a resina pode rachar, contrair-se ou produzir bolhas de ar) e até mesmo o molde pode ser prejudicado (a catálise da resina libera bastante calor e pode danificar o silicone). Se o molde possui detalhes muito pequenos ou delgados, a resina pode ser diluída com o uso de diluentes específicos (por exemplo, monômero de estireno, o que dá a ela uma maior fluidez). Por outro lado, se o molde tem porções mais verticalizadas, onde a resina teria dificuldade de aderir devido à sua fluidez, pode-se espessá-la com o uso de substâncias específicas (espessantes como microesferas ou cabosil). Tanto a adição de diluentes à resina quanto a de espessantes deve ser feita antes da adição do catalisador. Há também pigmentos especiais para a resina, que podem ser usados para fins estéticos ou didáticos, e que também devem ser adicionados antes do catalisador. O ideal é preparar a resina (e também o silicone) em uma câmara de vácuo, o que impede a formação de bolhas em seu interior e dá mais qualidade à réplica, em especial àquelas de menor tamanho (ou com detalhes pequenos). É importante ressaltar que todo procedimento deve ser planejado antes de ser iniciado, já que uma vez que ocorra a mistura do catalisador, o processo não pode ser interrompido.

(c) Preenchimento do molde. Depois de misturada ao catalisador, a resina é despejada sobre o molde **(Figura 16)**; isto deve ser feito gradualmente, preenchendo em primeiro lugar as partes mais fundas do molde. Durante o processo, o molde pode ser levemente agitado para que o ar retido na resina suba à superfície, eliminando bolhas na superfície a ser replicada. Alternativamente, pode-se aplicar uma primeira camada delgada de resina, tomando cuidado para que todas as partes do molde fiquem cobertas. Após a cura desta camada, aplica-se então uma camada de lã de vidro, ou similar, com mais resina. Embora tome mais tempo, este processo utiliza menos resina e dá resistência à réplica. Após a cura total da resina, passa-se à desmoldagem, que deve ser feita com cuidado, para não danificar o molde.

(d) Acabamento. A réplica deve ser limpa, retirando qualquer material estranho, impurezas que estavam no molde, excesso de vaselina, etc. Qualquer rebarba **(Figura 16)** deve ser retirada (com o uso de lixas, esmeril, estilete, etc.) antes de a pintura ser aplicada. Para fins de exposição, normalmente, as réplicas são pintadas de maneira a se parecerem o máximo possível com

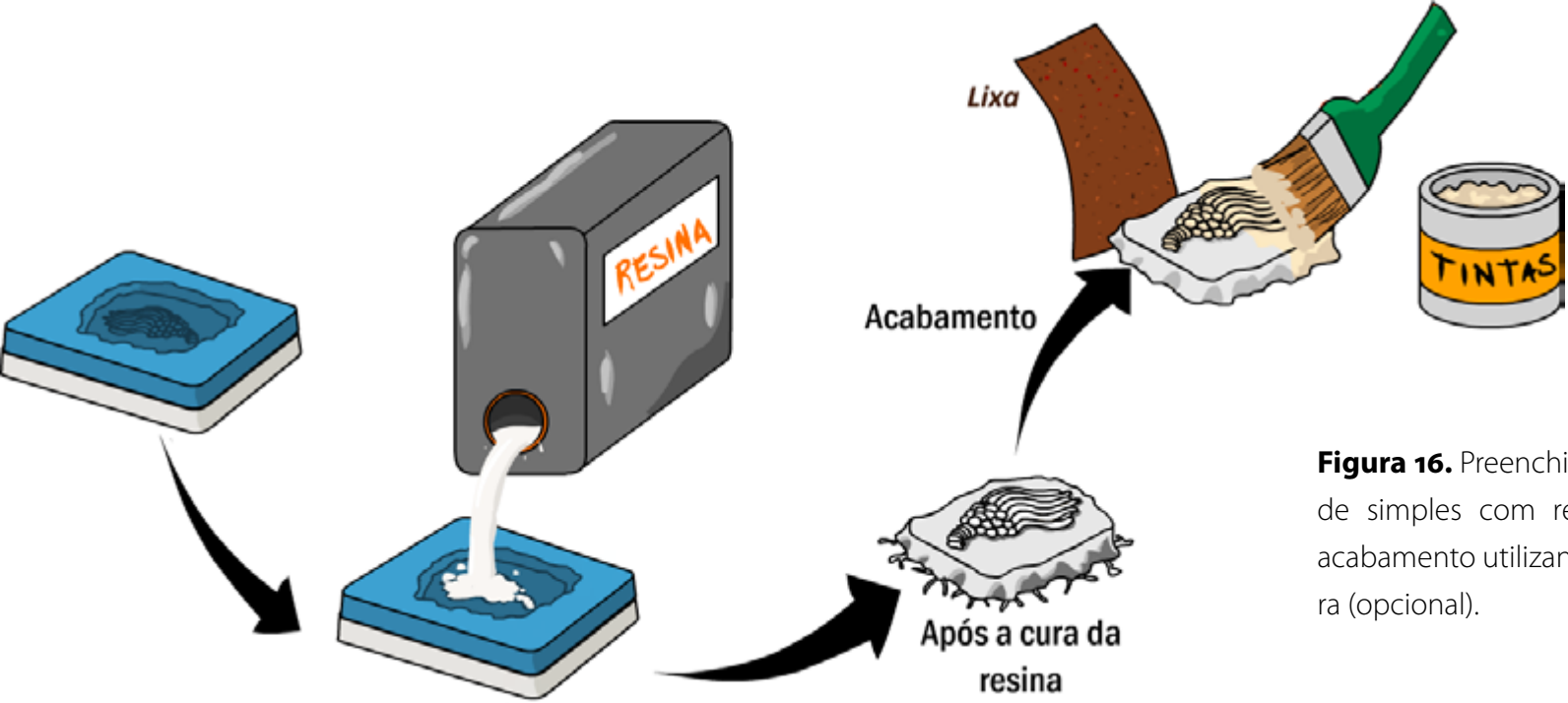


Figura 16. Preenchimento de molde simples com resina. Posterior acabamento utilizando lixa e pintura (opcional).

o fóssil original **(Figura 16)**; para fins científicos a pintura é opcional, embora uma réplica pintada possa ter certos detalhes realçados.

PREENCHIMENTO DE UM MOLDE DUPLO OU COMPLEXO

(a) Preparação do molde. O molde deve ser limpo antes de se aplicar a resina. Pode ser aplicado também algum agente desmoldante (como vaselina). A réplica pode ser maciça ou não; no primeiro caso, o molde deve ser fechado (amarrado com barbante ou aparafusado). Se o objetivo é fazer uma réplica "oca", o molde permanecerá aberto até o passo seguinte. Normalmente, não é a complexidade da réplica que determina se ela será maciça ou não, mas sim seu tamanho: réplicas muito grandes, mesmo se forem simples, devem ser "ocas" (pois se economiza bastante material), mas réplicas pequenas, mesmo bastante complexas, devem ser maciças.

(b) Preparação do material da réplica. O procedimento é o mesmo independentemente do tipo de molde.

(c) Preenchimento do molde. O preenchimento difere um pouco de acordo com o tipo de réplica que for feito:

(1) Réplica maciça. Com o molde fechado, através do orifício de preenchimento, simplesmente adiciona-se a resina em seu interior **(Figura 17)**, inclinando-se o molde de um lado para o outro para se certificar que todo ele será preenchido (o molde pode ser apertado para que o ar em

seu interior seja expulso). A resina pode ser adicionada até parte do orifício de preenchimento ser preenchido, o que assegura que não faltará resina para a réplica. O procedimento é o mesmo para moldes duplos e complexos.

(2) Réplica "oca". Chamamos aqui de réplica oca aquela onde o material externo da réplica consiste apenas em uma fina camada, sendo o interior da réplica preenchido com outro material (daí o fato de ela não ser realmente oca). Para se obter este tipo de réplica o molde deve ser mantido aberto, para que uma camada de resina seja aplicada em cada parte do molde, preferencialmente apenas na parte que contém alguma informação **(Figura 18)**; pode-se optar também pelo reforço com lã de vidro, como descrito anteriormente.

Em moldes duplos, após a cura da resina as metades do molde são unidas e o molde é fechado (amarrado ou aparafusado). Um pouco de resina é preparado e despejado no interior do molde, e este é virado para que a resina cubra o contato entre as duas metades; espera-se um tempo para a cura desta resina. No caso de moldes complexos, uma das partes do molde não é unida às demais, o que permite que a vedação das emendas (com resina) seja feita de forma mais direta; depois, junta-se a última parte do molde e adiciona-se mais resina para vedar as últimas emendas. Com este processo a camada superficial da réplica está pronta; uma camada de cerca de 5 mm de espessura (reforçada com lã de vidro) é suficiente até para réplicas grandes.

O próximo passo é preencher o interior da réplica; o material mais recomendado é a espuma de poliuretano, que, embora mais cara que a resina, é mais rentável (em volume final) e muitíssimo mais leve. Os tipos mais comuns de espuma de poliuretano co-

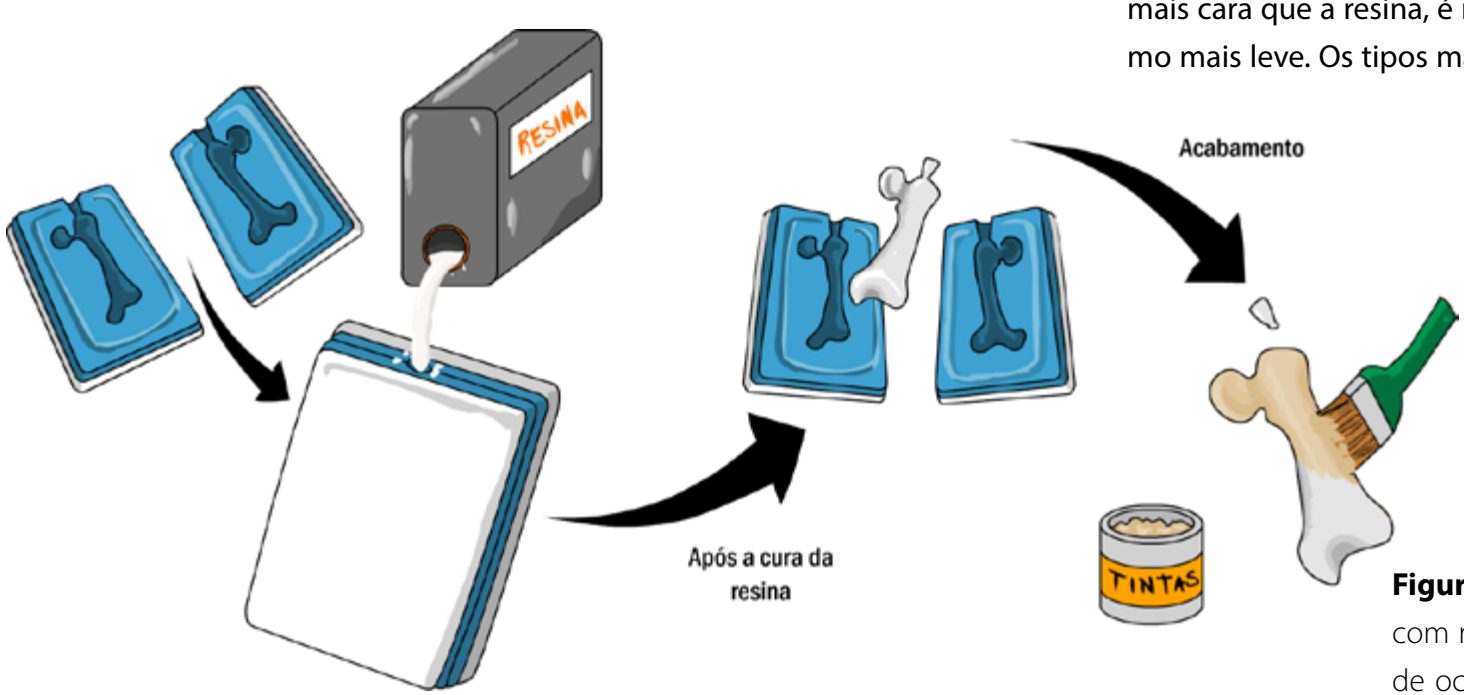


Figura 17. Preenchimento de molde duplo com réplica maciça de resina. Após o desmolde ocorre o acabamento: remoção das rebarbas e pintura (opcional).

Figura 18. Preenchimento de molde duplo com réplica oca. Uma fina camada de resina forma uma cavidade no interior da réplica que, quando preenchida com poliuretano, torna-a mais leve e rentável.

mercializados são em lata, com um aplicador aerossol; ou sob a forma de duas soluções separadas, as quais são misturadas em partes iguais no momento do preparo. O material é despejado no interior do molde; em segundos o poliuretano começa sua expansão e o orifício de preenchimento deve ser tapado para que o poliuretano fique retido no interior da réplica **(Figura 18)**.

(d) Acabamento. Após o poliuretano estar rígido, a réplica é desmoldada e qualquer rebarba é retirada, falhas nas emendas entre as partes da réplica são corrigidas e a pintura é feita (se necessária) **(Figuras 17 e 18)**.

RECONSTRUÇÕES

Outro artifício utilizado quando se trata da utilização de fósseis, em exposições de museus, por exemplo, são as reconstruções. Por vezes, os fósseis apresentam severas alterações causadas pelo processo de fossilização (alterações diagenéticas), como fraturas, quebras (ausência de determinadas partes) ou deformações **(Figura 19)**, as quais dificultam (em especial para o público não habituado aos fósseis) a interpretação da morfologia "original" do organismo.

Figura 19. À esquerda, réplica do crânio do cinodonte triássico *Trucidocynodon*, reproduzida fielmente a partir do original, incluindo as fraturas e deformações decorrentes da compressão sofrida pelo espécime durante a fossilização. À direita, reconstrução do crânio do mesmo animal, feita a partir de uma escultura em gesso (escultura feita por Téo Veiga de Oliveira).

Uma reconstrução compreende geralmente um trabalho artesanal (ou de paleoarte) que tenta retirar estas feições diagenéticas para que o modelo gerado chegue o mais próximo ao que se considera ideal **(Figura 19)**. Além disso, as reconstruções ajudam a completar um esqueleto quando alguns ossos estão ausentes. Todos os materiais utilizados por artistas convencionais podem ser utilizados para a confecção de um modelo: argila, gesso, etc. Normalmente, para que não seja feita a confecção de uma reconstrução cada vez que esta for necessária, faz-se um molde da primeira que foi feita para que réplicas dela possam ser produzidas na quantidade desejada.

REFERÊNCIAS

MATEUS, O. & ANTUNES, M. T. 2003. A new dinosaur tracksite in the Lower Cretaceous of Portugal. Ciências da Terra (UNL)15:253-262.

STOKSTAD, E. 2005. Tyrannosaurus rex gets sensitive. Science 310: 966-967.

21

ATIVIDADES LÚDICAS (JOGOS) COMO FERRAMENTAS NO ENSINO DE PALEONTOLOGIA

Jacqueline Peixoto Neves
Luciana Maria Lunardi Campos
Marcello Guimarães Simões

Atividades lúdicas, como prática pedagógica, são conhecidas desde a Grécia e Roma antigas. Há um consenso entre os pesquisadores de que tais atividades possuem papel motivador e facilitador do processo de ensino e aprendizagem (vide Constante & Vasconcelos, 2010). Cognição, afeição, socialização, motivação e criatividade destacam-se entre algumas das principais características trabalhadas pelas atividades lúdicas (Miranda, 2001). De fato, "*o lúdico é integrador de várias dimensões como, por exemplo, a afetividade e a colaboração entre pares. Assim, contribui para a motivação e o desenvolvimento cognitivo dos alunos, estimulando a interação aluno-aluno e aluno-professor*" (Constante & Vasconcelos, 2010).

A PALEONTOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) apontam as Ciências Naturais como a unidade fundamental na formação de cidadãos críticos, inseridos numa sociedade em que os conhecimentos científico e tecnológico são cada vez mais valorizados. Os conceitos e procedimentos desta área contribuem para a ampliação das explicações sobre os fenômenos da natureza, para o entendimento e o questionamento dos diferentes modos de nela intervir (Brasil, 1997). Entretanto, o simples questionamento diante de conceitos teóricos geralmente não é suficiente para garantir aos estudantes, em plena formação, uma aprendizagem significativa. Assim como outras áreas, as Ciências Naturais permitem aos educadores lançarem mão de uma ampla gama de recursos educativos que promovam o aprendizado ativo de conceitos que podem ser mais eficientemente incorporados pelos estudantes. Nesse contexto, os recursos didáticos devem ser mediadores nos processos de ensino e de aprendizagem, incorporando conteúdos relacionados aos princípios fundamentais das Ciências Naturais e possibilitando o processo de reflexão crítica pelo aluno e pelo professor (Borges, 2000).

A Paleontologia detém uma grande vantagem no processo educativo, pois desperta naturalmente o interesse dos estudantes pela área (Schwanke & Silva, 2004), desde a pequena infância. A curiosidade pelo desconhecido e o interesse pelos organismos que não mais existem são ferramentas que devem ser utilizadas para ampliar o ensino de conceitos de geociências, paleontologia e evolução. O conhecimento da prática paleontológica tem estado restrito às instituições de pesquisa, universidades, museus, etc. (Neves *et al*., 2008). Portanto, é preciso estimular os estudantes, especialmente de ensino fundamental e médio, a respeito de importantes questões dessa ciência natural escassamente difundida na sociedade brasileira e, dessa forma, despertar nos alunos, ainda jovens, o interesse por ciências.

JOGOS COMO MATERIAIS DIDÁTICOS

Os recursos didáticos para o ensino de Paleontologia podem ser muito diversos. Para os ciclos iniciais (1º e 2º ciclos) são preferíveis atividades lúdicas simples, intrinsecamente motivadoras e que influenciam no desenvolvimento cognitivo, afetivo e social, sendo um instrumento decisivo a ser utilizado pelo professor (Valenzuela, 2005, p. 90). Estas favorecem a participação ativa do aluno no processo de aprender e possibilitam o atendimento de características individuais, o desenvolvimento de habilidades e o aprender fazendo (Dohme, 2003). Por meio delas, os estudantes devem ter a oportunidade de ver e analisar os fósseis por si mesmos, para relacioná-los com exemplos de organismos viventes, entenderem como se formaram e onde podem ser encontrados (Neves *et al*., 2008). Já para os últimos ciclos (3º e 4º ciclos) do ensino fundamental e para o ensino médio, são preferíveis atividades de conteúdo mais abstrato e de caráter desafiador, inclusive com alguns questionamentos que não estão nos livros didáticos (Neves *et al*., 2008). Adicionalmente, tais recursos devem ser dinâmicos, visando a interação do estudante com seus colegas de sala de aula. Nesse caso, os jogos didáticos são mais indicados, possibilitando o raciocínio lógico e o pensamento abstrato, gerando motivação e estimulando a vontade de se apropriar do conhecimento. Jogos são conhecidos por transmitirem conteúdos de maneira eficiente e prazerosa. Desenvolvem ainda, em maior ou menor grau, habilidades linguísticas, morais, cognitivas, afetivas e físico-motoras.

Dentro do amplo leque de opções de atividades educativas a serem empregadas em sala de aula (ex: resolução de charada, dinâmicas de grupo e trabalhos manuais), os jogos se destacam como os mais relevantes no processo de ensino e aprendizagem, dado o potencial de despertar a motivação nos alunos (Constante & Vasconcelos, 2010). O jogo, porém, habita o espaço contemporâneo com brincadeiras tradicionais, competições esportivas, jogos *on line*, jogos de linguagem, jogos lógico-matemáticos, jogos de azar, entre tantos outros, sempre com a noção de não ser sério, de ser um passatempo. Essa noção de não seriedade delegada ao jogo dificulta compreender a relação existente entre jogo e educação como impulso ao exercício entre a relação saber-fazer; entre os exercícios do pensar e entre as alternativas de ampliar a compreensão de resolver problemas através da criatividade (Bemvenuti, 2008, p. 30). Contudo, os jogos didáticos têm uma característica própria: podem ser vinculados a conteúdos específicos de ensino, elaborados para possibilitar aprendizagens específicas, relacionadas à construção do pensamento e de conhecimentos, à afetividade e à socialização (Miranda, 2001). Eles podem envolver cartas, tabuleiro, jogos eletrônicos, etc., desde que transmitam conceitos que o professor deseja inserir em suas aulas, porém de uma maneira dinâmica e prazerosa em que o aluno aprende de forma ativa. Quando o aluno aprende divertindo-se e se sente como parte do processo de aprendizagem, os conceitos envolvidos são assimilados naturalmente, diferindo do ensino que apenas acumula informações (Neves *et*

al., 2008). Entretanto, o emprego desse recurso, por si só, não garante resultados efetivos, pois depende da forma como é orientado, vivenciado e percebido.

Os jogos apresentados neste livro – **Paleodetetive**, **Ciclo das Rochas**, **Tafonogame**, **Extinta** e **Paleocombate**, entre outros - se enquadram no conceito de "jogos como sistema de regras" (vide classificação de Kishimoto, 1996), onde existe interação entre estas e o prazer de jogar **(Figura 1)**. Do mesmo modo, se enquadram na classificação de jogos de fixação de conceitos (vide Grando, 2005).

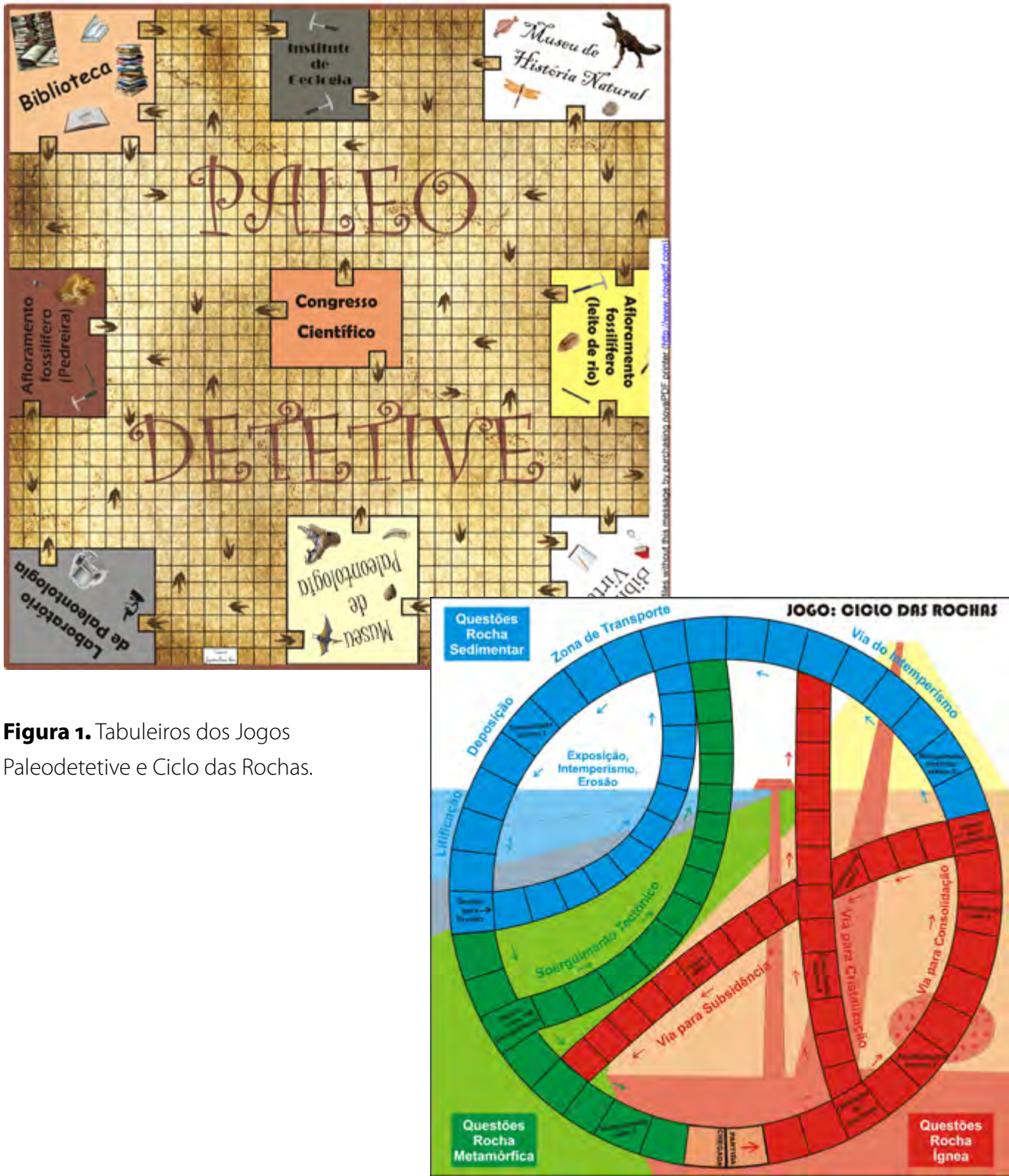


Figura 1. Tabuleiros dos Jogos Paleodetetive e Ciclo das Rochas.

REFERÊNCIAS

BEMVENUTI, A. 2008. O lúdico na prática pedagógica. Faculdades Luteranas do Brasil, Ed. IBPEX, 217p.

BORGES, G. L. de A. 2000. Formação de professores de Biologia, material didático e conhecimento escolar. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, Tese de Doutorado.

BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO. 1997. Secretaria da Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais de Ciências Naturais e Biologia. Brasília: MEC/SEF.

CONSTANTE, A. & VASCONCELOS, C. 2010. Actividades lúdico-práticas no ensino da geologia: complemento motivacional para a aprendizagem. Terrae Didatica 6(2):101-123.

DOHME, V. 2003. Atividades lúdicas na educação. Rio de Janeiro: Vozes.

GRANDO, R. 1995. O jogo e suas possibilidades metodológicas no processo ensino-aprendizagem da matemática. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Dissertação de Mestrado.

KISHIMOTO, T. 1996. Jogo, Brinquedo, Brincadeira e Educação. São Paulo: Ed. Cortez.

MIRANDA S. 2001. No fascínio do jogo, a alegria de aprender. Ciência Hoje 28(168): 64-66.

NEVES, J. P.; CAMPOS, L. M. L. & SIMOES, M. G. 2008. Jogos como recurso didático para o ensino de conceitos paleontológicos básicos aos estudantes do ensino fundamental. Terr@Plural 2:103-114.

SCHWANKE, C. & SILVA, M. A. J. 2004. Educação e Paleontologia. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia. 2ª ed., v.2., Rio de Janeiro: Interciência, p. 123-130.

VALENZUELA, A. V. 2005. O jogo no ensino fundamental. In: J. A. M. MURCIA et al. (orgs.), Aprendizagem através do jogo. Porto Alegre: Artmed.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Jogo Ciclo das Rochas
Jogo Navegator 100
Jogo Vida em Camadas
Jogo A viagem do Beagle
Jogo Corrida Paleontológica
Jogo Paleocombate
Extincta: jogo das extinções
Tafonogame: o jogo da fossilização
Jogo Paleontológica
Jogo Paleodetetive

VOLTE AO SUMÁRIO

22

PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano
Deusana Maria da Costa Machado
Aline Rocha de Souza Ferreira de Castro

Quando ouvimos a palavra patrimônio, várias ideias nos vêm à cabeça. Cada pessoa relaciona este conceito a diversos elementos que despertam a sensação de serem valiosos ou antigos, dependendo das suas experiências de vida (que tal refletir rapidamente sobre o que você considera como patrimônio?).

Normalmente, as primeiras imagens que surgem são heranças de família, construções antigas (como mansões, palácios, museus) e obras de arte, como pinturas e esculturas de artistas famosos. Estes tipos de objeto são de natureza material, ou seja, podem ser tocados, pois são concretos. Mas também existem patrimônios de natureza imaterial, como lendas, músicas, danças e outras formas de expressão e modos de fazer (artesanatos, comidas, festas) característicos de uma determinada parcela da sociedade, os quais refletem a identidade e a memória dos habitantes de uma região.

VOLTE AO SUMÁRIO

Em nossa atual Constituição (Brasil, 1988), patrimônio é definido como "bens de natureza material e imaterial portadores de referência à identidade, à ação e à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade (...)". Portanto, algo considerado como patrimônio sofreu uma atribuição de valor, ou seja, recebeu uma qualidade que o destacou e diferenciou perante os demais. Por isso, o patrimônio é merecedor de maiores esforços para conservá-lo, a fim de que várias gerações também possam conhecê-lo.

A diversidade de significados comentada acima ocorre pela propriedade do patrimônio de refletir o real, como se fosse um espelho onde são projetadas as atribuições de valores e as relações que cada grupo social estabelece com a sua produção cultural ou com a natureza (Scheiner, 2006). Considerando uma divisão muito utilizada nos estudos de patrimônio, apenas para organizar o turbilhão de ideias em nossa cabeça, podemos classificar o patrimônio de duas formas: (a) patrimônio cultural (que inclui os elementos relacionados à produção cultural, como o patrimônio histórico, arquitetônico, artístico e arqueológico) ou (b) patrimônio natural (que abrange os elementos da natureza, sendo subdividido em patrimônio paleontológico, geológico, biológico, genético e ambiental).

A noção de **natureza enquanto patrimônio** é relativamente recente quando comparada à conscientização e desenvolvimento de políticas públicas para a proteção ao patrimônio cultural. Em outras palavras, muitas pessoas ainda não sabem o quanto o patrimônio natural é importante! Mas isso já está mudando, e com o aumento da conscientização sobre a importância da biodiversidade, a diversidade de elementos geológicos (denominada geodiversidade) também começou a ser valorizada como patrimônio nos últimos anos.

De um modo geral, a geodiversidade é definida como a variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos que originam fósseis **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**, **minerais, rochas** **(ver capítulo O CICLO DAS ROCHAS)**, paisagens, solos e outros depósitos que são o suporte da vida na Terra (modificado de Brilha, 2005). Um marco importante para a divulgação do valor da geodiversidade foi a elaboração da **Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra**, que resume esta transformação de valores com a frase: "O passado da Terra não é menos importante que o passado dos seres humanos. Chegou o tempo de aprendermos a protegê-lo, e protegendo-o, aprenderemos a conhecer o passado da Terra".

Como vimos, são muitos os elementos que integram o vasto universo da geodiversidade, mas neste momento vamos nos deter nos fósseis para entender a importância da conservação desses organismos e seus vestígios petrificados. O patrimônio paleontológico (que trata especificamente dos elementos relacionados ao material fóssil) é uma subdivisão do patrimônio geológico (que considera todos os componentes da geodiversidade). Em ambos os casos, só são selecionados como patrimônio os elementos da geodiversidade considerados excepcionais, pois o desenvolvimento de nossas sociedades depende direta ou indiretamente da extração e do uso de diversos componentes da geodiversidade. Já parou para pensar o quanto de geodiversidade, de forma direta ou indireta, **tem na sua casa**?

E então, vamos nos aprofundar um pouco mais no maravilhoso mundo do patrimônio paleontológico?

QUAIS SÃO OS TIPOS DE PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO?

Sem dúvida, os fósseis são a grande estrela do patrimônio paleontológico, mas eles não estão sozinhos. Como assim? Pois é, pode parecer estranho; porém; quando começamos a conhecer mais de perto todo o contexto dos trabalhos realizados com fósseis; percebemos que existem outras possibilidades a serem consideradas.

Figura 1. Afloramento fossilífero da Formação Pimenteira no município de Picos, Estado do Piauí (Km 318 da BR-316). Foto: Luiza Ponciano.

Figura 2. Afloramento fossilífero da Formação Pimenteira no município de João Costa, Estado do Piauí (PI-466/km 12). Foto: Luiza Ponciano.

Por isso, vamos separar a análise do patrimônio paleontológico em *in situ* e *ex situ*, além de incluir os documentos e outros itens relacionados aos fósseis (Ponciano *et al.*, 2011).

O patrimônio paleontológico *in situ* corresponde ao conjunto de lugares de uma determinada região, que chamamos de **afloramentos, sítios ou depósitos fossilíferos**, onde os fósseis ainda podem ser encontrados nas suas localidades de origem. Como já vimos em outros capítulos, os afloramentos fossilíferos são muito importantes sob os pontos de vista científico, didático, cultural e estético **(Figuras 1, 2 e 3)**.

Figura 3. Afloramento fossilífero do Membro Passagem no município de Pimenteiras, Estado do Piauí (Rio Banguê). Foto: Luiza Ponciano.

Já o patrimônio paleontológico *ex situ* é composto pelos fósseis que foram retirados das suas localidades de origem para integrarem coleções científicas de **instituições de pesquisa**, como **museus** e **universidades** **(Figuras 4, 5 e 6)**.

Mas será só isso? É difícil lembrar as outras possibilidades num primeiro momento, mas os dados relacionados à coleta, à guarda e ao estudo do material fossilífero também podem ser considerados patrimônio. Mas não são todos os elementos, senão apenas os mais notáveis, de acordo com os critérios científico, didático, cultural, estético, entre outros. Achou difícil? É só pensar numa fotografia sua com alguém que você goste muito. Essa foto é importante pra você? Claro que sim! Porém uma foto de pessoas desconhecidas não terá o mesmo valor nem a mesma importância para você. Se você tivesse que escolher apenas uma foto para guardar, usando o critério afetivo, você obviamente preservaria a sua foto com pessoas queridas. Com o patrimônio paleontológico funciona da mesma maneira, só os critérios utilizados é que são diferentes. Vamos ver alguns exemplos?

Além das coleções científicas de fósseis em universidades, museus, e outros institutos de pesquisa, nós também podemos incluir as publicações científicas (livros e artigos em revistas), os dados científicos não publicados, fotografias, filmes, mapas, as reproduções de fósseis (réplicas, esculturas, desenhos e pinturas) **(Figuras 7, 8, 9 e 10)**, os registros da modificação das teorias sobre como os organismos antigos interagiam com o meio ambiente da época em que viveram **(Figura 11)**, e os instrumentos científicos e laboratórios antigos utilizados no desenvolvimento de estudos geológicos, paleontológicos e em áreas relacionadas. Nossa! Quanta coisa além dos fósseis, não?!

Figura 4. Coleção de Paleontologia do Museu Nacional. Foto: Luiza Ponciano.

Figura 5. Fósseis na coleção de Paleontologia do Museu Nacional. Foto: Luiza Ponciano.

Figura 6. Fóssil de trilobita do afloramento Barreiro Branco (Estado do Piauí) na coleção da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO. Escala = 1 cm. Foto: Luiza Ponciano.

Figura 7. Réplicas de dinossauro e pterossauro da Formação Romualdo, Bacia do Araripe, em exposição no Museu Nacional. Foto: Luiza Ponciano.

Figura 8. Réplica, escultura e pintura de pterossauro da Formação Crato, Bacia do Araripe, em exposição no Museu Nacional. Foto: Luiza Ponciano.

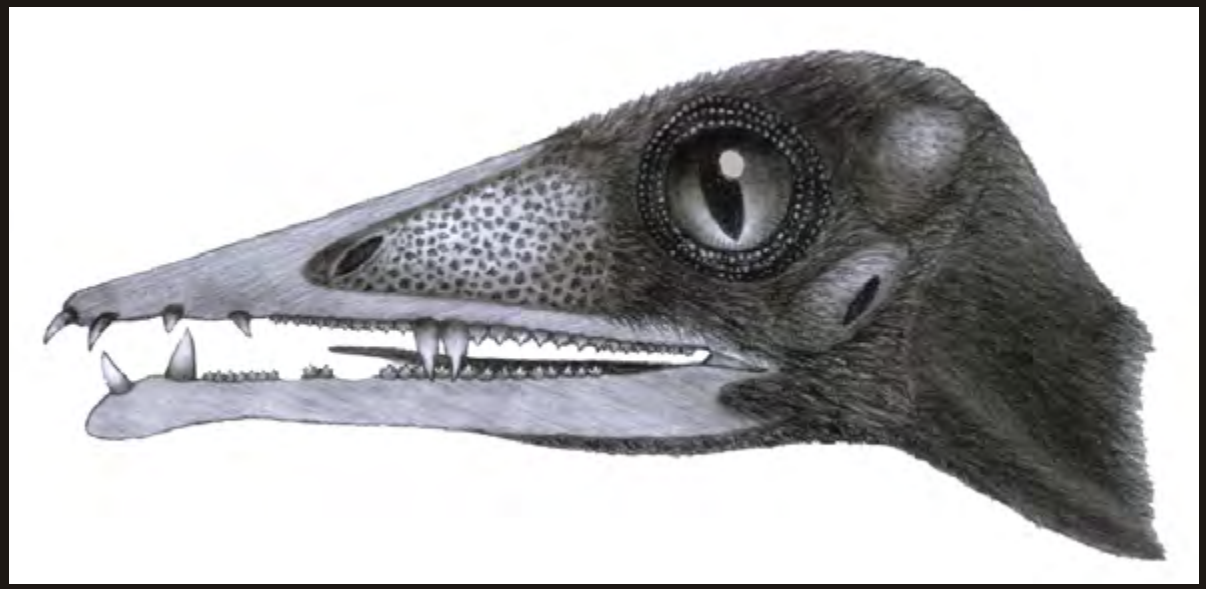


Figura 9. Desenho de reconstituição em vida de pterossauro. Autoria: Luiza Ponciano.

Existem diversas vantagens e desvantagens na conservação *in situ* e *ex situ* do patrimônio paleontológico (Ponciano *et al.*, 2011). Vamos olhar um exemplo? No caso do material *ex situ,* quando os fósseis são retirados do seu afloramento de origem para integrarem as coleções científicas, eles podem ser utilizados em exposições de Paleontologia, auxiliando na divulgação do patrimônio paleontológico nas grandes cidades. Porém, a população do local de origem dos fósseis, que normalmente vive em pequenas cidades ou em regiões rurais no interior do Brasil, permanece sem conhecer o significado e a importância do material coletado ao lado de suas casas. Tomando como exemplo os fósseis de invertebrados do Estado do Piauí, a população que vive literalmente em cima dos afloramentos fossilíferos não tem ideia do que são as "marcas" e "bichinhos incrustados" nas lajes do quintal de suas casas, mas reconhecem sua presença. A retirada de fósseis dessas regiões, quando realizada sem preocupação com a educação e conscientização da comunidade sobre o objetivo científico e didático do trabalho, gera ameaças ao patrimônio paleontológico local. Parte desse patrimônio poderá até ser conservado na coleção da instituição que realizou a coleta, mas, se a população local se sentir injustiçada, os afloramentos podem ser destruídos. Outra ameaça ao patrimônio paleontológico é o crescimento demográfico e urbano, que está cada vez mais intenso no Estado do Piauí, originando uma forte especulação imobiliária principalmente no município de Picos (Souza *et al.*, 2004; Ponciano *et al.*, 2010). Diversos afloramentos fossilíferos já foram destruídos pela construção de casas diretamente sobre os sítios, e pela retirada de material para uso na construção civil e como aterro para áreas alagáveis (como os buritizais e as planícies de inundação e leito dos rios), além da modificação de antigas estradas de terra, cujas margens e leito também eram sítios fossilíferos **(Figuras 12, 13 e 14)**.

Nas regiões rurais, a apropriação indevida de terras públicas ao longo da margem das estradas também constitui ameaça em potencial aos afloramentos, pois os pesquisadores perdem o acesso aos sítios fossilíferos.

Você sabe quais são as outras ameaças ao nosso patrimônio? Veja a seguir!

Figura 10. Desenho de reconstituição em vida de invertebrados que habitaram o ambiente marinho da Bacia do Amazonas durante o Devoniano. Autoria: Luiza Ponciano.

Figura 11. Desenho com interpretação antiga do hábito de vida dos grandes dinossauros saurópodes, considerados de hábitos "anfíbios" em teorias científicas anteriores. Em exposição no Museu de História Natural de Paris. Foto: Luiza Ponciano.

Figura 12. Morros no centro da cidade de Picos, estado do Piauí completamente cobertos pelas construções sobre os afloramentos fossilíferos da Formação Pimenteira. Foto: Luiza Ponciano.

Figura 13. Buritizal sendo aterrado com o material fossilífero da Formação Pimenteira, próximo ao centro de Picos. Foto: Luiza Ponciano.

Figura 14. Aterro do Rio Guaribas com o material fossilífero da Formação Pimenteira, próximo ao centro de Picos. Foto: Luiza Ponciano.

AMEAÇAS AO PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

Agora que já conhecemos todos os elementos que podem ser considerados patrimônio paleontológico, vamos analisar quais são os tipos de ameaças que podem destruí-los? Infelizmente são muitas! Mas a boa notícia é que você pode contribuir para evitar que essas ameaças aconteçam! Divulgue as informações desse livro com outras pessoas da sua escola, vizinhos, amigos e familiares! Compartilhe seus novos conhecimentos e faça a sua parte na conservação do patrimônio paleontológico! Atualmente, os conhecimentos geológicos e paleontológicos estão sendo mais divulgados através de filmes, séries de televisão, revistas e jornais. Entretanto, a maioria da população brasileira ainda não está familiarizada com os assuntos tratados pela Geologia e Paleontologia, pois o contato dos alunos com essas disciplinas na escola ainda é muito superficial.

Como vimos, o processo de formação dos fósseis é muito complexo **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**. Eles são a exceção à regra, pois conseguiram escapar de parte do ciclo natural de decomposição dos restos orgânicos, que destrói completamente a maioria dos organismos. Este ciclo de decomposição é formado por um conjunto de processos que podemos comparar com os grandes sistemas de **reciclagem** que buscam reaproveitar vários tipos de materiais que usamos muito hoje em dia. Por exemplo, mesmo que se tentasse reciclar todas as latas de alumínio do mundo, desvios na coleta e processamento das latas permitiriam que algumas conseguissem escapar do ciclo. Portanto, mesmo que não ocorra mais a produção de novas latas, algumas latas antigas (ou partes delas) ainda poderiam ser encontradas, porém em uma quantidade muito menor que a anterior. O registro fóssil pode ser comparado com essas latas que sobraram, pois ele se forma justamente quando, após a morte dos organismos, a transformação ou reciclagem dos restos orgânicos não é completa.

Portanto, os fósseis são um recurso natural, não renovável e de ocorrência restrita a localidades cujo acesso só se torna viável quando voltam a alcançar a superfície dos atuais continentes, após permanecerem soterrados por milhares, milhões e até bilhões de anos. Porém, apesar de serem tão raros, eles estão sujeitos a diversos tipos de ameaças, como as coletas ilegais para fins não científicos (comércio de fósseis, coleções particulares e destruição de afloramentos por vandalismo). Você sabia que vender fósseis no Brasil é crime? Mas esse é só um entre muitos outros problemas. Também podemos listar o crescimento demográfico e urbano, como vimos acima no exemplo do Piauí; o aumento da extração de recursos geológicos para diversos usos; a construção de grandes obras e estruturas; a gestão de bacias hidrográficas (que podem causar o alagamento de regiões com fósseis); as atividades turísticas e militares; os desmatamentos, a agricultura e a pecuária intensivas, e por fim a falta de recursos para a conservação da maioria dos documentos, equipamentos e coleções científicas dos museus, universidades e outros institutos de pesquisa no Brasil.

Devido ao aumento das ameaças, várias estratégias de conservação estão sendo desenvolvidas e aplicadas ao nosso patrimônio paleontológico, e a legislação brasileira sobre este assunto também está sendo atualizada. Esses são os assuntos que vamos analisar nos próximos tópicos!

ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO BRASILEIRO

A proteção do nosso patrimônio paleontológico pode ocorrer através de diversos mecanismos, como a elaboração e aplicação de legislações (leis, decretos-lei, portarias e convenções específicas) e pelas instituições de fiscalização e/ou gestão pública como o **DNPM** (Departamento Nacional de Produção Mineral); o **IBAMA** (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis); o **ICMBio** (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade); o **IPHAN** (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) e a **UNESCO** (Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura).

Portanto, há essencialmente quatro maneiras de promover a proteção aos afloramentos (em superfície) e depósitos fossilíferos (em subsuperfície). A primeira é a designação como área de proteção; a segunda é a realização de tombamento; a terceira é o reconhecimento como patrimônio mundial, e a quarta são os **Geoparques**.

No Brasil, a criação de áreas protegidas representa uma das estratégias encontradas para a preservação e conservação do patrimônio palentológico em seu local de origem. Desde a constituição de 1934, vários instrumentos legais foram criados, dentre eles a Lei Federal que instituiu no ano 2000 o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (**SNUC**). Dentre os objetivos do SNUC, está a proteção de paisagens naturais de notável beleza cênica e das características de natureza paleontológica relevantes (Brasil, 2000). De acordo com a maioria dos pesquisadores, de todas as unidades de conservação (UCs) presentes no SNUC, **Parque Nacional** e **Monumento Natural** são as mais adequadas para promover a proteção ao patrimônio paleontológico.

Porém, algumas áreas não se encaixam nas categorias de UCs, apesar de apresentarem grande valor paisagístico e importância para o ambiente urbano. Para esses casos, as estratégias são o **tombamento de bens naturais** e a criação de parques urbanos pelo IPHAN, desde que seja possível qualificá-los sob os aspectos culturais.

Outra opção é o reconhecimento dos nossos sítios paleontológicos como Patrimônio Mundial (ou da Humanidade) pela UNESCO. O Brasil já possui muitos patrimônios com este título, mas eles não foram reconhecidos devido ao seu valor paleontológico excepcional, e sim por outros critérios. Ainda existe um longo caminho a ser percorrido, e a **SIGEP** (Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos) continua a indicar os sítios paleontológicos brasileiros para a **GILGES** (*Global Indicative List of Geological Sites*) da Comissão de Patrimônio Mundial da UNESCO, que tem a finalidade de identificar sítios de extraordinário valor universal.

Desse modo, reconhecendo a importância dos sítios geológicos e paleontológicos, e pelo fato de a geodiversidade não ter sido destacada tanto quanto a biodiversidade, a Rede Mundial de Geoparques complementa a Lista do Patrimônio Mundial. Desde 2006, o **Projeto Geoparques da CPRM** (Serviço Geológico do Brasil) apresenta um importante papel indutor na criação de geoparques em nosso território. Este projeto já definiu 29 áreas com potencial para a criação de geoparques, mas atualmente o Brasil tem apenas um geoparque integrado na Rede Mundial, o **Geoparque Araripe**.

LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE O PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

No Brasil, os fósseis e depósitos ou afloramentos fossilíferos são considerados bens do país, ou seja, patrimônio de todos nós, sendo protegidos por leis, decretos-lei, portarias e convenções específicas que regulamentam as questões fossilíferas. Veja abaixo **(Quadro 1)** a lista com diversos textos legislativos que estão relacionados de diferentes formas com a proteção aos fósseis brasileiros.

No **Decreto-Lei 4.146 de 1942** os depósitos fossilíferos foram pela primeira vez mencionados como propriedade do povo brasileiro e, uma vez assim designados, a coleta dos fósseis dependerá de autorização prévia do Departamento Nacional de Produção Mineral/DNPM, que também deverá fiscalizar os jazigos (Brasil, 1942). Na **Constituição de 1988** os fósseis foram abarcados dentro de recursos minerais nos artigos 20, 23 e 24, demonstrando que a proteção do subsolo é de responsabilidade do governo federal. No artigo 216, os sítios paleontológicos também são mencionados claramente como patrimônio, e a sua preservação é considerada uma obrigação do poder público, ou seja, de nossos governantes e também de todos nós (Brasil, 1988).

Para finalizar, vamos voltar a analisar aquelas divisões do patrimônio, no início do capítulo. Lembra que nós separamos os diferentes tipos de patrimônio, só para organizar todas aquelas ideias novas? Isso porque a divisão em cultural e natural é apenas uma forma de facilitar os estudos, divulgação e conservação do patrimônio, mas na realidade todos os componentes e subdivisões podem ser reunidos no conceito que é conhecido como **patrimônio integral**. Esta visão mais abrangente considera como patrimônio o conjunto de todos os bens naturais ou criados pelo homem, sem limite de tempo ou de lugar.

Consequentemente, o patrimônio paleontológico também é considerado parte do patrimônio cultural brasileiro, representando uma apropriação cultural e, ao mesmo tempo, uma unidade conceitual. Isto significa que, na legislação brasileira, as categorias naturais sempre estiveram contempladas na preservação do patrimônio cultural (Souza *et al*., 2007).

Quadro 1. Legislações relacionadas ao patrimônio paleontológico brasileiro em ordem cronológica. Veja no **Portal da Legislação** e no **site DNPM** os textos completos.

Artigos 10 e 148 da Constituição de 1934
Artigo 134 da Constituição de 1937
Decreto-Lei Nº 25 de 30 de novembro de 1937
Decreto-Lei Nº 3.689 de 3 de Outubro de 1941
Decreto-Lei Nº 4.146 de 4 de março de 1942
Artigo 175 da Constituição de 1946
Artigo 180 da Constituição de 1967
Decreto-Lei Nº 227 de 28 de fevereiro de 1967
Artigo 180 da Constituição de 1969
Decreto Nº 72.312 de 31 de maio de 1973
Decreto Nº 80.978 de 12 de dezembro de 1977
Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981
Lei Nº 7.347 de 24 de julho de 1985
Artigos 20, 23, 24 e 216 da Constituição de 1988
Lei N° 7.804 de 18 de julho de 1989
Convenção sobre a salvaguarda do Patrimônio Mundial, adotada pelo Brasil em 1989
Decreto Nº 98.830 de 15 de janeiro de 1990
Portaria MCT Nº 55 de 14 de março de 1990
Lei Nº 8.176 de 08 de fevereiro de 1991
Portaria MME Nº 42 de 22 de fevereiro de 1995
Lei Nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998
Decreto Nº 3.166 de 14 de setembro de 1999
Lei Federal N° 9.985 de 18 de julho de 2000
Portaria DNPM Nº237 de 18 de outubro de 2001
Lei Estadual Nº 11.738/02 de 13 de dezembro de 2001
Portaria DNPM Nº 385/2003
Lei Nº 11.046 de 27 de dezembro de 2004
Ofício DECEX/COORD-2006/390 de 26 de junho de 2006 - DNPM
Portaria SECEX Nº 25 de 27 de novembro de 2008 - DNPM
Decreto Nº 7.092 de 02 de fevereiro de 2010
Parecer Nº 107/2010/FM/PROGE/DNPM de 05 de abril de 2010

REFERÊNCIAS

BRASIL. 1942. Decreto-lei nº 4146 de 4 de março de 1942. Disponível em: http:// www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84 &IDLegislacao=2.

BRASIL. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/ Constitui%C3%A7ao.htm.

BRASIL. 2000. Lei nº 9.985 de julho de 2000. Disponível em: http:// www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm.

BRILHA, J. B. R. 2005. Património geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga: Palimage Editores, Lisboa, Portugal, 190p.

PONCIANO, L. C. M. O.; FONSECA, V. M. M.; FERNANDES, A. C.S .; MACHADO, D. M. & SOUZA, A. R. 2010. Afloramento Fossilífero de Oiti, Bacia do Parnaíba,PI-Registro de um mar devoniano no Nordeste do Brasil. In: M. WINGE et al. (orgs.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, vol. 3. Disponível em: http://vsites.unb.br/ig/sigep/sitio051/sitio051.pdf

PONCIANO, L. C. M. O.; CASTRO, A. R. S. F.; MACHADO, D. M. C.; FONSECA, V. M. M. & KUNZLER, J. 2011. Patrimônio Geológico-Paleontológico in situ e ex situ: definições, vantagens, desvantagens e estratégias de conservação. In: I.S. CARVALHO et al. (orgs.). Paleontologia: Cenários de Vida. Rio de Janeiro: Interciência, v. 4.

SCHEINER, T. C. M. 2006. Sob o signo do patrimônio: museologia e identidades regionais. In: H. COSTA; N. DECAROLIS & T. SCHEINER (eds.). Museologia e o Patrimônio Regional. Rio de Janeiro: Tacnet Cutural Ltda.

SOUZA, A. R.; MACHADO, D. M. C.; FERREIRA, M. F. A.; MACHADO, V. D.; PINTO, F. M.; SILVA, C. F. & FONSECA, V. M. 2004. Afloramento do Km 305 da BR-316, município de Picos, Piauí (Formação Cabeças, Devoniano) – Um típico problema de patrimônio fossilífero. In: I JORNADA FLUMINENSE DE PALEONTOLOGIA, Boletim da Sociedade Brasileira de Paleontologia - Núcleo RJ/ES, Rio de Janeiro.

SOUZA, A. R.; MACHADO, D. M. C.; PONCIANO, L. C. M. O.; FARIA, A. C. G.; VIEIRA, A. C. M. & PINTO, F. M. 2007. Geoconservação: a preservação e valorização do patrimônio geológico. In: I.S. CARVALHO et al. (orgs.). Paleontologia: Cenários de Vida. 1ª ed, Rio de Janeiro: Interciência, v. 2., p. 79-88.

ATIVIDADES VINCULADAS AO CAPÍTULO

Descobrindo o patrimônio paleontológico
Debate sobre o patrimônio paleontológico da Bacia do Araripe
Pesquisa sobre o patrimônio paleontológico

PARTE II
PRÁTICAS EM SALA DE AULA

VOLTE AO SUMÁRIO

1

O TANQUE DE FOSSILIZAÇÃO

Marcello Guimarães Simões
Sabrina Coelho Rodrigues

Nessa atividade prática, os estudantes terão a oportunidade de acompanhar as diferentes fases que compreendem o processo de fossilização.

OBJETIVO

Familiarizar-se com as fases do processo de fossilização, principalmente a morte, a necrólise, a dispersão e o soterramento; compreender a importância da presença das partes duras nos organismos para a probabilidade de fossilização; discutir os processos naturais que podem contribuir para a destruição dos restos orgânicos, antes deles se tornarem fósseis; entender os possíveis efeitos destorcidos causados pelos processos acima, no registro fóssil, tornando-o um documentário incompleto da vida pré- histórica.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Grupos de 5 alunos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

60 minutos semanais, durante 4 semanas.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O professor e os alunos deverão estar familiarizados com os seguintes temas: rochas sedimentares, deposição de camadas sedimentares **(ver capítulo O CICLO DAS ROCHAS)**, processo de fossilização, potencial de fossilização de tecidos ou partes moles, potencial de fossilização de partes duras (conchas e ossos) , etapas da fossilização **(ver capítulo FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO)**, tafonomia, tipos de morte, necrólise, desarticulação e dispersão dos restos orgânicos, soterramento, e registro fóssil **(ver capítulo TAFONOMIA:O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?)**.

MATERIAL

Um aquário vazio ou uma bacia grande; aproximadamente 5kg de areia de construção (suficiente para encher o recipiente, aquário, bacia, balde); 2 flores viçosas, coloridas, ainda com suas pétalas; 2 galhos pequenos com folhas; 2 cebolas (uma inteira e a outra cortada ao meio); 2 pepinos (um inteiro e o outro cortado ao meio); conchas de praia ou de rio, mortas e vazias; 1 colher ou espátula; 5 palitos de sorvete; 1 cartolina, tesoura, cola e caneta; caderno de anotações; local adequado (beiral de janela, sacada), seguro, para deixar o experimento exposto ao tempo, por 4 semanas.

PROCEDIMENTO

Essa atividade foi planejada para ser realizada ao longo de, no mínimo, 4 semanas, utilizando-se uma hora a cada semana. É importante que durante as semanas de acompanhamento, ou
seja, na segunda e na terceira semanas, o professor direcione, a cada grupo de alunos, questões referentes às fases do processo de fossilização. Algumas das questões que podem ser utilizadas pelo professor são mencionadas abaixo, no item questões para discussão.

DESENVOLVIMENTO

Semana 1: Divida a sala de aula em 5 grupos de alunos. Idealmente, recomenda-se que os grupos contenham até 5 alunos, entretanto, não há limite para o número máximo de alunos. Note que há 5 grupos de objetos a serem trabalhados: (1) flores, (2) galhos, (3) cebolas, (4) pepinos e (5) conchas. Ao longo de toda a atividade, cada grupo de alunos será responsável por um dos 5 objetos, a ser sorteado pelo professor.

O professor deverá preencher um recipiente vazio (aquário, bacia, balde) até a metade, com areia. Nessa etapa, o professor poderá recordar com os alunos os conceitos de rochas sedimentares e formação das camadas e estratos nessas rochas. Cada grupo de alunos, responsável por determinado resto orgânico (grupos 1 a 5), deverá anotar as principais características observadas nos grupos de organismos, tais como presença de coloração e detalhes morfológicos e da estrutura (dureza do esqueleto, partes articuladas, presença ou ausência de uma camada dura protetora). A seguir, cada grupo irá soterrar no recipiente, o seu resto orgânico, com o restante da areia. Essa prática deverá ser realizada fora da sala de aula, a fim de que o tanque de areia com os restos orgânicos soterrados permaneça sob a ação da chuva, do sol e do vento.
Ao final do soterramento, serão confeccionadas placas de identificação em cartolina e palitos de sorvete. Essas placas conterão a identificação apropriada do material soterrado. Importante, o palito de identificação deverá ser colocado na areia de modo a demarcar a região onde o determinado resto orgânico foi soterrado. As fases do soterramento e da identificação deverão ser feitas pelos grupos independentemente, de modo que o grupo das flores possa acompanhar o grupo das conchas e todos os demais, sucessivamente.

Semana 2: Com a supervisão do professor, cada grupo deverá observar o tanque de fossilização, certificando-se que as identificações estejam nos locais colocados na primeira semana. Caso alguma identificação tenha sido perdida, nova identificação deverá ser providenciada, a fim de que cada grupo saiba a região onde enterrou seus restos. Nessa fase, o professor deverá conduzir uma discussão entre os grupos, questionando o que cada um espera encontrar

de seus restos, após 1 semana. Estarão eles todos alterados? O processo de decomposição já começou? Considerando as fases de fossilização, o que se espera das flores? E dos galhos, cebolas, pepinos e conchas? Note que essas questões são apenas para discussão, pois não haverá exumação dos materiais nessa fase. Em outras palavras, o material permanecerá enterrado. As expectativas discutidas deverão ser anotadas por grupo e retomadas após a quarta semana.
Anotar também possíveis alterações no recipiente, causadas pela chuva (se houver), pela presença de insetos e etc.

Semana 3: Nova visita ao tanque de fossilização sob a supervisão do professor. As expectativas anotadas pelos grupos na segunda semana devem servir agora de ferramenta para o professor discutir os conceitos tafonômicos de necrólise, dispersão e desarticulação. Pergunta-se, mesmo após o soterramento, os processos de necrólise, dispersão e desarticulação podem atuar? Se sim, deverão atuar igualmente entre os diferentes grupos soterrados?

Semana 4: É chegada a hora de desenterrar os restos. Sob a coordenação do professor, cada grupo deverá cavar com a colher ou espátula cuidadosamente a areia na região onde enterraram os restos. Um pincel macio, com cerca de 3 cm de largura pode auxiliar nessa tarefa. Os restos encontrados deverão ser retirados e separados para discussão. Após a retirada de todos os restos, nova descrição deverá ser feita, considerando os seguintes pontos para discussão:
(1) Todos os restos foram encontrados?
(2) Para o grupo das flores e dos galhos, as pétalas ou folhas ainda permanecem conectadas, articuladas?
(3) Para o grupo das cebolas e dos pepinos, há diferença entre os inteiros e os enterrados cortados ao meio?
Procure trabalhar o que aconteceria se o organismo enterrado fosse um invertebrado desprovido de concha ou qualquer parte esqueletal dura (por exemplo, uma medusa, um pepino-do-mar, uma minhoca, um molusco sem concha). Caso diferenças entre as metades e os pepinos inteiros tenham sido notadas, discuta o papel da camada protetora (casca ou concha) na preservação dos restos orgânicos.
(4) Para o grupo das conchas, alguma modificação foi observada?
(5) A coloração está mantida?

O professor deverá retomar as diferentes fases de fossilização enfocando o potencial de fossilização de tecidos ou partes moles e o potencial de fossilização de partes duras (conchas) e as alterações na cor e morfologia dos restos.

A HISTÓRIA DE UM FÓSSIL

2

Cristina Bertoni-Machado

OBJETIVO

Desde a morte de um organismo, sucedem-se vários eventos até que ele se transforme em um fóssil. O objetivo deste exercício é fornecer um entendimento sobre estes eventos através da "história" de um fóssil de peixe.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos iniciais).

MODALIDADE

Grupos de 3 alunos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 min.

MATERIAL

12 cartões contendo figuras e textos explicativos ilustrando "A História de um Fóssil" **(Figura 1)**; cartolina; tesoura; cola em bastão.

PROCEDIMENTO

1) Recortar as figuras do digrama a História de um Fóssil.

2) Colar na cartolina, lado a lado, cada figura com seu texto correspondente, de acordo com a sequência correta dos acontecimentos.

Um paleontólogo reconhece o fóssil e inicia cuidadosamente o trabalho de coleta, com o uso de ferramentas adequadas.

Figura 1. Exemplos de cartões para recortar, ilustrando a atividade A história de um fóssil. Fonte: http://www.discoveringfossils.co.uk/whatisafossil.htm (modificado).

VOLTE AO SUMÁRIO

DIFERENÇAS ENTRE UM FÓSSIL E UM ORGANISMO ATUAL

Cristina Silveira Vega
Eliseu Vieira Dias

OBJETIVO

Introduzir o conceito de fossilização e caracterização de um fóssil.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos iniciais).

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MODALIDADE

Individual ou em dupla.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

1) Observe as duas figuras a seguir **(A e B)**. Uma representa uma concha de molusco fossilizada, a outra mostra a concha de um molusco atual. As escalas estão em centímetros (cada retângulo, preto ou branco, é igual a 1 cm).

2) Liste todas as semelhanças que você consegue observar entre os dois organismos.

3) Liste todas as diferenças que você consegue observar entre os dois.

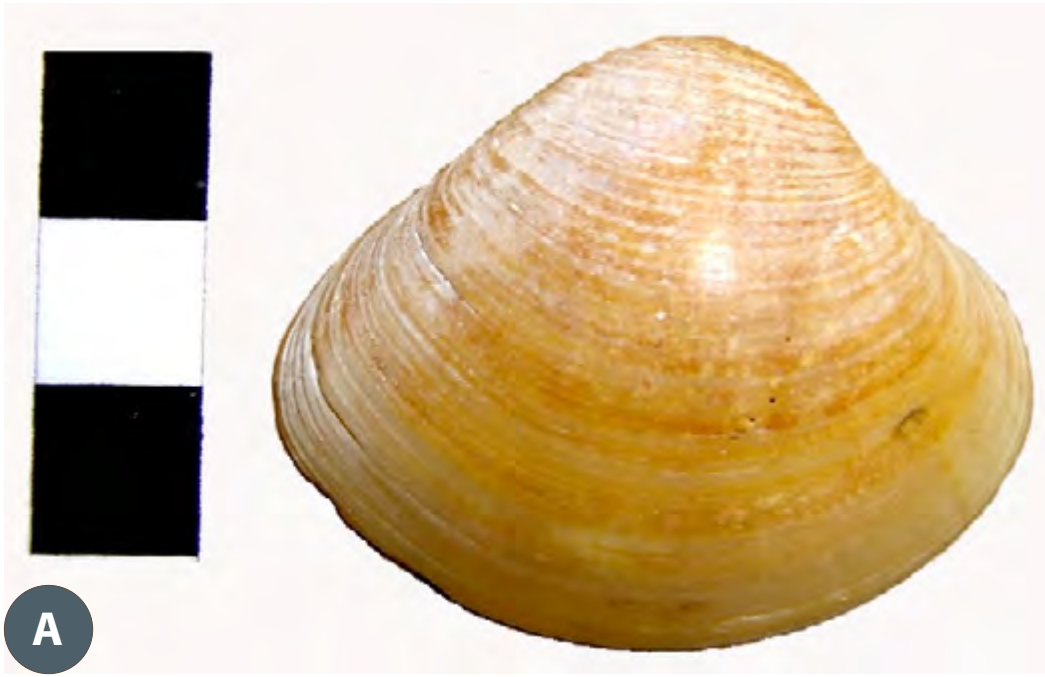
VOLTE AO SUMÁRIO

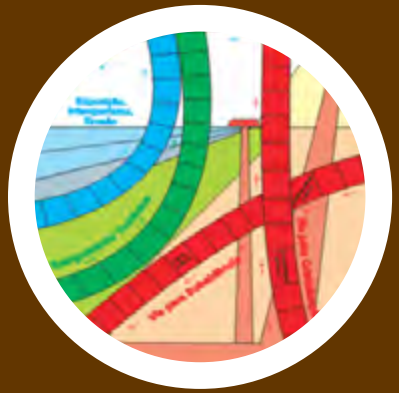
Responda

a) Qual é o fóssil e qual é o organismo atual?

b) Quais foram as características observadas que fizeram com que você diferenciasse o fóssil do organismo atual?

c) Se enterrarmos um animal no quintal de casa, daqui a 10 anos poderemos considerá-lo um fóssil? Justifique sua resposta.





JOGO CICLO DAS ROCHAS

Marcello Guimarães Simões
Jacqueline Peixoto Neves
Suzana Aparecida Matos da Silva

INTRODUÇÃO

Nesta atividade é apresentado o jogo de tabuleiro, denominado Ciclo das Rochas, uma representação esquemática dos processos (ex: magmatismo, intemperismo, metamorfismo, etc.) e produtos (rochas) resultantes do dinamismo existente na Terra, como fruto da interação dos fenômenos operantes nas geoesferas terrestres (litosfera, hidrosfera, atmosfera, biosfera). É através deste ciclo que as rochas presentes na litosfera terrestre mudam de uma classe genética a outra (rochas magmáticas, sedimentares e metamórficas). As transformações decorrem de um conjunto de fenômenos físico-químicos que está relacionado à dinâmica interna (tectônica) e externa (intemperismo e erosão) do planeta. Portanto, o jogo Ciclo das Rochas favorece a compreensão e o domínio dos processos e fenômenos atuantes na Terra e que são responsáveis pela formação, transformação e destruição dos diferentes tipos de rochas.

O jogo Ciclo das Rochas está fundamentado no conhecimento de que as rochas vão se transformando ao longo do tempo geológico, voltando ao ponto de partida. Em outras palavras, o Ciclo das Rochas representa as várias possibilidades de transformação de um tipo de rocha em outro (rocha ígnea para metamórfica, por exemplo). Supostamente este ciclo existe desde os primórdios de formação do planeta Terra. Acredita-se que os processos ígneos estejam no início do ciclo, uma vez que, provavelmente, nas fases iniciais de acreção e consolidação da Terra, a origem das rochas estava relacionada à cristalização de magmas. Concomitantemente, os processos e fenômenos relacionados à Tectônica Global (principalmente subsidência, vulcanismo e soerguimento tectônico) e ao intemperismo conduziram a permanente reciclagem das rochas e de seus respectivos minerais. A aparência da Terra hoje é, em grande parte, fruto destes processos, sendo significativamente diferente do que foi no passado e do que será no futuro.

VOLTE AO SUMÁRIO

O Jogo Ciclo das Rochas, aqui apresentado, é uma versão ampliada, modificada e adaptada do apresentado por Constante & Vasconcelos (2010), e também disponível em **http://goo.gl/FtgkTm**.
Esse jogo foi inicialmente elaborado por Gulcin Cirik, Dave Comstock, Amy Pastor e Elaine Winfrey (**http://goo.gl/fOoogb**).
O jogo Ciclo das Rochas, além de material didático, é um recurso que objetiva a aproximação de alunos de ensino fundamental e médio dos conceitos primordiais da Geologia e que são importantes também para a Paleontologia. O importante aqui é dominar os conceitos relacionados ao Ciclo das Rochas.

OBJETIVO

O jogo foi criado com a finalidade de atuar como recurso didático complementar ao ensino de conceitos geológicos importantes para o ensino de ciências, geografia e paleontologia.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Três equipes com até cinco alunos cada.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Conceitos como tectônica de placas, minerais, tipos de rochas, intemperismo e vulcanismo devem ter sido apresentados anteriormente, mesmo que de forma breve **(ver capítulo O CLICLO DAS ROCHAS).**

MATERIAL

Esse jogo é composto das seguintes partes e peças:

Um **tabuleiro** colorido em tamanho 50x50 cm **(Figura 1)**; 3 conjuntos de Cartões com Perguntas com 8 cartões por conjunto (Figura 2): **magmáticas/Ígneas**, **sedimentares** e **metamórficas**; 1 ampulheta de 30 segundos ou relógio/cronômetro; 3 peões com cores distintas, para simbolizar cada grupo de jogadores; 1 dado comum, de seis lados; cartão com as regras do jogo.

REGRAS DO JOGO

O percurso no tabuleiro do Ciclo das Rochas está dividido em três cores que correspondem às três categorias de rochas: magmáticas/ígneas (vermelho), sedimentares (azul) e metamórficas (verde). Além disso, são indicadas no tabuleiro também informações sobre os processos geológicos ocorrentes ao longo do ciclo.
O objetivo do jogo é atingir (ou ultrapassar) a casa "Chegada", e a primeira equipe que conseguir, vence.
Três equipes devem ser formadas: Verde, Azul e Vermelha.
Os cartões com perguntas devem ser separados pelas cores e colocados em três pilhas com 8 cartões cada (cartas com perguntas de Rochas Magmáticas/Ígneas, Sedimentares e Metamórficas), sobre os retângulos "questões" indicados no tabuleiro.
Três equipes, contendo cada uma delas, no máximo 5 jogadores, devem ser formadas. Cada equipe terá um "porta-voz". Cada equipe escolhe um peão colorido de jogo que a representa, colocando-o no ponto de "Partida". Um jogador de cada equipe lança o dado e a equipe que obtiver o número mais alto inicia o jogo. Um jogador da equipe posicionada à direita da equipe que inicia o jogo retira um cartão da cor vermelha, pois o jogo se inicia com as rochas

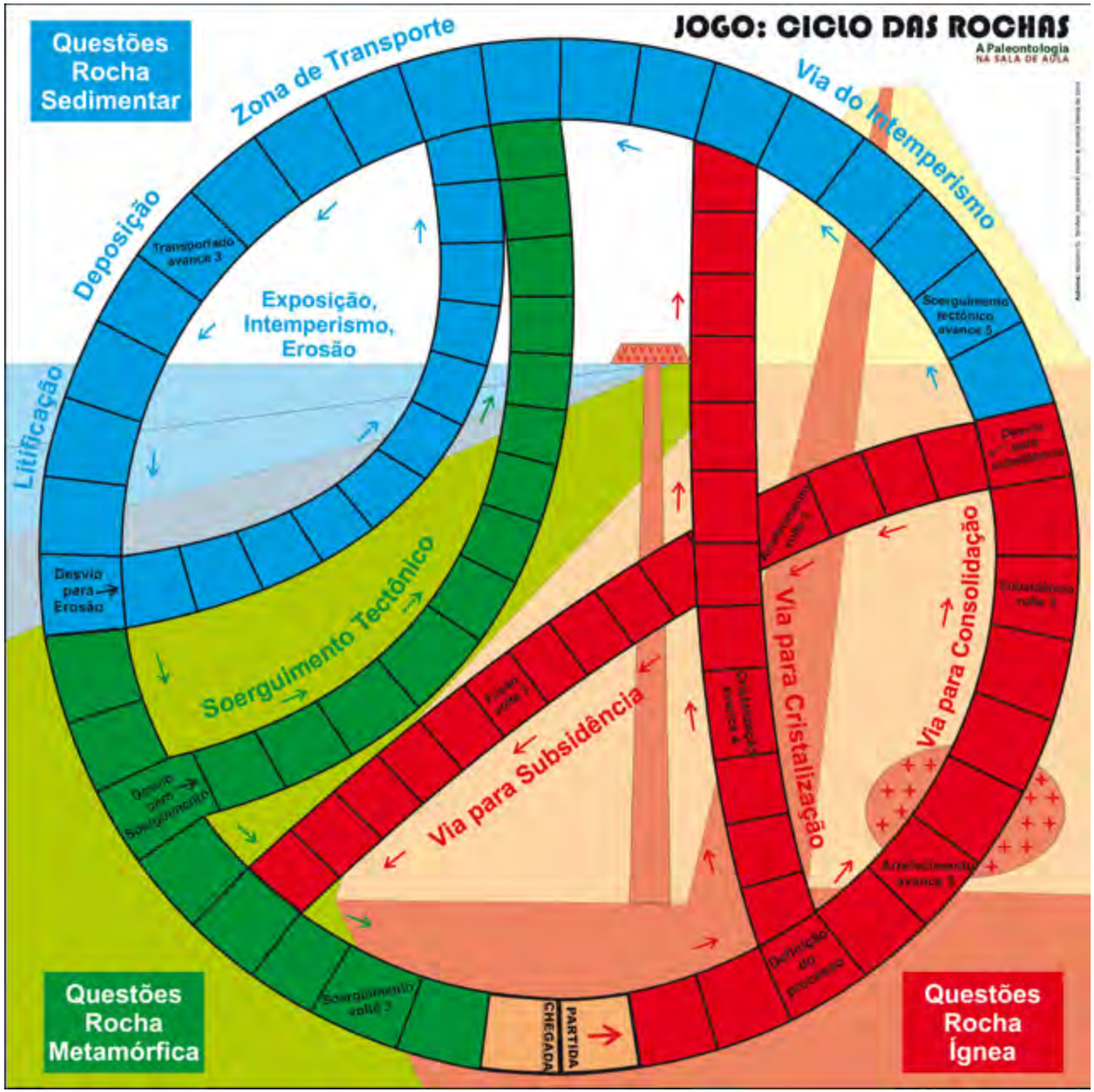


Figura 1. Tabuleiro do Jogo Ciclo das Rochas.

Valor: 3 casas

O basalto é uma rocha magmática extrusiva. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro

Valor: 3 casas

O granito é uma rocha sedimentar química. Verdadeiro ou falso?

Falso: O granito é uma rocha magmática, plutônica.

Valor: 3 casas

Apenas a pressão é responsável pelo metamorfismo das rochas. Verdadeiro ou falso?

Falso: o aumento da pressão e temperatura são responsáveis pelo metamorfismo.

Figura 2. Exemplos de cartas com perguntas.

ígneas, e lê a primeira pergunta. Um jogador da terceira equipe é o "Guarda-Tempo", que conta o tempo quando a pergunta é lida, fazendo girar a ampulheta de 30 segundos ou contando no relógio. Quando o tempo termina, ele anuncia: "Tempo". Nessa altura do jogo, o porta-voz da equipe que está com a vez da jogada tem de responder a pergunta. Só a resposta dada pelo porta-voz será válida! Se a equipe responder corretamente, lança o dado e avança o número de casas correspondentes ao número revelado pelo dado. Se responder incorretamente a equipe permanecerá na mesma casa.

Depois de a jogada estar concluída, o leitor da pergunta retira o cartão lido de cima da pilha dos Cartões de Perguntas e coloca-o no final da pilha.

A ordem das jogadas deve seguir o sentido horário.

No tabuleiro existem três tipos de casas com instruções: (a) Casas de **"avanço/recuo"**: por exemplo, se a equipe cai numa casa que diz "Aquecimento avance 3", então ela deverá mover o seu peão 3 casas em frente, antes que seja a vez do próximo jogador; (b) Casas de **"desvio"**: por exemplo, ao chegar à casa **"desvio para subsidência"**, a equipe é obrigada a percorrer o trajeto de Via para Subsidência nas próximas jogadas; (c) Casa "**escolha de direção**": por exemplo, ao passar pela casa "**definição do processo**", as equipes podem optar pelo trajeto a ser seguido. Quando os trajetos **"desvio para subsidência"** e o **"cristalização"** se cruzam, os jogadores devem seguir no sentido que foi escolhido.

REFERÊNCIA

CONSTANTE, A. & VASCONCELOS. C. 2010. Actividades lúdico-práticas no ensino da geologia: complemento motivacional para a aprendizagem. Terrae Didatica 6(2):101-123.

A TECTÔNICA DE PLACAS

COMO BASE PARA A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO GEOCIENTÍFICO E O ENTENDIMENTO DA TERRA ENQUANTO UM PLANETA DINÂMICO

Marcello Guimarães Simões
Suzana Aparecida Matos
Jacqueline Peixoto Neves

A teoria da Tectônica de Placas ou Tectônica Global, inserida nas Ciências da Terra, apresenta grande importância para entendermos o funcionamento dinâmico de nosso planeta, em especial a interação entre as diversas esferas ou subsistemas terrestres **(ver capítulo O CICLO DAS ROCHAS)**. Ela nos ajuda a compreender quais processos e fenômenos são responsáveis pelas contínuas mudanças e transformações que ocorrem tanto no interior, quanto na superfície do planeta. Muitos processos geológicos que podem ser observados na superfície terrestre, como, por exemplo, os terremotos, tsunamis e vulcanismo, são explicados pela teoria da Tectônica de Placas. É importante observar e ter em mente que estas feições e processos geológicos não ocorrem ao acaso, em nosso planeta. Então, por que algumas regiões estão mais propícias a sofrerem terremotos, a apresentarem vulcões e/ou cadeias de montanhas, do que outras? Para entender melhor isso é preciso saber que os seres vivos vivem sobre placas

VOLTE AO SUMÁRIO

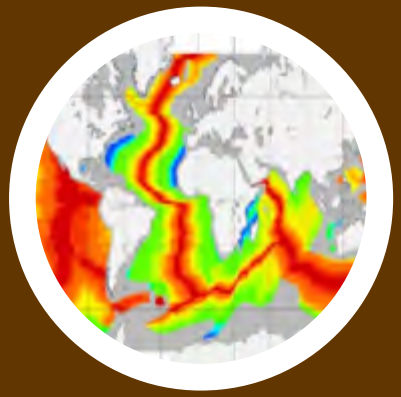
tectônicas.

Conforme visto no capítulo **TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES** a litosfera terrestre é constituída por placas rígidas e frias, de natureza distinta (oceânica/basáltica x continental/granítica), assentadas sobre a astenosfera, quente e plástica (dúctil). As placas, como peças de um gigantesco quebra-cabeça, apresentam movimentação horizontal e interagem entre si, nos chamados limites de placas. Conforme visto, é a movimentação e integração entre as placas que promove, não apenas a reciclagem e transformação dos materiais terrestres (rochas e minerais, vide ciclo das rochas), mas é responsável também pelos processos geológicos associados, os quais são observados na superfície terrestre, tais como: o vulcanismo e os terremotos e eventos associados (= tsunamis). Em decorrência da tectônica global e do ciclo dos supercontinentes, houve momentos na história geológica da Terra, em que os continentes estiveram todos unidos, formando uma única massa continental (=supercontinente), a Pangeia, por exemplo, cujo desmantelamento (=fragmentação) é responsável pela distribuição das placas tectônicas em sua configuração atual.

A compreensão de como nosso planeta funciona é muito importante na formação dos alunos, desde o ensino fundamental, pois esta área da ciência se relaciona intimamente com diversas outras áreas das Ciências Naturais, tais como a Biologia, Ecologia, Biogeografia e Geografia. Assim sendo, os conceitos relativos à Teoria da Tectônica de Placas ou Tectônica Global podem e devem ser iniciados nos primeiros ciclos do Ensino Fundamental e ser explorados até o Ensino Médio. Neste, o aprofundamento pode ser maior, inclusive num contexto crítico de como o Homem atua e interfere nos processos naturais do planeta. Para auxiliar os professores na abordagem deste tema, duas atividades são propostas em diferentes níveis e formações:

5.1. Descobrindo os limites de Placas;

5.2. Reconhecendo as principais feições e processos relacionados às Placas Litosféricas.



5.1

DESCOBRINDO OS LIMITES DE PLACAS

Marcello Guimarães Simões
Suzana Aparecida Matos
Jacqueline Peixoto Neves

Foi visto no capítulo **TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES** que as regiões de interação entre as placas litosféricas compreendem os limites de placas. Assim, a compreensão sobre o funcionamento dinâmico de nosso planeta passa pelo entendimento destes limites e dos fenômenos geológicos a eles associados. A atividade a ser desenvolvida a seguir, visa, portanto, a revisão, ampliação e consolidação dos conhecimentos relativos às questões relacionadas aos limites de placas e o entendimento dos processos geológicos associados a esses limites.

A atividade aqui proposta é uma versão modificada, em português, do exercício desenvolvido por docentes (Dale S. Sawyer, Alison T. Henning, Stephanie Shipp e Robyn W. Dunbar) da Rice University e publicado no *Journal of Geoscience Education*. O exercício foi proposto como introdução ao tema Tectônica de Placas ou Tectônica Global.

OBJETIVO

O objetivo primeiro desta atividade é o de apresentar subsídios para que os estudantes consigam, através da observação de mapas, extrair informações sobre as principais feições geológicas da Terra e relacioná-las com os limites de placas conhecidos, e dessa forma, compreender o dinamismo inerente ao nosso planeta. O conteúdo desta atividade envolve conceitos de Geografia, como a fisiografia dos continentes do globo, distribuição das cadeias de montanhas e vulcões, bem como alguns conceitos de Geologia, processos e feições geológicas da superfície e interior da Terra.

VOLTE AO SUMÁRIO

PÚBLICO ALVO

Alunos do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Trabalho em grupo.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Três aulas de 50 minutos.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Domínio de conceitos gerais de geologia e geografia física, tais como crosta, manto, núcleo, litosfera, astenosfera, tipos de rochas etc.

CONTEXTO

Nesta atividade, os alunos utilizarão mapas globais com diferentes tipos de dados (terremotos, vulcões, topografia e idades do fundo dos oceanos) para: observar, classificar e descrever os limites entre placas litosféricas, bem como, apresentar e discutir seus resultados com os colegas de classe. Em um primeiro momento, os alunos trabalharão em 4 grupos onde se tornarão "especialistas" em um tipo de dado (por exemplo, distribuição global dos terremotos). Posteriormente, os estudantes serão reorganizados em outros grupos, que incluirão um "especialista" em cada tipo de dado. Neste momento, cada grupo irá focar em uma placa tectônica em particular, como por exemplo, a placa Sul-americana.
Por estar fundamentado em observações e descrições, este exercício pode ser aplicado de forma bastante ampla, tendo sido utilizado com alunos do ensino fundamental, ensino médio e alunos de graduação. A versão original do exercício em inglês pode ser encontrada no site **http://plateboundary.rice.edu/**

MATERIAL

Essa atividade envolve vários recursos gráficos, todos eles disponibilizados aqui, tais como:
Quatro mapas grandes, formatados para impressão em folha A3, que devem ser fixados nas paredes contendo diferentes tipos de dados: Distribuição de **terremotos** **(Figura 1)** e **vulcões** **(Figura 2)**, **topografia** **(Figura 3)** e **idades das rochas** que compõem o fundo dos oceanos **(Figura 4)**. Uma cópia do protocolo **"Instruções para os Estudantes"**, a ser distribuída a cada aluno. Duas cópias do **"Mapa dos Limites de Placas"** **(Figura 5)**, para cada aluno.
Uma transparência contendo o "Mapa dos Limites de Placas" **(Figura 5)** para cada 4 alunos e canetas marcadoras de transparências. Pode-se, alternativamente, utilizar slides no Power Point, projetados via Datashow ou visualizados em notebook ou PC. Os alunos devem receber um arquivo digital com o Mapa dos Limites de Placas. Lápis de cor, ou canetas coloridas. **Papéis indicadores** da especialidade e placa tectônica de cada aluno **(Figura 6)**.

PROCEDIMENTO

Você recebeu um papel contendo uma letra e um número **(Figura 6)**. A letra indica uma especialidade científica e o número indica uma placa tectônica ou agrupamento de placas com os quais você vai trabalhar.

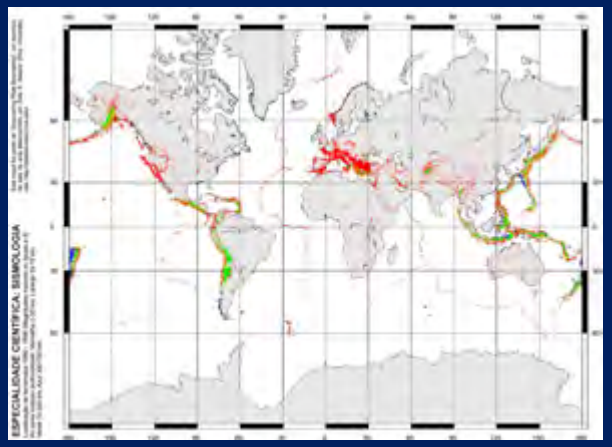


Figura 1. Mapa da especialidade Sismologia (A).

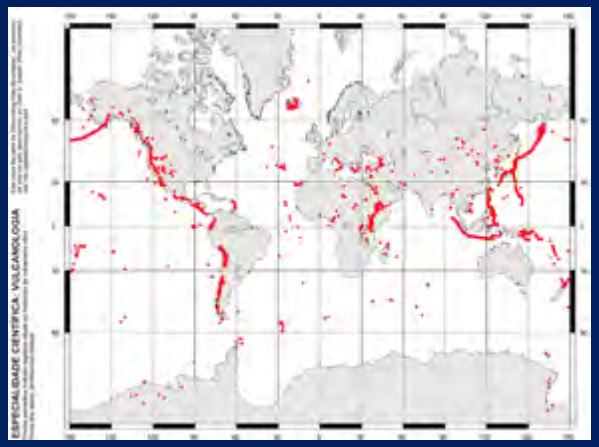


Figura 2. Mapa da Especialidade Vulcanologia (B).

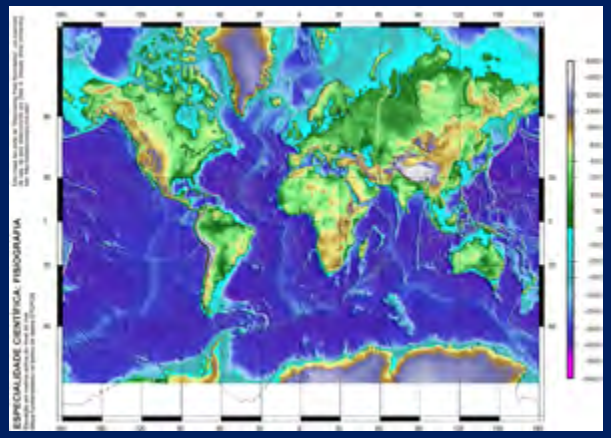


Figura 3. Mapa da especialidade Fisiografia (C).

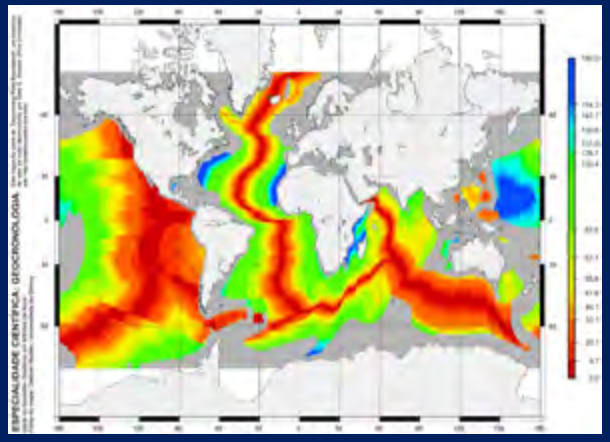


Figura 4. Mapa da especialidade Geocronologia (D).

Reconheça suas atribuições de acordo com as listas a seguir. As especialidades são:

A. Sismologia (Terremotos);
B. Vulcanologia (Vulcões);
C. Fisiografia (Topografia);
D. Geocronologia (Idade das rochas do assoalho oceânico).

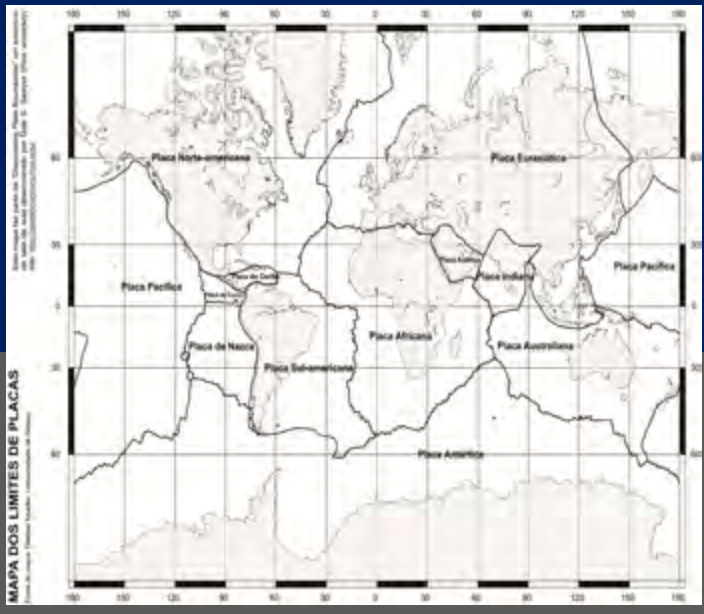


Figura 5. Mapa de Limites de Placas.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10

Figura 6. Papéis indicadores da especialidade: a letra representa uma especialidade (A - Sismologia; B - Vulcanologia; C - Fisiografia e D - Geocronologia) e o número indica uma placa ou conjunto de placas (1- Placa Norte-americana; 2- Placa do Pacífico; 3 - Placa Africana; 4 - Placa Sul-americana; 5- Placa Eurasiática; 6- Placa de Cocos/Placa de Nazca/Placa do Caribe; 7- Placa Australiana; 8 - Placa Antártica; 9 - Placa Indiana; 10 - Placa Arábica).

AULA 1

Verificar quais colegas receberam o papel indicando a mesma especialidade científica (a mesma letra) que você. Reúna-se com estes colegas, formando um grupo. Cada grupo observará o mapa com os dados referentes a essa especialidade.

Etapa 1. Observar o mapa da especialidade recebido pelo grupo e discutir os dados que ele apresenta. As observações serão distintas de acordo com o tipo de dado observado. Para os dados de pontos (Especialidades A – Sismologia e B - Vulcanologia) deverão ser observados os padrões de distribuição. Para os dados de superfície (Especialidades C – Fisiografia e D - Geocronologia) deverá ser observado onde a superfície é elevada/plana e antiga/nova. O grupo deve discutir os padrões observados em todo o globo. Listar o que foi observado e discutido pelo grupo.

Etapa 2. Agora o grupo deve concentrar atenção nos limites de placas, focando em como os dados se comportam nas regiões próximas aos limites. Para isso, comparar o "Mapa de Limites de Placas" com o mapa da especialidade científica do grupo. Os dados podem ser do tipo: topografia elevada ou plana (alta/baixa), pontos simétricos/assimétricos, ausentes/presentes, se variam ou se são constantes ao longo dos limites. O grupo deve produzir uma classificação com base nos dados observados. Nesta fase não é importante explicar os dados, apenas observá-los e descrevê-los.

Etapa 3. Atribuir uma cor para cada tipo de limite identificado. Utilizando lápis de cor, indicar onde esses limites ocorrem no "Mapa de limites de placas", recebido no início da aula. Procure uma forma de indicar no "Mapa de Limites de Placas", quando os dados forem assimétricos no tipo de limite que você está analisando, ou seja, se os dados só estiverem presentes em uma das placas que compõem este limite. Cada componente do grupo deve marcar os tipos de limite em seu próprio mapa,

assim como cada aluno deve anotar a descrição de cada tipo de limite na parte de trás do seu mapa. As anotações serão empregadas mais adiante e deverão ser entregues ao final do exercício.

AULA 2

No papel recebido na aula passada, além da letra indicando sua especialidade científica, havia um número que indicava uma placa tectônica. Agora, você deve se reunir com os colegas que receberam o mesmo número que você, ou seja, aqueles que estudarão a mesma placa tectônica. Cada grupo deve consistir de um sismólogo, um vulcanólogo, um geógrafo e um geocronólogo.

Etapa 1. Os mapas das especialidades científicas encontram-se afixados na parede da sala de aula. O grupo deve percorrer os mapas de cada especialidade e cada componente (sismólogo, vulcanólogo, geógrafo e geocronólogo) deve fazer uma breve apresentação sobre os dados observados dentro da sua especialidade científica assim como da classificação proposta pelo seu grupo de especialistas na aula 1. O especialista deve explicar quais são os dados exibidos no mapa e como estão distribuídos, assim como comentar brevemente os tipos de limites que foram identificados, anteriormente, e como esses limites se distribuem no globo terrestre. A apresentação deve ser focada, especialmente, nos limites que compõem a placa tectônica estudada pelo grupo nesta aula 2.

Etapa 2. Cada especialista deve comparar o mapa geral das Placas Tectônicas com o mapa de sua especialidade (vulcões, terremotos, topografia e idades), identificando os tipos de limites por letras (ex: Tipo de Limite A, Tipo de Limite B, etc.). Verificar se há pontos em comum entre as classificações propostas por cada especialista. Utilizando o "Mapa dos Limites das Placas", cada especialista deve proceder do mesmo modo como fez na aula 1, atribuindo cores aos diferentes tipos de limites. Atrás do mapa deve ser feita uma descrição dos tipos de limites propostos. O mapa com as descrições deve ser entregue ao final da terceira aula.

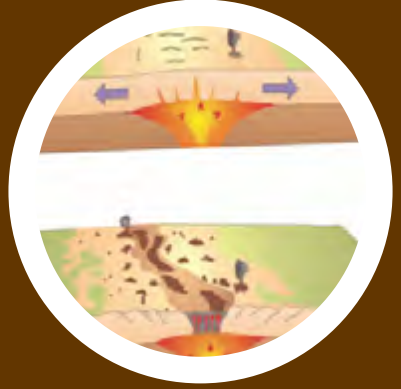
AULA 3

Um dos componentes do grupo deve fazer uma apresentação para toda a turma. A apresentação deve mostrar a classificação proposta para os limites que se relacionavam com a placa tectônica observada e como foi feita a classificação. Para a apresentação, o grupo pode utilizar uma transparência do "Mapa dos Limites de Placas", com os limites assinalados com canetas coloridas marcadoras de transparências ou, então, um arquivo Power Point do "Mapa dos Limites de Placas" com os limites assinalados em cores diferentes. Ao final da aula cada componente do grupo deve entregar:

O mapa contendo a classificação dos tipos de limites de placas onde foram utilizados os dados da especialidade científica anteriormente atribuída. As descrições da classificação proposta pelo grupo devem estar no verso do mapa.

Ao final da aula o grupo deve entregar:

O mapa com a classificação dos tipos de limites da placa tectônica que lhe foi atribuída. Este mapa deve ter sido construído utilizando as quatro especialidades científicas. As descrições da classificação proposta pelo grupo devem estar no verso do mapa.



5.2

PLACAS LITOSFÉRICAS: RECONHECENDO FEIÇÕES E PROCESSOS

Marcello Guimarães Simões
Suzana Aparecida Matos
Jacqueline Peixoto Neves

Conforme apresentado no capítulo **TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES** e na Atividade Descobrindo os limites de placas, feições e processos geológicos tais como, cadeias de montanhas, vulcões e os terremotos, não ocorrem casualmente na superfície do planeta Terra. Para entender como essas feições e eventos geológicos são gerados, é muito importante conhecer os processos que ocorrem no assoalho oceânico, em regiões onde as placas litosféricas se encontram. Também é preciso conhecer alguns processos que ocorrem no manto terrestre, incluindo-se aí a astenosfera. Esta atividade é um exercício de associação visual dessas feições e processos aos termos geológicos empregados a essas "estruturas" e consequentemente ao significado que apresentam.

OBJETIVO

Esta atividade tem por objetivo atuar como um exercício de associação visual dos conceitos teóricos ensinados pelo professor a um esquema didático do assoalho oceânico e do Manto, que permitirá a compreensão dos processos geológicos envolvidos na movimentação das placas tectônicas e das feições e eventos geológicos decorrentes da Tectônica de Placas.

PÚBLICO ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

VOLTE AO SUMÁRIO

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Introdução a conceitos gerais de Geologia, tais como: crosta, manto e núcleo **(ver capítulo O CICLO DAS ROCHAS)**, placas tectônicas e tipo de limites de placas **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES)**.

MATERIAL

Tesoura e cola; uma cópia da **Figura 1** (impressa em folha A4) com o desenho esquemático do assoalho oceânico; um conjunto com 10 termos geológicos que estão dentro dos retângulos da **Figura 2** (impressa em folha A4) para cada aluno.

PROCEDIMENTO

Você recebeu um desenho esquemático mostrando o assoalho oceânico. As letras de A até J indicam diferentes feições observadas. Você recebeu, também, um cartão contendo um conjunto de dez termos geológicos. Recortar cada um dos termos geológicos.

Na figura do assoalho oceânico, identificar as feições apresentadas (A a J) e colar sobre elas os papéis com os termos geológicos correspondentes.

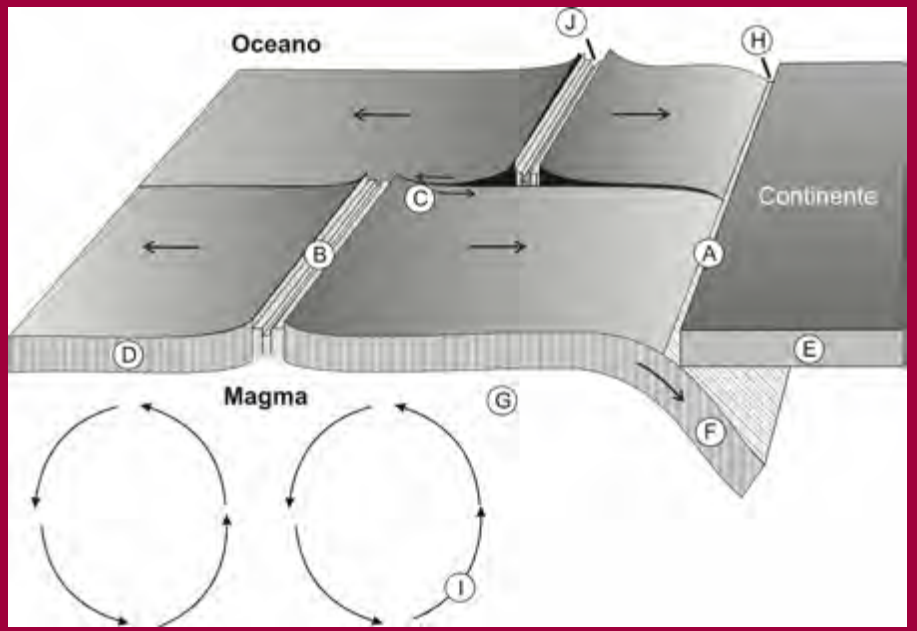


Figura 1. Desenho esquemático mostrando o assoalho oceânico.

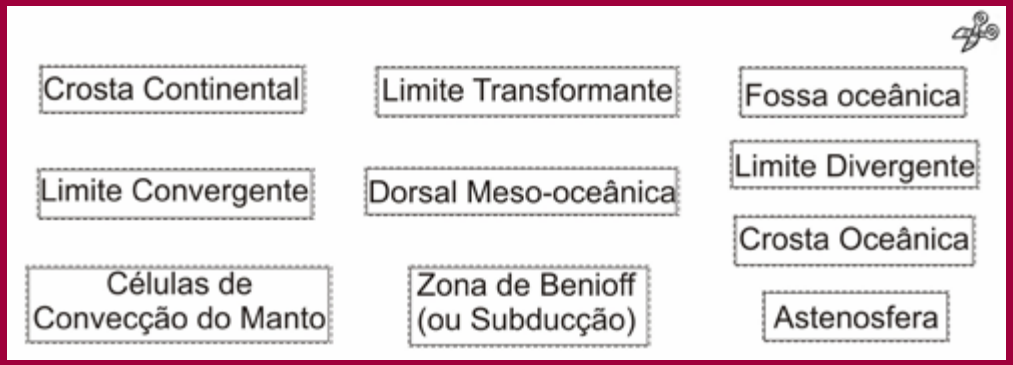
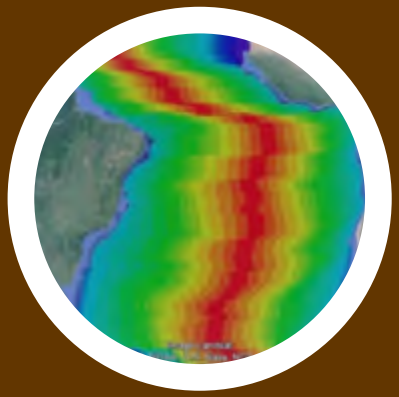


Figura 2. Conjunto de termos geológicos.



6 VIAJANTE GEOTECTÔNICO: TECTÔNICA GLOBAL VIA GOOGLE EARTH

Marcello Guimarães Simões
Jacqueline Peixoto Neves
Suzana Aparecida Matos

INTRODUÇÃO

No capítulo **TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES** vimos o funcionamento dinâmico do planeta Terra, entendido no escopo da "Teoria da Tectônica de Placas", onde a origem das bacias oceânicas e dos continentes resulta, maiormente, da movimentação horizontal dos elementos da litosfera. Trata-se da maior revolução científica das Ciências da Terra, iniciada a partir da proposição da Deriva Continental e do reconhecimento do supercontinente Pangea, por Alfred Wegener, no início do século 20, e descobertas posteriores, como as correntes de confecção do manto, a expansão do assoalho oceânico, as curvas de deriva polar, o padrão zebrado de anomalias magnéticas, pontos quentes e arcos de ilhas etc. Notavelmente, mapas mostrando o encaixe dos continentes (mesmo que precários), como um quebra-cabeça, e sugerindo a movimentação horizontal da crosta são tão antigos quanto os apresentados em 1858, por A. Snider. De fato, a história do desenvolvimento desta teoria é fascinante e complexa. O domínio da teoria da Tectônica de Placas implica, de um lado, no entendimento histórico das descobertas em diversos campos das Geociências, como a Paleontologia, a Geologia, a Geocronologia e a Geofísica, bem como na prática de atividades de fixação da

aprendizagem e domínio de múltiplos campos das Ciências Naturais. Assim, a partir de agora o leitor interessado poderá, por meio do uso de ferramentas modernas de computação, como o programa Google Earth (GE), consolidar e ampliar conhecimentos e explorar novos conceitos relativos à dinâmica terrestre. O Google Earth tem como função apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de um mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas e GIS 3D. Nos últimos anos, **diversos aplicativos e camadas** foram desenvolvidos especificamente para este programa, permitindo explorá-lo nos mais diversos contextos. Neste sentido, a atividade prática "Viajante Tectônico", aqui proposta, foi inspirada no exercício desenvolvido por Laurel Goodell, do Departamento de Geociências, da Universidade de Princeton, originalmente no âmbito do programa *On the Cutting Edge: Professional Development for Geoscience Faculty*, a qual pode ser visualizada a partir **daqui**.

De acordo com os preceitos da Tectônica Global **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES)**, as camadas mais externas da Terra (crosta e parte superior do manto) compõem a litosfera, que é rígida. Ela está assentada sobre a astenosfera, de comportamento plástico. Embora no interior das placas (vide o caso da América do Sul) a atividade tectônica não seja expressiva, a maior parte desta atividade, incluindo os processos vulcânicos e terremotos, ocorre justamente nas bordas das placas (limites), onde há a interação entre elas, isso é entre as peças do quebra-cabeça. Para entender o funcionamento da Tectônica Global e a origem e distribuição das grandes feições geológicas da Terra, ao longo do tempo geológico, tanto na parte emersa, como imersa do globo, o leitor irá utilizar a partir de agora o Google Earth, com adição de várias novas camadas, as quais foram compiladas de diversas fontes, como em ***On the Cutting Edge: Professional Development for Geoscience Faculty***. Iniciaremos com um tutorial de instalação e, em seguida, passaremos para a atividade prática de forma guiada, assim professores e estudantes com diferentes níveis de formação poderão ter contato inicial com a ferramenta.

SUMÁRIO

Está atividade irá introduzir os estudantes a explorarem as principais feições fisiográficas do planeta Terra e os elementos da Tectônica Global, a partir do uso do Google Earth. Tais elementos estão disponíveis graças à disponibilidade de arquivos kmz, os quais foram compilados por Laurel Goodell, mas existem outras fontes também. Estes arquivos incluem várias camadas, desde os limites de placas, às idades das rochas do fundo oceânico, bem como a distribuição, data e intensidade de terremotos e a localização de vulcões e ilhas vulcânicas. Embora estas feições possam ser exploradas livremente pelos interessados, nos mais diversos níveis, uma versão guiada é aqui sugerida. Professores e alunos com conexão ativa de internet na sala de aula e o GE no computador, com os aplicativos aqui apresentados, poderão criar inúmeras abordagens diferentes para o ensino e aprendizado da Tectônica Global.

OBJETIVO

Utilizar o Google Earth no aprendizado da Tectônica Global e familiarizar os estudantes com os importantes dados geológicos, geofísicos e geocronológicos que fundamentam a teoria da Tectônica de Placas. Especial atenção é devotada às grandes feições fisiográficas do globo, principalmente às da América do Sul. Do mesmo modo, dois limites de placas são explorados a partir de seções ao longo da Placa Sul-americana, Africana e de Nazca.

PÚBLICO-ALVO

A atividade proposta pode ser aplicada a estudantes dos mais diversos níveis. Dependendo da familiaridade dos estudantes e do professor com o tema e com o Google Earth (GE). Atividades mais complexas poderão ser elaboradas, a partir das aqui propostas. Do mesmo modo, dependendo da abordagem, a atividade poderá ser feita em uma ou mais aulas. Além disso, a atividade A tectônica de placas como base para a construção do conhecimento geocientífico e entendimento da terra, quanto um planeta dinâmico deste livro poderá ser integralmente adaptada para uso com o GE.

TUTORIAL DE INSTALAÇÃO E APLICAÇÕES BÁSICAS DO GOOGLE EARTH (GE)

Para iniciar esta atividade você necessitará do GE e de aplicativos e camadas ativas para a Tectônica de Placas. Inicie seguindo os passos a seguir.

1) Instale em seu computador a ultima versão disponível do Google Earth, clicando **aqui**;

2) Abra o Google Earth e na aba Ferramentas abra e o menu Opções, como na **figura 1** a seguir.

3) No menu Opções clique em Visualização 3D e na opção (Mostrar lat/long) clicar em "Graus Decimais". Na opção (Unidades de Medida) clicar em "Metros, quilômetros". Finalmente, na opção (Terreno), clicar em "Usar imagens 3D", como na **figura 2**.

4) Abra a barra Visualizar e observe se a Barra de Ferramentas, Barra Lateral, Barra de Status e Redefinir (Inclinação e Bússola) estão todos selecionados, como na **figura 3**.

5) Ainda na barra Visualizar, clique em Mostrar navegação e clique em Automaticamente, como na **figura 4**.

6) Agora que seu GE está configurado chegou a hora de baixar algumas Camadas para que ele possa funcionar com os elementos da Tectônica Global. Para isso baixe o arquivo "DynamicEarth.kmz", clicando em **DynamicEarth.kmz.** Salve o arquivo em seu computador e clique nele para abrir. O arquivo irá abrir automaticamente em seu GE **(Figura 5)**. Alternativamente, você poderá abri-lo a partir do GE, clicando no menu Arquivo/abrir, localizando a pasta onde está salvo e selecionando-o.

7) Uma vez baixado em seu GE, uma pasta com o nome DynamicEarth.kmz irá aparecer em "Locais temporários". Clique e mova para a pasta "Meus Lugares", como na **figura 5**. Logo após salve os arquivos em "Meus lugares" clicando em Arquivo/Salvar/Salvar Meus lugares. A partir de agora, DynamicEarth.kmz estará disponível todas as vezes em que você abrir o GE, no computador onde foi salvo. Tudo que você necessitará a partir de agora é uma conexão ativa com a internet.

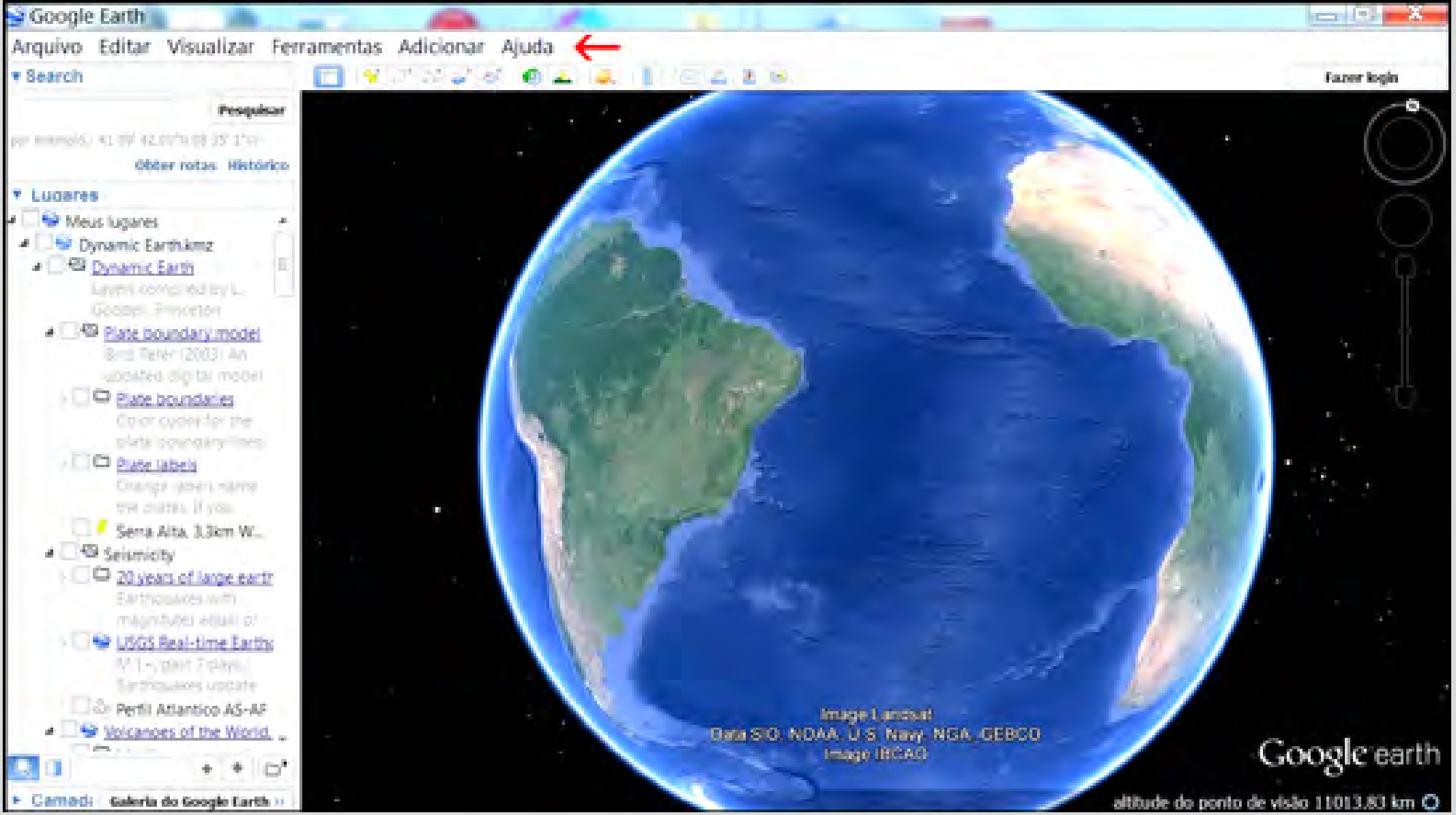


Figura 1. Barra de Ferramentas do GE.

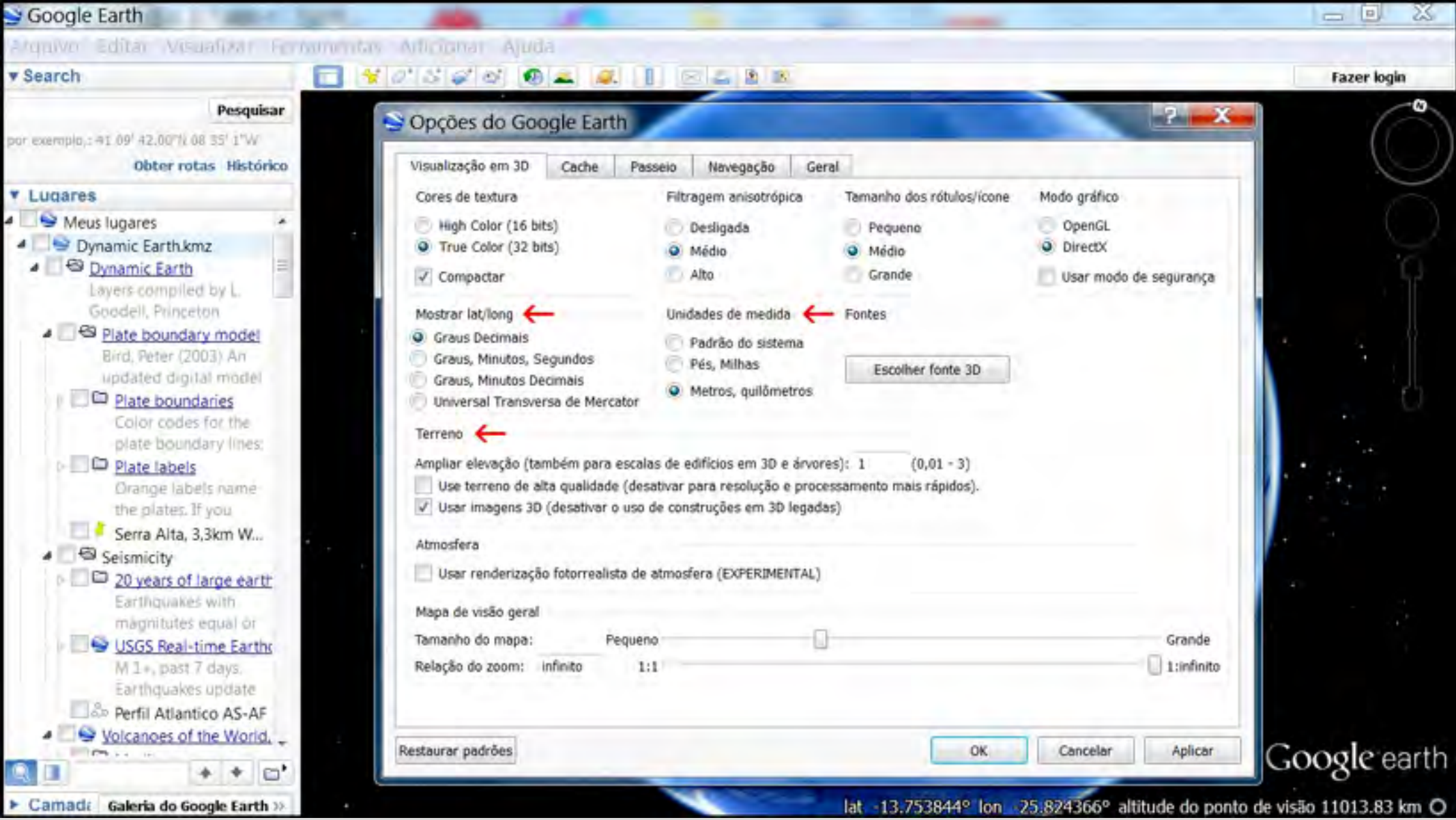


Figura 2. Menu de opções do GE.

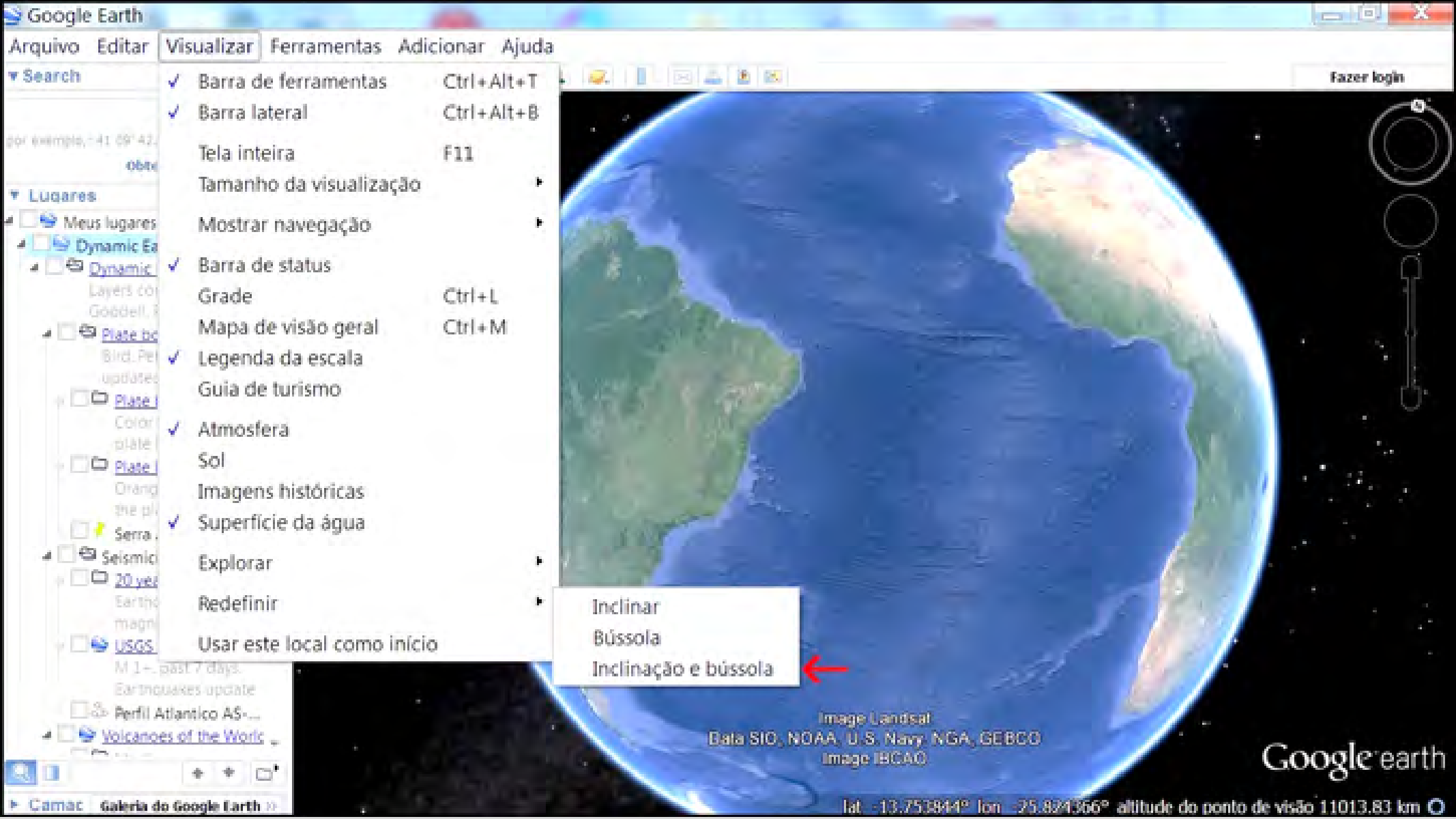


Figura 3. Barra de Ferramentas e outras do GE.

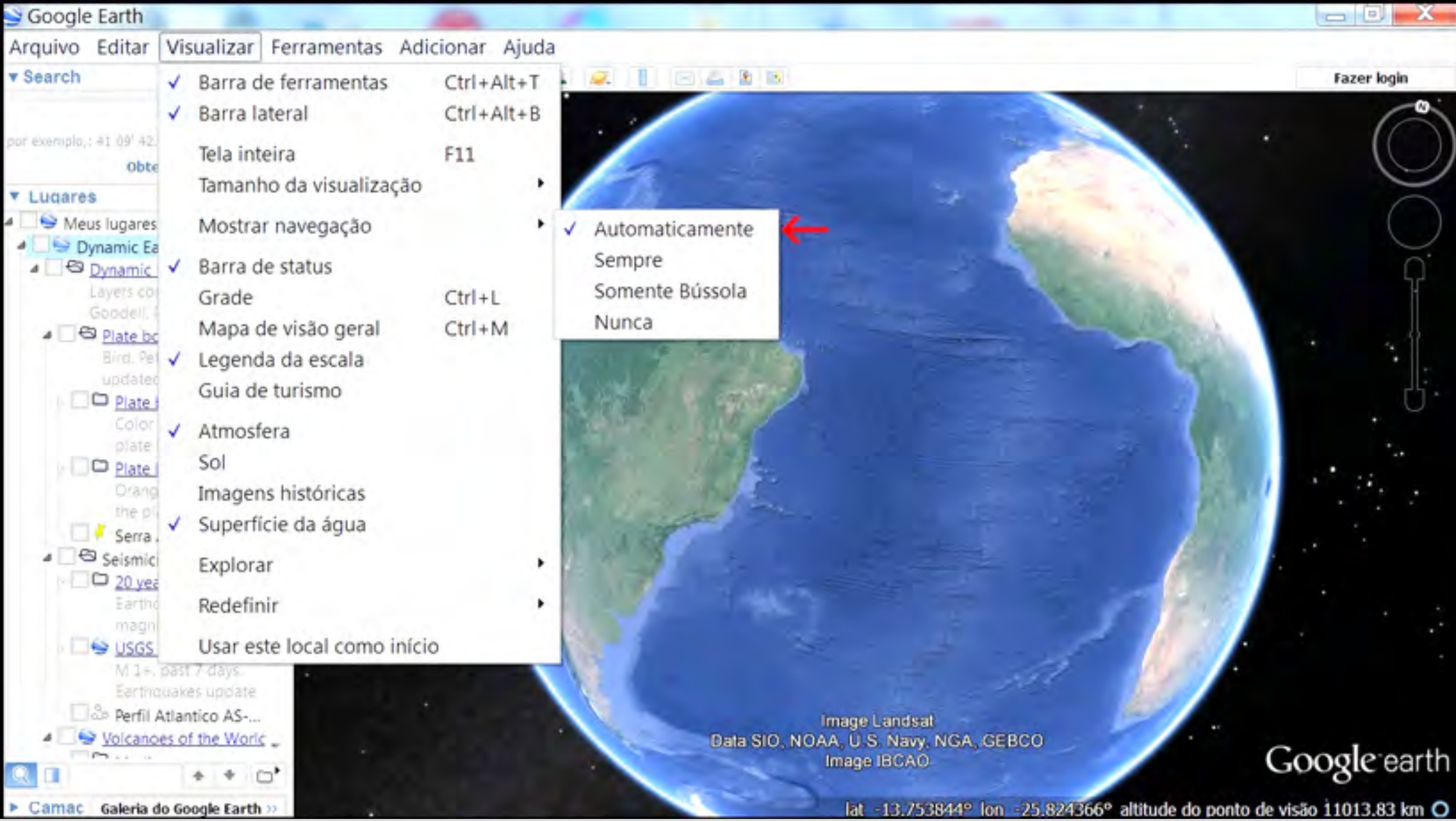


Figura 4. Opção navegação do GE.

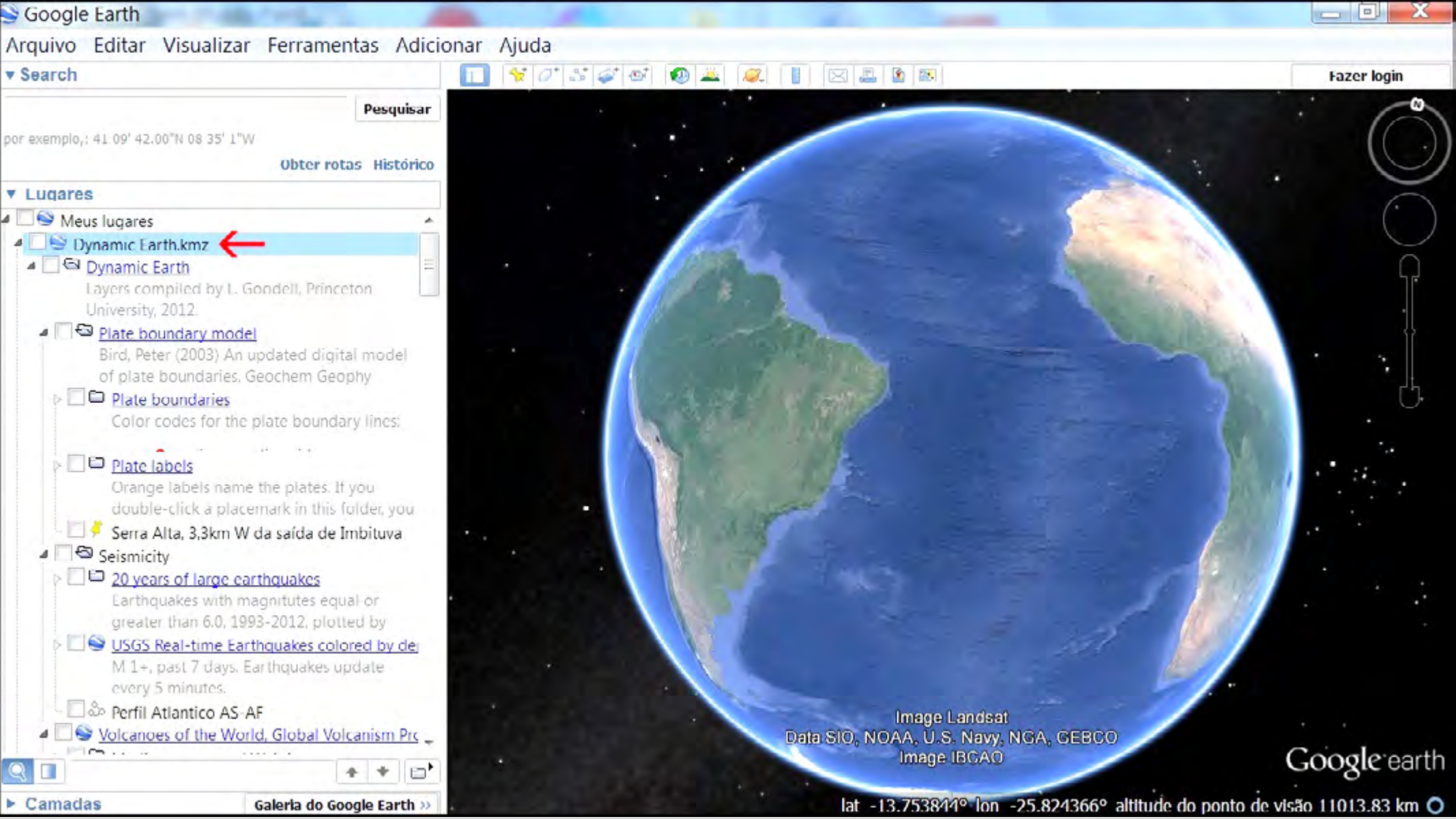


Figura 5. Pasta Meus Lugares no GE e arquivos do DynamicEarth.kmz.

PROCEDIMENTO

Descobrindo os padrões topográficos da Terra

Para iniciar a atividade o professor pode, primeiramente, explorar a superfície terrestre com especial atenção para as principais feições topográficas. A atividade pode ser feita a partir de visualização global ou focar em uma grande área, em específico, como a América do Sul. Combinar um mapa geológico pode ajudar muito, veja as grandes feições geológicas da América do Sul, na **figura 6** ou clique **aqui** para ver a topografia do mundo.

Na **figura 7 (A a F)** estão reproduzidas diferentes visões da América do Sul, em maior ou menor zoom capturadas do GE. Olhando as imagens, o que você observa? Como estão distribuídos os grandes compartimentos do relevo? Observe a cadeia andina! Note que no GE as áreas em cores azuis correspondem aos oceanos, quanto mais escuro mais profundo. Na área emersa, a cor marrom representa às topograficamente mais elevadas. Agora mantendo todas as camadas do GE inativas (não clicadas) foque nas feições topográficas da América do Sul (use este **mapa** como auxílio, se necessário), África (**Figuras 8A** e **8B**). E compare a imagem com o mapa geológico do continente **(Figura 6)**.

Faça o mesmo para os outros continentes, América do Norte **(Figura 9)** e Ásia **(Figuras 10** e **11)**, ou ainda o Oceano Atlântico **(Figuras 12 e 13)**, por exemplo, ou clique **aqui**.

Figura 6. Mapa geológico da porção continental da placa sul-americana, segundo Schobbenhaus & Neves (2003).

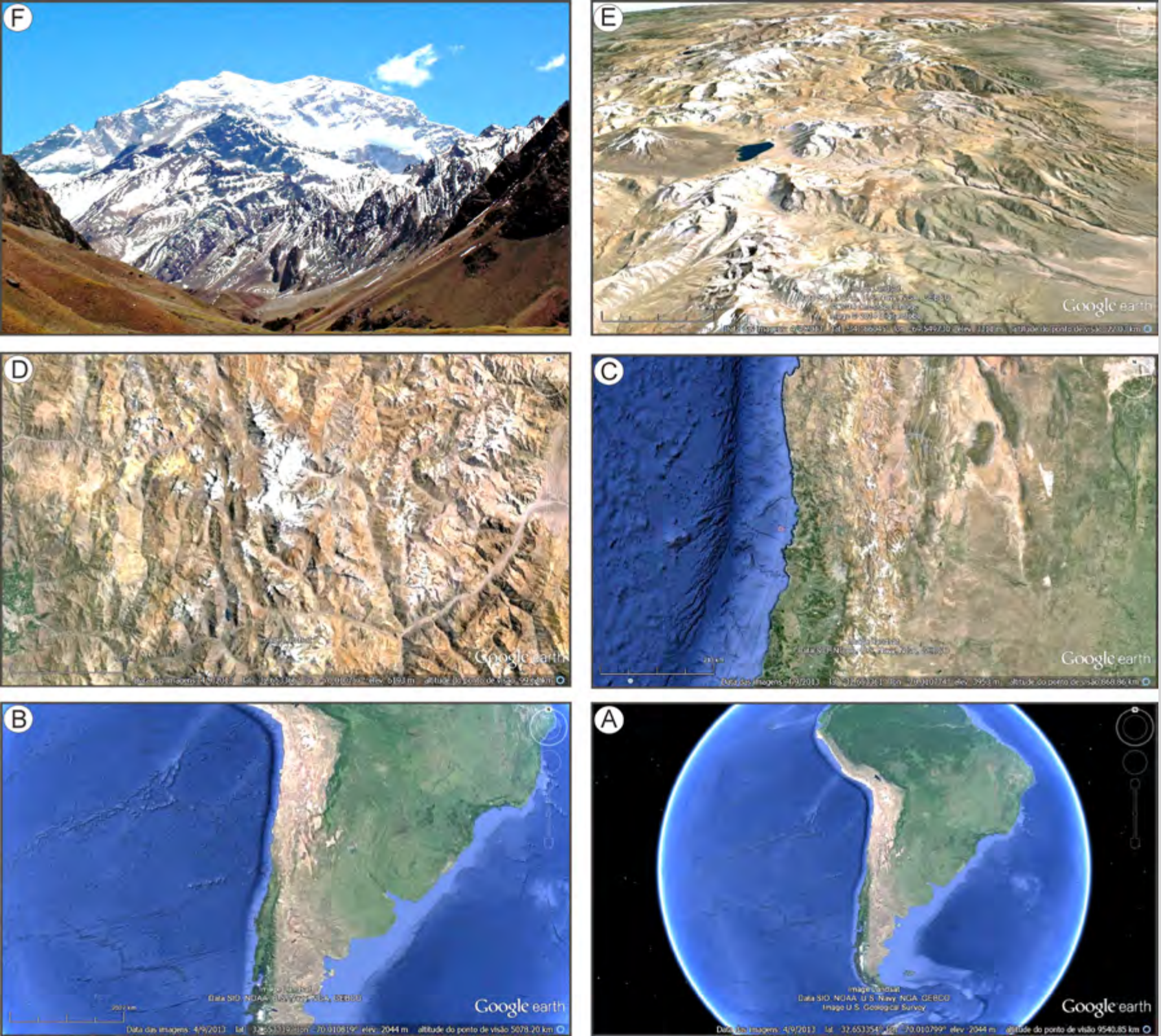


Figura7. Diferentes visões da América do Sul, com mais ou menos zoom (B a E) na região dos Andes Argentinos (Aconcágua).

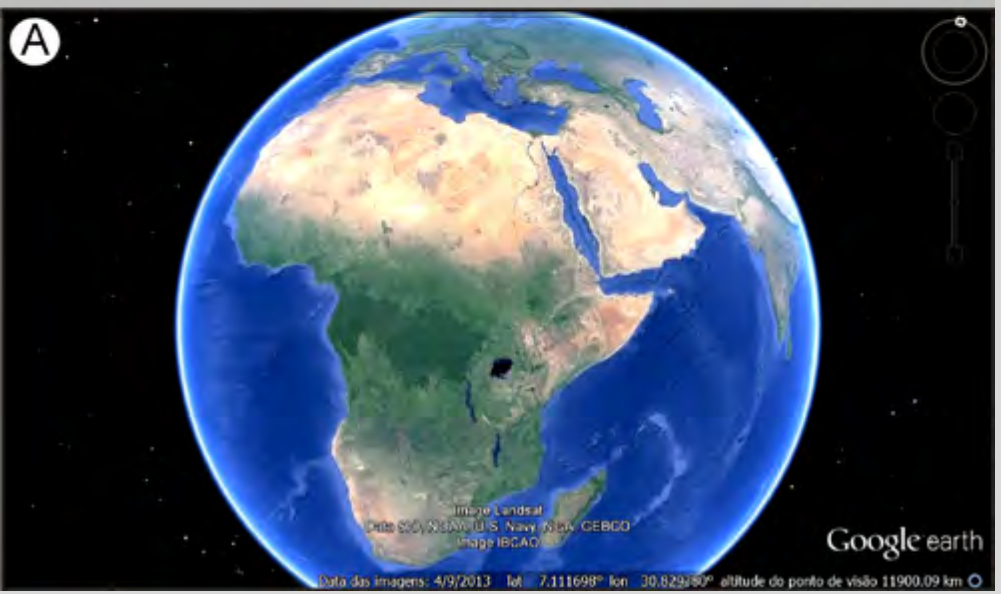
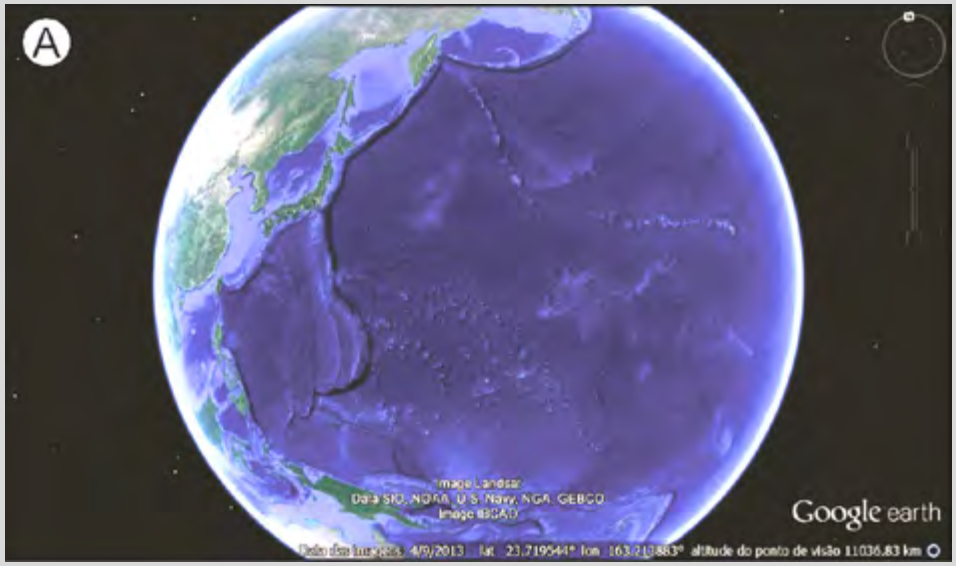


Figura 8. Diferentes visões do continente africano, com destaque para o Mar Vermelho.

Figura 9. Visão das Américas do Norte e do Sul.

Figura 10. (A e B) Diferentes visões da cordilheira dos Himalaias.



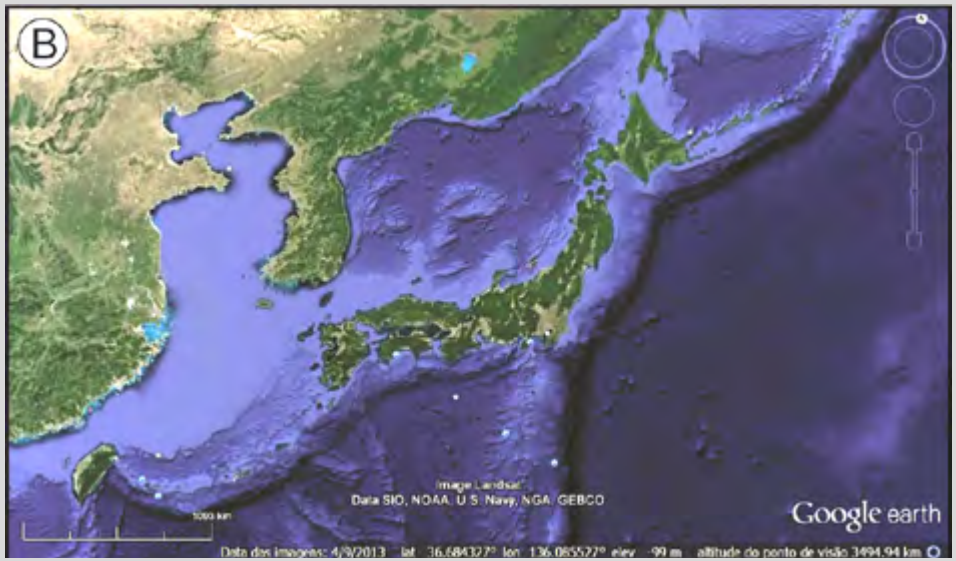
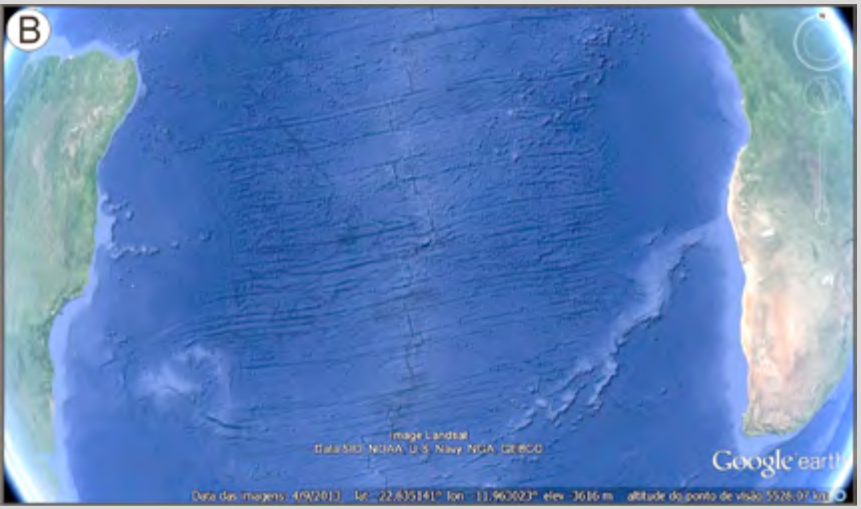


Figura 11. (A e B) Diferentes visões do Pacífico, junto ao Japão.



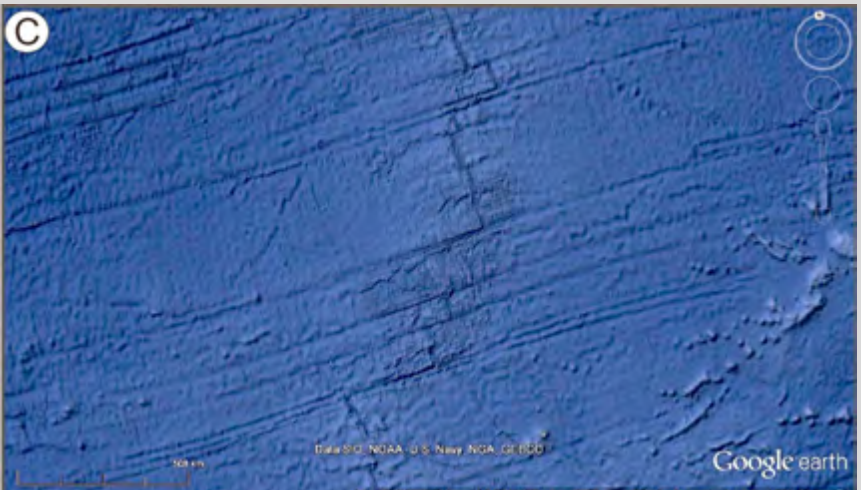


Figura 12. (A a C) Diferentes visões do Oceano Atlântico, com mais ou menos zoom.

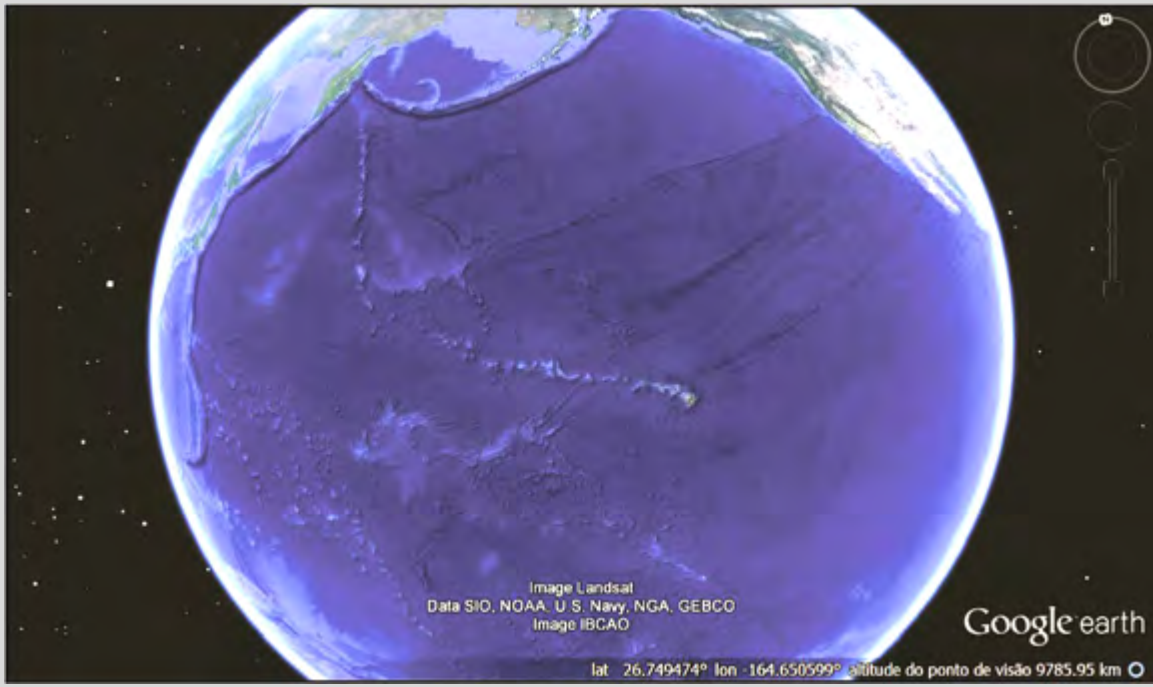


Figura 13. Visão do Oceano Pacífico, com destaque para o Havaí.

1) Tendo feito um primeiro tour virtual, pergunte aos alunos como as grandes cadeias de montanhas estão distribuídas no globo. A distribuição é aleatória? Estão agrupadas em locais particulares? Estão distribuídas de modo linear? Formam arcos? Explique!

2) Visite agora o ponto mais alto da América do Sul, o Monte Aconcágua e passe o cursor sobre a área. Observe a barra de status posicionada abaixo, ela irá fornecer as altitudes do terreno. Qual a altitude máxima do Aconcágua (ponto Sentinela de Pedra)? Na sequência, vá até o Pico da Neblina, localizado no norte do Amazonas, na Serra do Imeri. Trata-se do ponto mais alto do território brasileiro. Qual a altitude? Onde ele está localizado, com relação aos grandes traços da geologia do Brasil **(**ver **figura 6)**?

3) Localize, em seguida, o Monte Everest, o ponto mais alto da área continental da Terra. Novamente, dê diversos zooms e passe o cursor para descobrir a altitude do terreno. Qual a altitude do Monte Everest? Ele é um pico isolado ou faz parte de uma cadeia de montanhas?

Descobrindo os padrões batimétricos da Terra

Estamos menos familiarizados com a topografia da área submersa da Terra. Assim, nesta parte da atividade é interessante destacar aos alunos que até aproximadamente 1930, as ideias então aceitas eram as de que o fundo dos oceanos deveria ser quase plano. Para entender esta questão retorne ao capítulo **TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES**, lendo também sobre o trabalho de Harry Hess, capitão do USS Cape Johnson. Qual era o pensamento dominante à época? O que ele descobriu?

No GE visite o Atlântico e o Índico. Existe alguma feição particular? Clique **aqui** para usar um mapa comparativo.
Agora, através do GE você poderá estabelecer vários perfis topográficos, para isso proceda da seguinte maneira:

1) Na barra de funcionamento do GE localize "Adicionar" e selecione "Caminho". Com a caixa de diálogo aberta, trace com o cursor um perfil ao longo de dois pontos de interesse. Por exemplo, da costa brasileira até a africana, como nas **figuras 14**, **15** e **16**;

2) De um título ao perfil e clique em OK;

3) Salve o Perfil em "Meus lugares".

4) Clique no Perfil com o botão direito do mouse e, na caixa de diálogo, selecione "Mostrar Perfil de Elevação". O GE irá automaticamente traçar um perfil topográfico, como na **figura 16**. Passe o cursor ao longo do perfil e note a topografia.

Qual a topografia do fundo oceânico ao longo deste perfil em particular? As feições observadas são condizentes com as esperadas, segundo as ideias correntes até 1930? Qual a grande feição topográfica em destaque? O professor poderá solicitar aos alunos uma pesquisa (extraclasse) sobre os compartimentos fisiográficos do oceano Atlântico e compará-los ao perfil no GE, em outra aula. Note que no oceano Atlântico a porção mais profunda não está localizada no centro da bacia oceânica. A que grande feição da tectônica de placas esta porção elevada, no centro, do Oceano Atlântico corresponde?

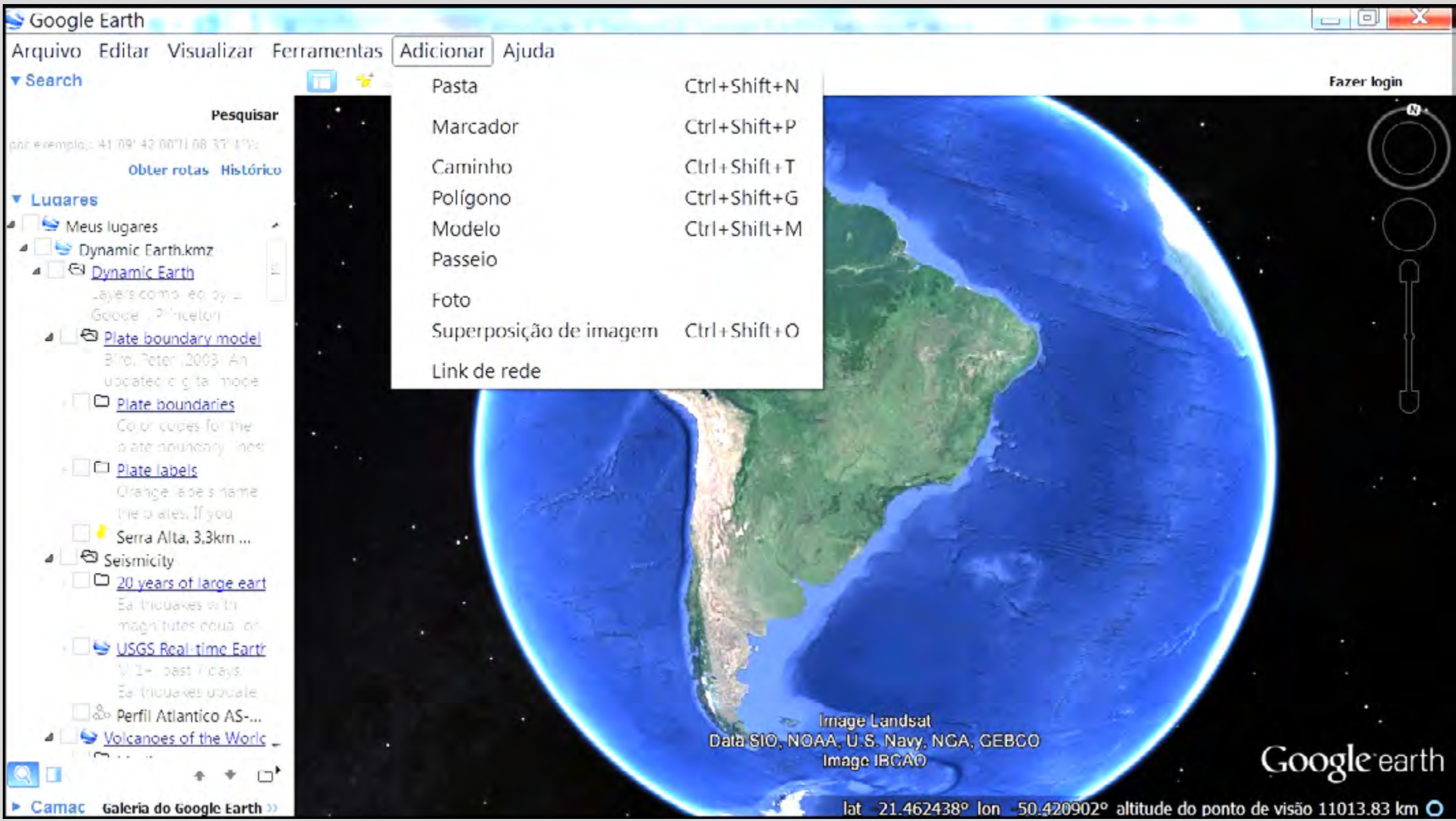


Figura 14. Traçando perfil batimétrico no GE, a partir do menu Adicionar.

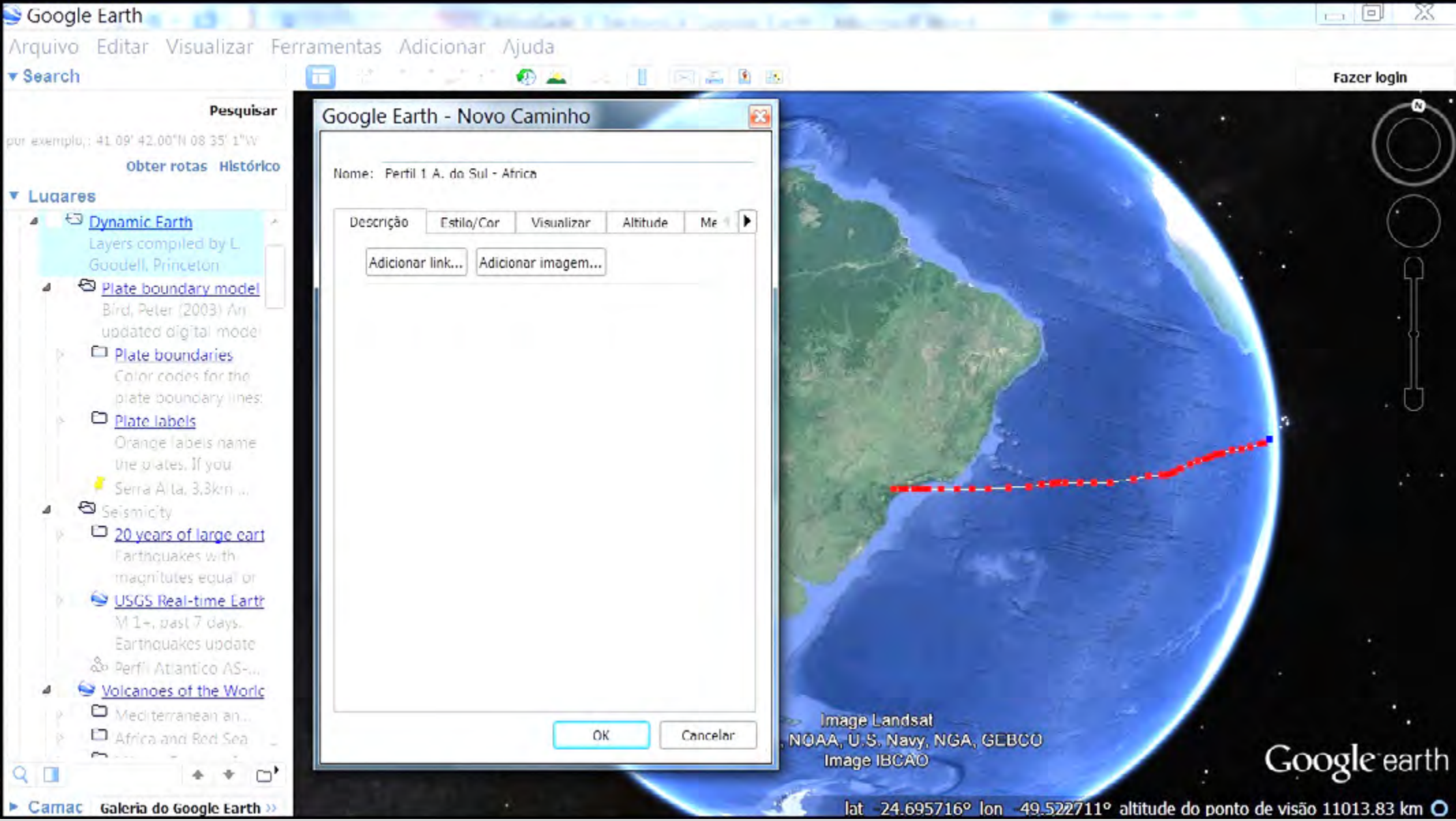


Figura 15. Trançando perfil batimétrico no GE.

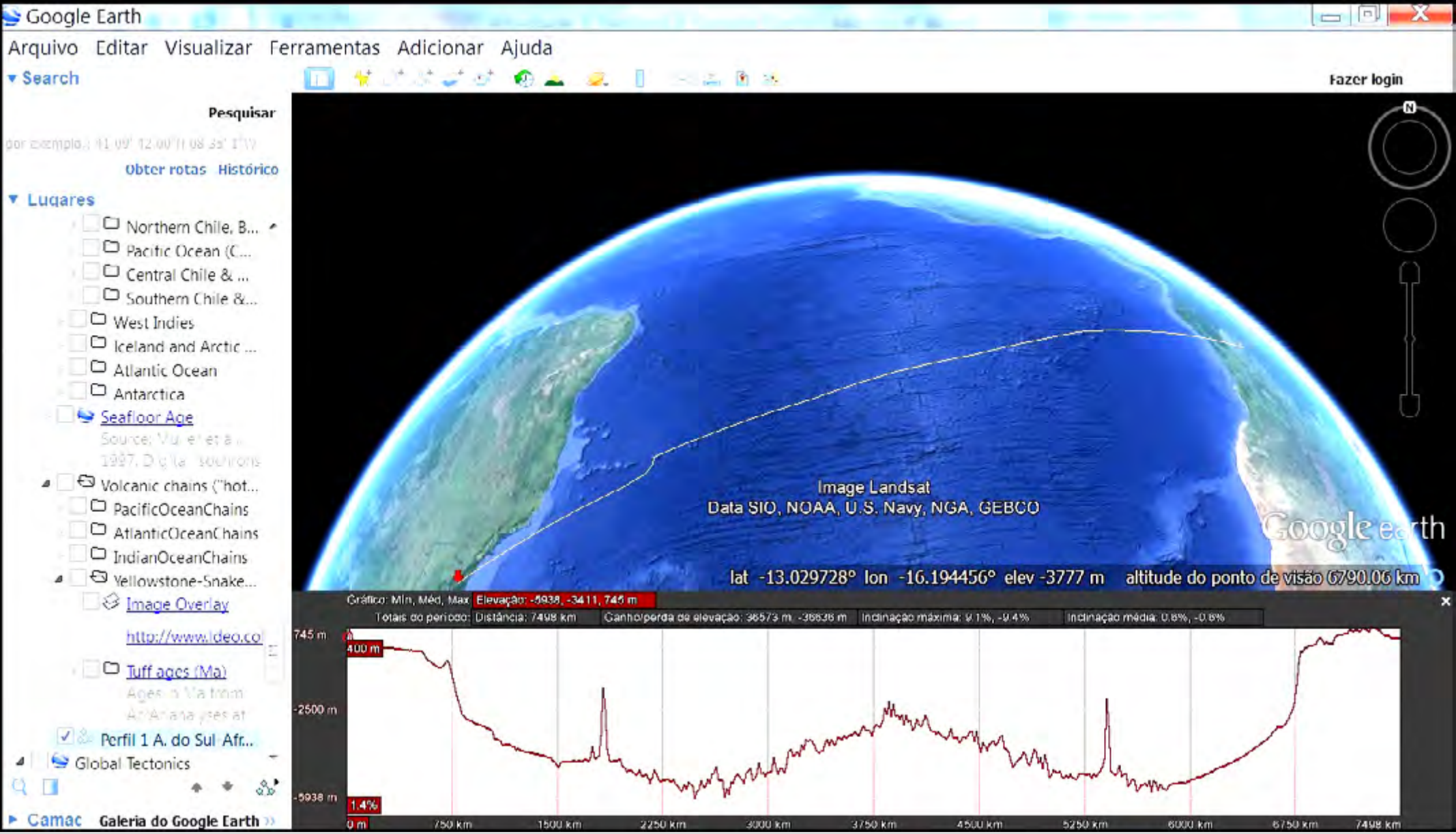


Figura 16. Perfil batimétrico entre América do Sul e África.

Trace outro perfil, por exemplo, de um ponto no Pacífico em direção aos Andes, como na **figura 17**. O que você observa? O perfil mostrado é semelhante ao do Atlântico? No que diferem? Por quê?

Se o ponto mais profundo da Terra não está localizado no centro dos oceanos, onde está? A partir da função "Pesquisar" digite ***Challenger Deep***. Trata-se da porção mais profunda do planeta Terra. Onde se localiza? Visite os locais ao redor, o que você observa com relação à profundidade do oceano? Veja **aqui** um vídeo curto com James Cameron, que recentemente chegou ao fundo da Challenger Deep. Qual a profundidade da Challenger Deep? Portanto, se o monte Everest fosse colocado no fundo das fossas das Marianas, ainda seriam necessários mais 2.150 metros para alcançar a área emersa da Terra.

Agora clicando **aqui** acesse a tabela com as principais fossas oceânicas da Terra. Após isso, busque cada uma delas no GE, lembrando-se de digitar "trench" ao invés de "fossa", como, por exemplo, *Marianas Trench*. Onde ocorrem? Por quê?

Entendendo os padrões sísmicos da Terra

No capítulo **TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES** foi visto que a Terra é formada por uma série de camadas. Terremotos (vibração causada pela liberação repentina de energia) são originados em um ponto chamado hipocentro ou foco, o qual não está situado na superfície terrestre, mas sim há vários quilômetros de profundidade na crosta. O epicentro é o ponto situado diretamente acima do foco do terremoto, no fundo oceânico ou na área emersa da crosta. Clique **aqui** para entender os terremotos e rever os termos foco e epicentro.

A localização do foco dos terremotos tem relação com espessura da crosta. Na litosfera somente as rochas que estão em estado rígido e mais frias têm a capacidade de fraturar (falhar), durante os abalos sísmicos (terremotos). Os materiais em estado plástico, como os encontrados na astenosfera, mais quentes e dúcteis, serão deformados ao longo do tempo, sem quebrar (falhar) quando submetidos a esforços. Assim, estes materiais não produzem terremotos. Desta forma, a observação da localização, profundidade e intensidade dos terremotos pode fornecer evidências importantes sobre onde às forças (stress) que atuam com maior ou menor intensidade sobre a litosfera, bem como sobre as propriedades dos materiais.

No GE, clique na pasta "Sismicidade" (*Seismicity)* e selecione a camada grandes terremotos dos últimos 20 anos (*Twenty years of large earthquakes)*.

Agora o GE irá mostrar a localização (epicentro) dos grandes terremotos, os quais aparecem como pontos coloridos. Os terremotos mostrados são, principalmente, os com intensidade maior ou igual a 6. Note que as cores e os tamanhos dos pontos dizem respeito às diferentes profundidades e magnitudes dos terremotos, como na **figura 18**. Quanto maior o ponto, maior a intensidade do terremoto.

No GE foque na América do Sul e com a pasta clicada observe como estão distribuídos os terremotos. Agora diminua o zoom e observe a Terra.

Como se distribuem os terremotos? São aleatórios? Eles estão agrupados em padrões lineares, em arco ou círculos? Por quê?

Se as cores revelam a profundidade dos terremotos, que cor está representando os terremotos mais rasos? E os mais profundos?

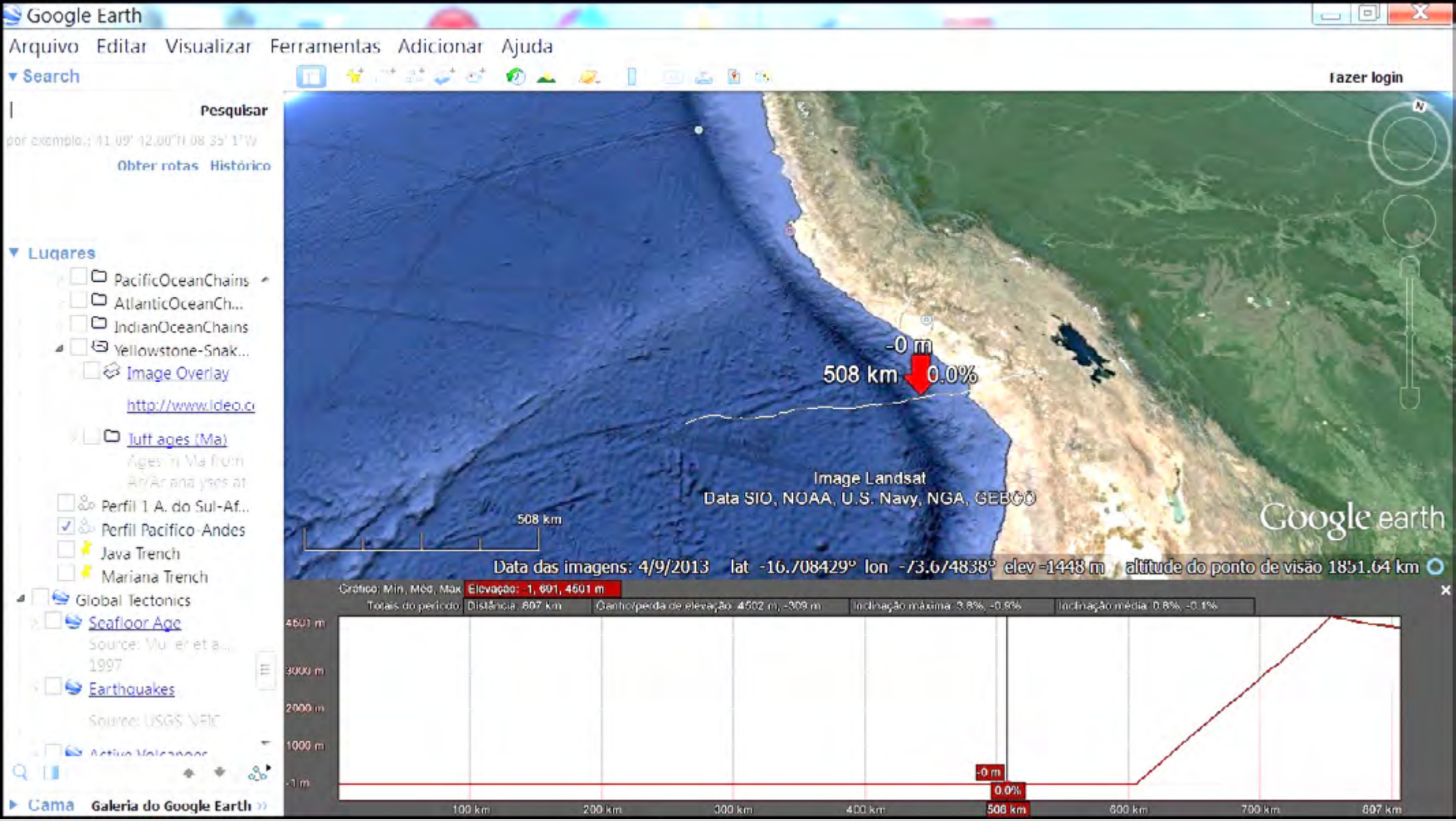


Figura 17. Perfil batimétrico ao longo da margem oeste da América do Sul.

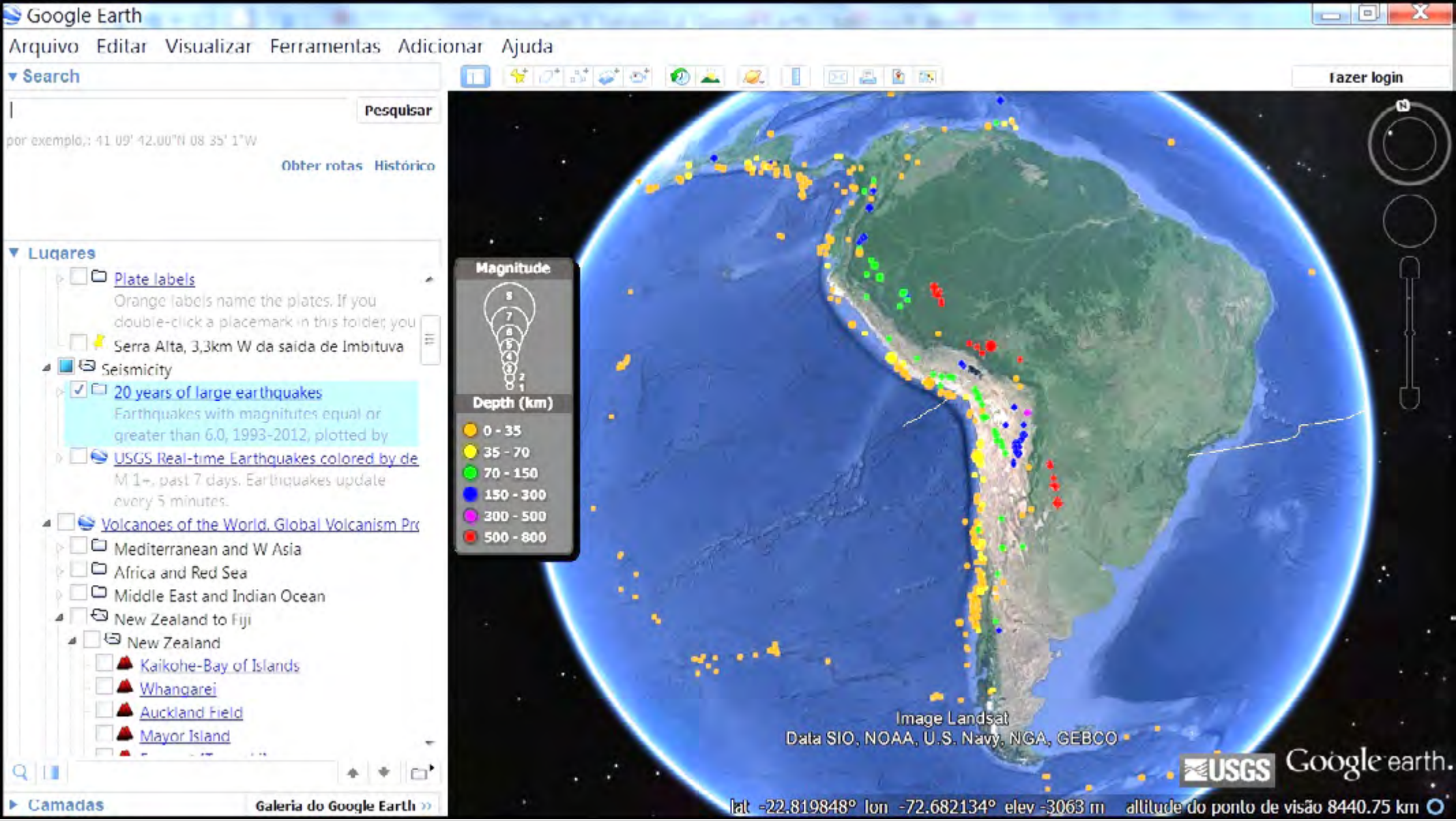


Figura 18. Camada com a intensidade e profundidade dos terremotos na da América do Sul.

Complete o quadro abaixo.

O que os dados do quadro e das imagens acima mostram? Existe algum padrão com relação aos terremotos que ocorrem nas áreas centrais dos oceanos, como no caso do NE do Atlântico **(Figura 19)**? E ao longo da margem pacífica da América do Sul **(Figura 20)**? Como estão distribuídos com relação às profundidades? O que indicam com relação à espessura da crosta?

Local	Cor predominante	Outras cores	Profundidades	Simétricos ou Assimétricos (aproxime o zoom)
Terremotos no Oceano Atlântico, NE do Brasil (= dorsal meso-oceânica) **(Figura 19)**				
Terremotos na margem oeste da América do Sul **(Figura 20)**				

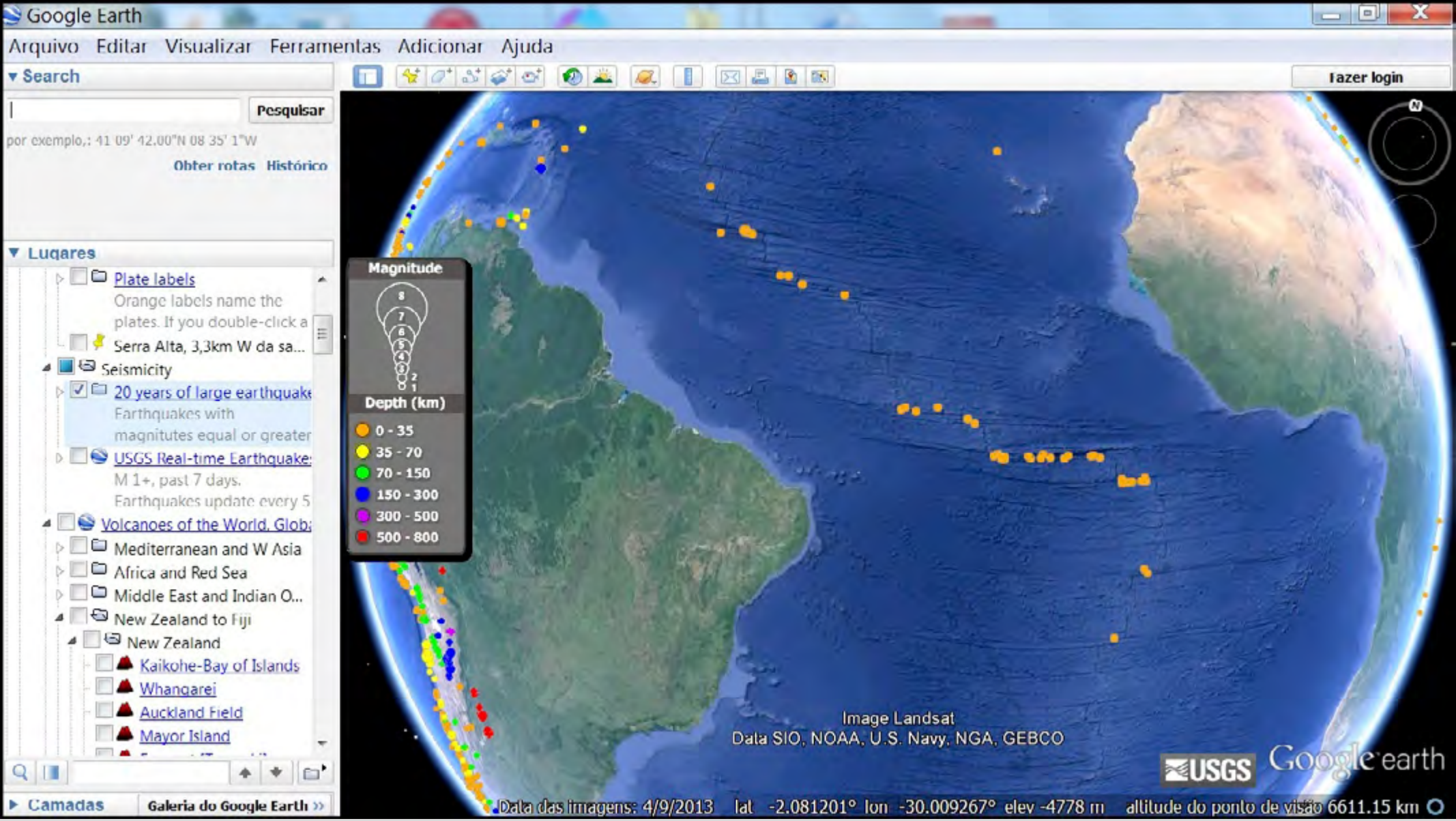


Figura 19. Camada com a intensidade e profundidade dos terremotos na margem leste da América do Sul, NE do Brasil.

Interpretando os padrões vulcânicos da Terra

Deixando a "camada Sismicidade" selecionada, clique agora na "camada Vulcões" (*Active Volcanoes*) **(Figura 20)**. O que é observado? Clique em todos os vulcões. Existe alguma relação entre a distribuição dos vulcões e terremotos. Estão distribuídos ao acaso? O que ocorre no território brasileiro?

Interpretando os limites de placas

Remova a seleção de todas as pastas e camadas e clique em "plate boundary model", como na **figura 21**.

Localize os limites entre as placas, em especial entre a Placa Sul-americana e Africana. Onde este limite está situado, com relação às costas do Brasil e África?

Remova a seleção da pasta "plate boundary model". Como você identificaria os limites de placas? Quais dos critérios anteriormente vistos você empregaria? Explique.

Selecione novamente pasta *plate boundary model* e localize a placa de Nazca. Onde está situado o limite desta placa, com relação ao limite da Placa Sul-americana? Novamente remova a seleção da pasta *plate boundary model*. Como você identificaria os limites de placas? Quais critérios dos anteriormente vistos você empregaria? Explique.

Interpretando a movimentação das placas

Você irá agora selecionar a pasta com as "Idades do Assoalho Oceânico" em *Seafloor age*. Você deve lembrar que, na média, a crosta continental (tipicamente granítica) tem 2 bilhões de anos; as rochas mais antigas conhecidas cerca de 3,8 bilhões de anos e grãos de zircão podem ser tão ou mais antigos.

Clique em *Seafloor age*, você deverá ver algo como na **figura 22**. Observe que as idades das rochas do assoalho oceânico estão em milhões de anos. O que você observa com relação às idades das rochas do assoalho oceânico (crosta oceânica, tipicamente basáltica)? Existe algum lugar no globo onde estas rochas possuem mais de 200 milhões de anos? Quem tem as rochas mais jovens, os oceanos (crosta oceânica) ou os continentes (crosta continental)?

Nos oceanos em que locais estão situadas às rochas mais jovens? Localize os limites entre as Placas Sul-americana e Africana e a dorsal meso-oceânica. O que ocorre com as idades do assoalho oceânico a partir do centro da dorsal? Como se dá o padrão de distribuição destas idades? Cada faixa colorida equivale a quantos milhões de anos?

Foque agora em todo o oceano Atlântico, qual a idade das rochas? Onde estão situadas as rochas mais antigas (no Norte ou no Sul)? O que isso indica com relação à abertura do oceano Atlântico? Quão mais antigo ou jovem é o Atlântico Norte em relação ao Sul?

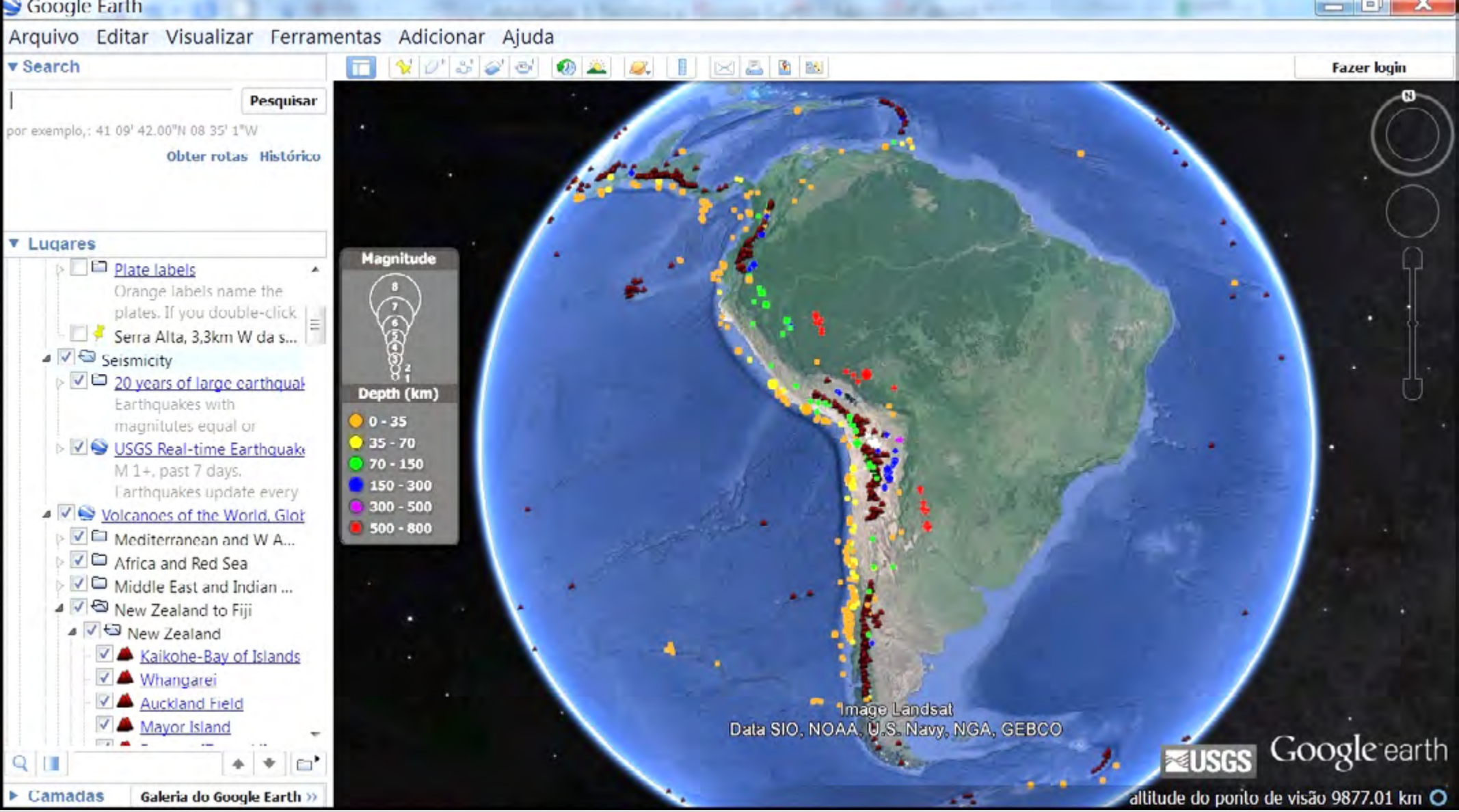


Figura 20. Camada com a intensidade e profundidade dos terremotos e os vulcões, na margem oeste da América do Sul.

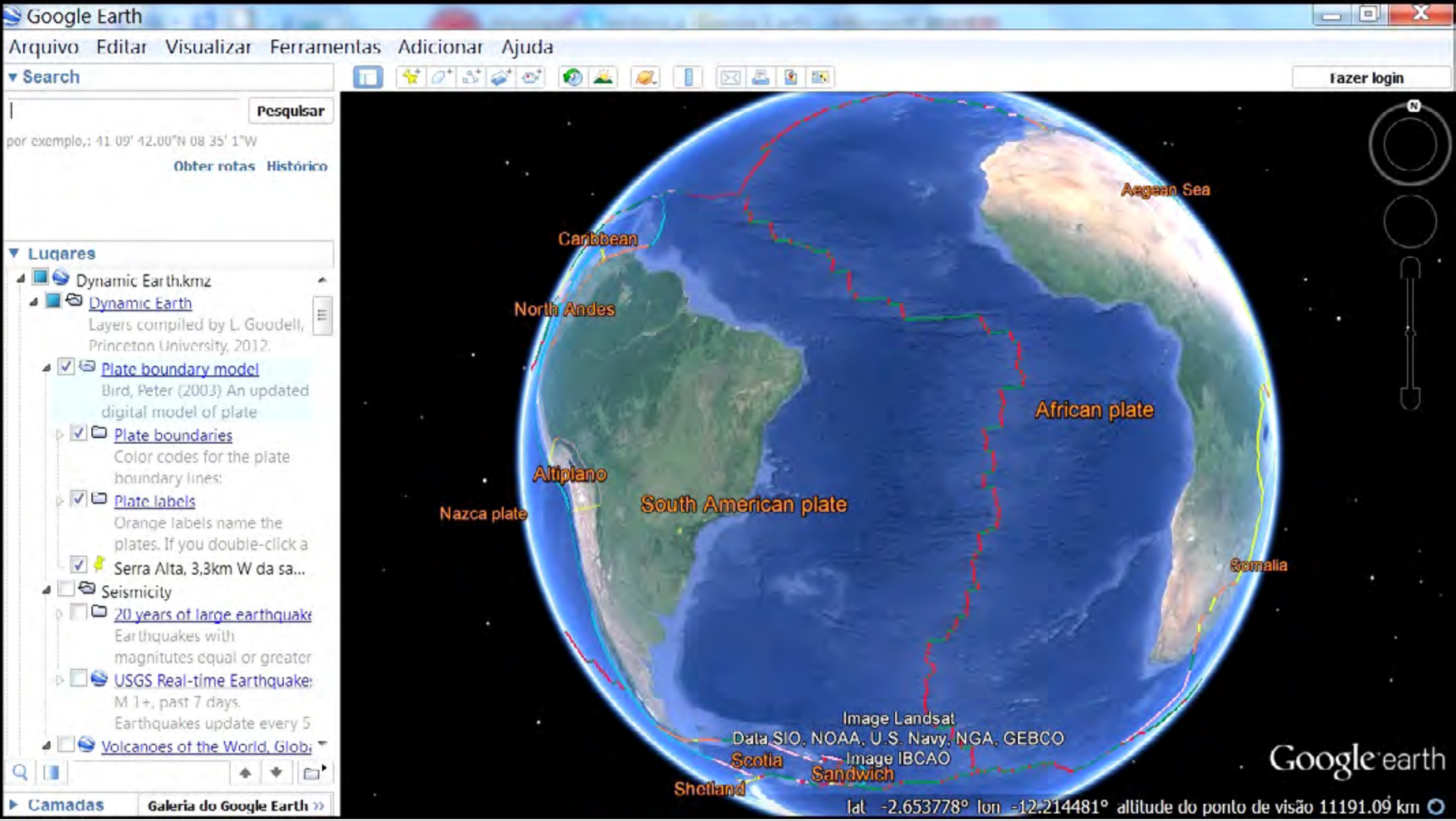


Figura 21. Camada ativada no GE, com os limites de placas.

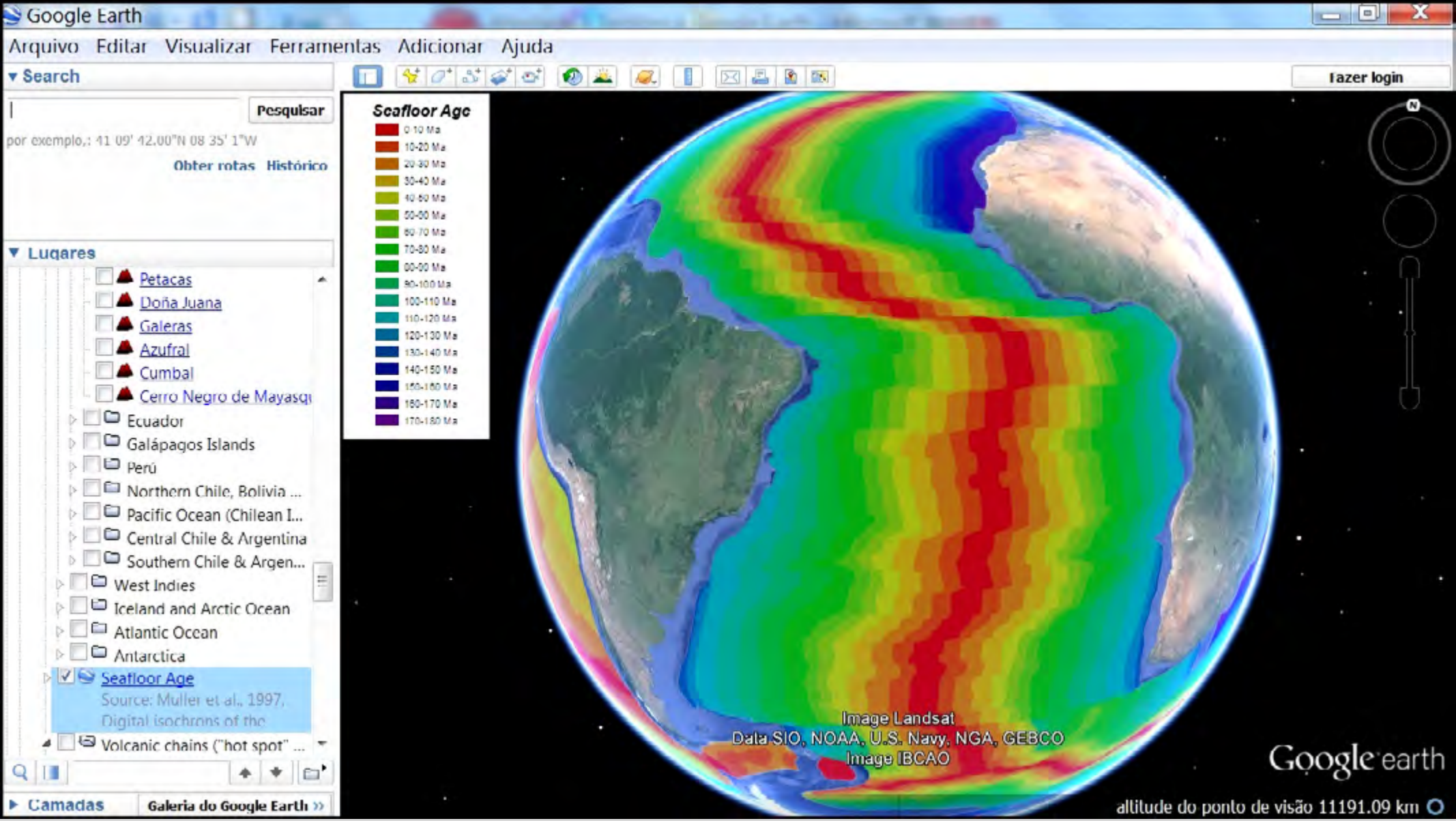


Figura 22. Camada com as idades do assoalho oceânico ativadas no GE.

Interpretando a tectônica global

No menu do GE selecione a opção “Visualizar” e clique em *Grade*. Clique em todas as pastas do DynamicEarth.kmz e ao longo de aproximadamente 10° de latitude sul viaje pelo globo até 130° de longitude oeste. Passe pela Placa Africana, Sul-americana e de Nazca e vá até o Pacífico Central. Após visite as Ilhas do Havaí e as ilhas vulcânicas do Atlântico. Use o GE para lhe fornecer as imagens e camadas, tais como: a- os limites de placas, os terremotos, os vulcões e as cadeias de ilhas vulcânicas e a idade do assoalho oceânico. Combine estas informações com os grandes padrões topográficos e batimétricos estudados no início desta atividade. Ao final clique **aqui** para ver um vídeo de como a Tectônica Global funciona. Você encerrou sua jornada tectônica, mas o GE pode oferecer muitas outras. Estude, arrume a tralha e vá, por exemplo, para a ilha de Silfra, na Islândia. Onde ela está posicionada com relação aos grandes elementos da Tectônica Global? Como é formada e por quê? Vá a Los Angeles e São Francisco e veja os limites de placas. Qual limite está presente nesta área?

Boa viagem!

REFERÊNCIA

SCHOBBENHAUS, C. & BRITO NEVES, B. B. 2003. A Geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: L. A. BIZI; C. SCHOBBENHAUS; R. M. VIDOTTI & J. H. GONÇALVES (orgs.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília- DF, Serviço Geológico do Brasil-CPRM, 1:1-54.

SIMULANDO O PROCESSO DE FOSSILIZAÇÃO

7

Victor Eduardo Pauliv
Fernando A. Sedor

OBJETIVO

Demonstrar e exemplificar princípios básicos de sedimentação, formação de camadas sedimentares (estratificação) e de fósseis (processo de fossilização). Demonstrar o princípio de sobreposição de camadas sedimentares.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental e Médio.

MODALIDADE

Atividade demonstrativa pelo professor ou grupos de quatro alunos.

TEMPO DE EXEUÇÃO

Aproximadamente 60 minutos.

MATERIAL

Alginato de uso odontológico; água; recipiente para simular uma Bacia Sedimentar (de preferência transparente para depositar o alginato preparado); recipiente para preparar o alginato (preferencialmente recipiente flexível ou cuba para preparação de gesso odontológico); três recipientes para preparar a mistura de alginato e corante; corantes para tinta acrílica de três diferentes cores; espátula plástica ou de metal; objetos para simular organismos fossilizáveis (conchas de bivalves, folhas, miniaturas de dinossauros de plástico, ossos de galinha, entre outros).

PROCEDIMENTO

Para iniciar a atividade acomoda-se o recipiente transparente, que simulará a Bacia Sedimentar, sobre uma bancada ou mesa. Em seguida prepara-se o alginato na quantidade desejada, acrescentando água ao pó de alginato e misturando-os com o auxílio de uma espátula em recipientes apropriados. Acrescentar corante/pigmento à mistura. Após a mistura ficar homogênea despeja-se o conteúdo no recipiente que simulará a Bacia Sedimentar (obs: dependendo da temperatura e quantidade de água do alginato, o mesmo pode solidificar em poucos minutos). Esta corresponde à primeira camada a ser depositada na Bacia Sedimentar. Antes de o alginato sofrer total geleificação, os objetos destinados a representar os futuros fósseis (ossos, conchas, folhas etc.) deverão ser acomodados sobre esta camada, pressionando-os levemente contra a superfície de alginato **(Figura1)**.

Deve se aguardar alguns minutos para a geleificação completa da primeira camada e, em seguida, prepara-se mais alginato para representar a deposição da segunda camada, que deve receber corante/pigmento de outra cor. Esta segunda camada deve ser despejada sobre a camada anterior de alginato contendo conchas, simulando um segundo evento de deposição sedimentar **(Figura 2)**.

Figura 1. Primeira camada de alginato contendo conchas.

Figura 2. Segunda camada alginato contendo peças plásticas de esqueletos de dinossauros

Este procedimento pode ser repetido quantas vezes forem necessárias, utilizando-se diferentes cores de corante/pigmento e acrescentando-se objetos diferentes para representar os fósseis entre cada camada (que podem ter espessuras variadas). Recomenda-se que a demonstração tenha no mínimo três camadas **(Figura 3)**.

Após a total geleificação da última camada de alginato (camada superior), é possível observar através do recipiente transparente os vários eventos de sedimentação, com suas camadas sobrepostas **(Figura 4)**. Neste caso, a geleificação do alginato simula a litificação, ou seja, a transformação do sedimento em rocha e a sobreposição das camadas exemplifica o preenchimento de uma Bacia Sedimentar, evidenciando sua estratificação.

Posteriormente, o conjunto de camadas deve ser removido cuidadosamente do interior do recipiente transparente e cada uma delas deve ser separada delicadamente das outras **(Figuras 5 e 6)**.

Assim, pode-se demonstrar que os objetos colocados entre as camadas (ossos, conchas, folhas etc.) ficam envolvidos pelo alginato, simulando, a fossilização dos organismos. Além disso, pode-se explicar também como são formados impressões (no caso de organismos planos como folhas) e moldes externos (no caso de objetos tridimensionais) **(Figuras 7 e 8)**.

Figura 3. Terceira camada de alginato contendo de ossos de galinha.

Figura 4. As três camadas sobrepostas ilustrando o preenchimento da Bacia Sedimentar.

Figura 5. Separação da segunda e terceira camadas.

Figura 6. Separação da primeira e da segunda camada.

Figura 7. Moldes externos das conchas.

Figura 8. Moldes externos dos esqueletos de dinossauros.

GLOSSÁRIO

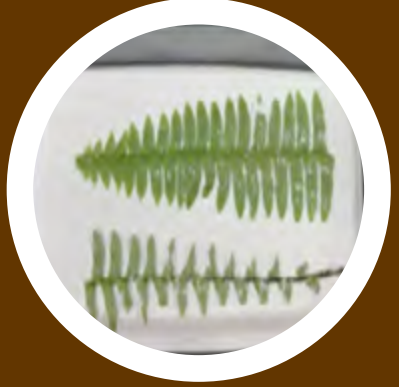
Definições baseadas em: Leinz V. & Leonardos O.H. 1971. Glossário geológico. São Paulo: São Paulo Editora, 236p.

Bacia sedimentar: depressão ou cavidade de dimensões variáveis capaz de receber e acumular sedimentos.

Estratificação: estratos (camadas), lentes ou cunhas de rochas sedimentares distinguíveis uma das outras por diferenças na textura, resistência, cor, composição mineralógica, etc. É formada por modificações periódicas ou não na natureza ou na quantidade do material depositado.

Litificação: consolidação de material líquido ou de partículas em rocha sólida.

Sedimentação: nome dado ao processo de deposição e acúmulo de sedimentos em corpos d'água ou meio aéreo. Acontece quando a força da gravidade é maior do que a força transportadora (sedimentos clásticos), pela morte ou atividade de organismos (sedimentos orgânicos) ou quando o meio se torna supersaturado de algum soluto (sedimentos químicos).



8 SIMULANDO A FORMAÇÃO DE IMPRESSÕES FOLIARES

Veridiana Ribeiro
Esther Pinheiro
Isabela Degani Schmidt

OBJETIVO

Exemplificar o processo de fossilização de impressões foliares; demonstrar o surgimento dos grandes grupos vegetais no tempo geológico; ilustrar o processo de sobreposição de camadas sedimentares; comparar a morfologia foliar dos grupos de pteridófitas, gimnospermas e angiospermas atuais e fósseis.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual ou em grupo.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Aproximadamente 60 minutos.

MATERIAL

Água; 300g de gesso em pó; espátula plástica ou de metal; recipiente para preparar o gesso; recipientes para acomodar o gesso (para secagem); exemplares foliares (pteridófitas, gimnospermas e angiospermas - ver sugestões na **tabela 1**); tinta guache; caneta hidrocor; pinceis; lupa de mão; **Tabela do Tempo Geológico e questões para debate** impressos em folha A4.

Tabela 1. Exemplos de gêneros atuais de pteridófitas, gimnospermas e angiospermas.

Pteridófitas		Gimnospermas		Angiospermas	
Gênero	**Nome popular**	**Gênero**	**Nome popular**	**Gênero**	**Nome popular**
Nephrolepis	Samambaia	*Podocarpus*	Pinheiro- bravo	*Prunu*	Ameixa- amarela
Adiantum	Avenca	*Sequoiadendron*	Sequoia	*Mangifera*	Mangueira
Dicksonia	Xaxim	*Cupressus*	Cipreste	*Rosa*	Rosa
Equisetum	Cavalinha	*Araucaria*	Araucária	*Arundina*	Orquídea
Selaginella	Selaginela/ Musgo-renda	*Ginkgo*	Ginco	*Citrus*	Laranjeira

PARTE 1

Procedimento em sala de aula

Primeiramente, colocar no recipiente escolhido para a preparação o gesso (300 g) e a água (100 ml), misturando até ficar com aspecto homogêneo. Em seguida despejar a mistura em um novo recipiente e depositar na superfície o exemplar foliar escolhido.

Aguardar de 4 a 5 minutos e retirar as folhas da superfície do gesso. Depois, aguardar a secagem **(Figura1)**.

Após a secagem, retirar as placas de gesso do recipiente e destacar o exemplar foliar. Como resultado, tem-se a impressão dos ramos ou folhas no gesso.

Nesta atividade o gesso representará a rocha sedimentar e a impressão da planta representará a impressão do fóssil **(Figura 2)**. Este procedimento deve

Figura 1. Preparação do gesso contendo exemplares foliares de samambaia (pteridófita) *Nephrolepis*.

ser repetido três vezes, utilizando-se diferentes exemplares foliares. O ideal é que se tenha, ao final, um representante de pteridófita, um de gimnosperma e um de angiosperma. As placas de gesso poderão ser coloridas com três diferentes cores, simulando distintos tipos de rochas sedimentares **(Figuras 3 e 4)**.

Confeccionar mais nove placas de gesso sem exemplares foliares, as quais representarão períodos geológicos. Estas placas devem ser coloridas com cores diferentes daquelas utilizadas nas placas de gesso com as folhas impressas **(Figura 5)**. No final têm-se um total de 12 placas de gesso,

Figura 2. Gesso seco com a impressão foliar de *Nephrolepis*.

Figura 3. Placa de gesso colorida.

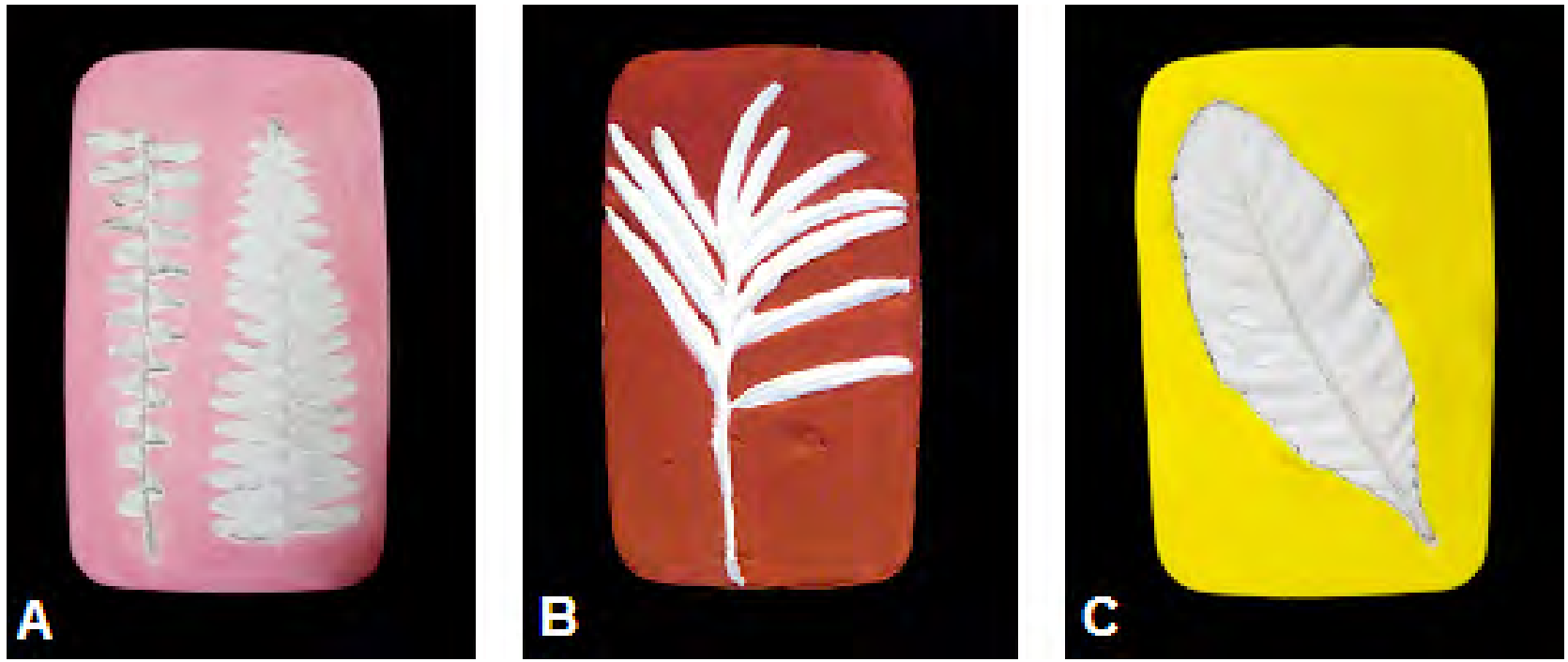


Figura 4. Placas de gesso exemplificando impressões foliares de (A) pteridófitas (*Nephrolepis* - nome popular samabaia), (B) gimnospermas (*Podocarpus* - nome popular pinheiro bravo) e de (C) angiospermas (*Prunu* - nome popular ameixa-amarela).

sendo 9 lisas e 3 com impressões foliares.

Após todas as placas estarem devidamente coloridas, escrever, com caneta hidrocor, o nome dos períodos geológicos, desde o Cambriano até o Quaternário com apoio de uma Tabela do Tempo Geológico **(Figura 6)**. Na opção de utilizar uma maior divisão do tempo geológico (por exemplo, Pleistoceno e Holoceno ao invés de Quaternário) basta aumentar o número de placas.

Figura 5. Exemplo de placas de gesso coloridas sem exemplares foliares.

Como um dos objetivos da atividade é mostrar o surgimento dos grandes grupos vegetais ao longo do tempo, nomeia-se (com caneta hidrocor) a placa com impressões de pteridófitas como DEVONIANO, a placa contendo marcas de gimnospermas como PERMIANO e denomina-se como CRETÁCEO a placa com vestígios de angiospermas **(Figura 7)**. Estes períodos marcam o início do registro fóssil dos três grupos de plantas. Por fim, as placas de gesso devem ser empilhadas na ordem cronológica correta, do período mais antigo ao mais recente. Além disso, a sobreposição das placas demonstra a sobreposição das rochas com a presença, ou não, de fósseis **(Figura 8)**.

ERA	PERÍODO	IDADE (Ma)
CENOZOICA	Quaternário	2,5
	Neógeno	23
	Paleógeno	66
MESOZOICA	Cretáceo	145
	Jurássico	201
	Triássico	252
PALEOZOICA	Permiano	298
	Carbonífero	358
	Devoniano	419
	Siluriano	443
	Ordoviciano	485
	Cambriano	541
Pré-Cambriano		4.600

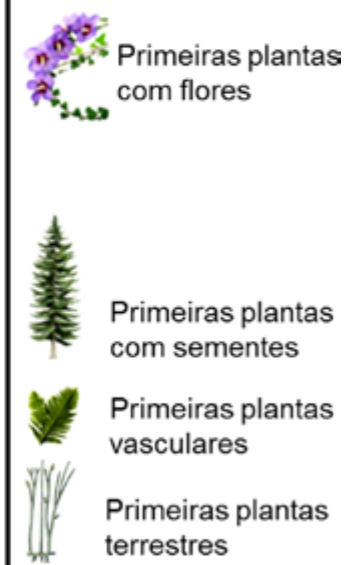


Figura 6. Tabela do Tempo geológico.

Figura 7. Exemplos de placas devidamente identificadas com seus respectivos nomes dos períodos geológicos.

PARTE 2

Visita ao museu

Sugere-se que os alunos sejam conduzidos a um Museu de Paleontologia, de Ciências Naturais (ver link www.sbp.brasil.org/museus) ou à uma exposição paleontológica para relacionarem o material produzido em sala de aula, com fósseis vegetais expostos, na forma de impressões e compressões foliares. Durante a visita ao museu, o professor deve estimular a comparação entre as diferentes marcas produzidas em aula e as geradas pelo processo de fossilização natural. Além disso, os alunos podem observar as diferenças morfológicas foliares dos três grupos vegetais em questão, comparando os exemplares atuais, produzidos em aula, com os fósseis **(Figura 9)**.

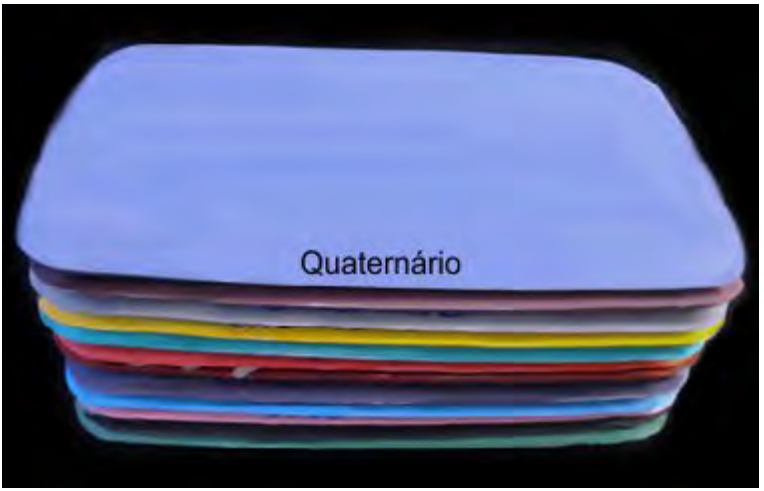


Figura 8. Finalização da primeira parte da atividade, com as placas de gesso sobrepostas, representando os diferentes períodos do tempo geológico.

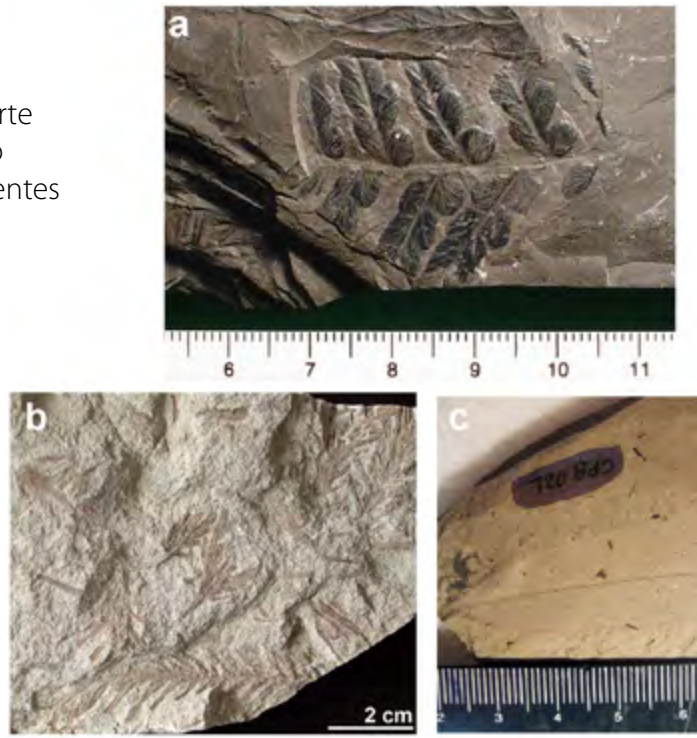


Figura 9. Amostras fósseis. Pteridófita (a), gimnosperma (b) angiosperma (c) do Museu de Paleontologia do Instituto de Geociências da UFRGS. Fotos: Luiz Flávio Lopes (a), Isabela Degani Schmidt (b) e Simone Carolina Sousa e Silva (c).

PARTE 3

Questões que o professor poderá debater com os alunos sobre a atividade realizada:

1) Por que a impressão da planta é preservada em ambiente úmido e/ou meio aquoso?

2) Por que as folhas desaparecem na rocha, permanecendo somente sua impressão?

3) Em que período ocorrem os primeiros registros das pteridófitas? Isso se refere a quantos milhões de anos atrás?

4) Em que período ocorrem os primeiros registros das gimnospermas? Isso se refere a quantos milhões de anos atrás?

5) Em que período ocorrem os primeiros registros das angiospermas? Isso se refere a quantos milhões de anos atrás?

6) Quando as angiospermas surgiram, sumiram as gimnospermas e as pteridófitas?

7) Diferentes grupos de vegetais podem ocorrer simultaneamente em uma mesma camada de rocha?

REFERÊNCIAS

BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. & MUNE, S. E. 2011. A origem e a evolução das angiospermas. In: I.S. CARVALHO (ed.) Paleontologia, 3ª ed., v. 3, Rio de Janeiro: Interciência, p. 3347- 383.

IANNUZZI, R.; VIEIRA, C.E. L. 2005. Paleobotânica. Porto Alegre: EDUFRGS.

IANNUZZI, R. & CARDOSO, N. 2011. Pteridófitas. In: I.S. CARVALHO (ed.) Paleontologia, 3ª ed., v. 3, Rio de Janeiro: Interciência, p. 234-269.

SOMMER, M.G. & PIRES, E. F. 2011. Gimnospermas. In: I.S. CARVALHO (ed.) Paleontologia, 3ª ed., v. 3, Rio de Janeiro: Interciência, p. 273-331.

SOMMER, M. G. & PIRES, E. F. 2011. A conquista do ambiente terrestre pelas plantas. In: I.S. CARVALHO (ed.) Paleontologia, 3ª ed., v. 3, Rio de Janeiro: Interciência, p. 333-346.

9 RECONHECENDO ICNOFÓSSEIS DE DINOSSAUROS

Heitor Francischini
Paula C. Dentzien-Dias

OBJETIVO

Integrar o conhecimento sobre diferentes grupos de dinossauros e seus vestígios, relacionando a anatomia de seus membros e a morfologia de suas pegadas.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais).

MODALIDADE

Individual ou em dupla.

TEMPO DE EXECUÇÃO

45 minutos.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

O professor deverá fornecer aos alunos cópias da **figura 1**.

Nela estão representadas algumas trilhas formadas por pegadas de diferentes grupos de dinossauros. O professor deverá pedir aos alunos que indiquem as principais diferenças entre os tipos e tamanhos das pegadas, como a quantidade de pegadas por trilha, a quantidade de dedos por pegada, presença ou ausência de garras, forma das pegadas, etc. Os dados devem ser anotados na **Tabela**.

Em seguida, peça que os alunos identifiquem as diferentes trilhas formadas por cada animal produtor, pintando as pegadas da mesma trilha com a mesma cor (ver exemplo na **figura 3**).

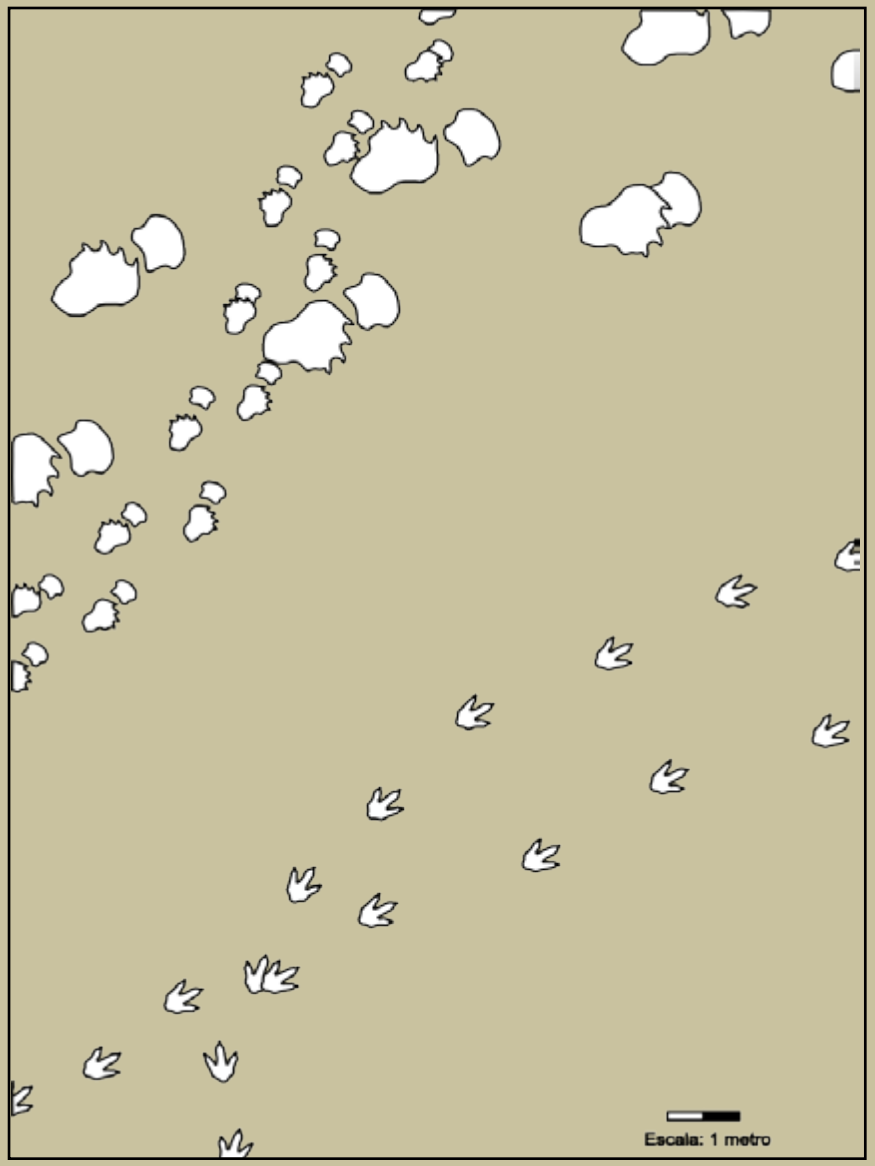


Figura 1. Quadro com trilhas de pegadas de diferentes dinossauros.

Tipo de pegada	Número de pegadas por trilha	Número de dedos por pegada	Postura bípede ou quadrúpede	Possível produtor da trilha

Tabela a ser preenchida pelos alunos, com base na **Figura 1**.

Feito isso, o professor deverá apresentar aos alunos algumas reconstruções artísticas de dinossauros, permitindo que os alunos relacionem a anatomia do animal (forma e tamanho das patas, postura bípede ou quadrúpede) com as pegadas analisadas.

Sugerimos a apresentação dos seguintes grupos de dinossauros: um terópode, um saurópode, um ornitópode e uma ave. É desejável que tais reconstruções apresentem, de forma nítida, a morfologia dos membros e das mãos e pés de cada um dos dinossauros, para que os alunos possam se ater às principais diferenças entre eles e indicar o possível organismo produtor (neste caso, um grupo produtor). Após a identificação dos produtores das pegadas, os alunos deverão completar as informações na **Tabela**.

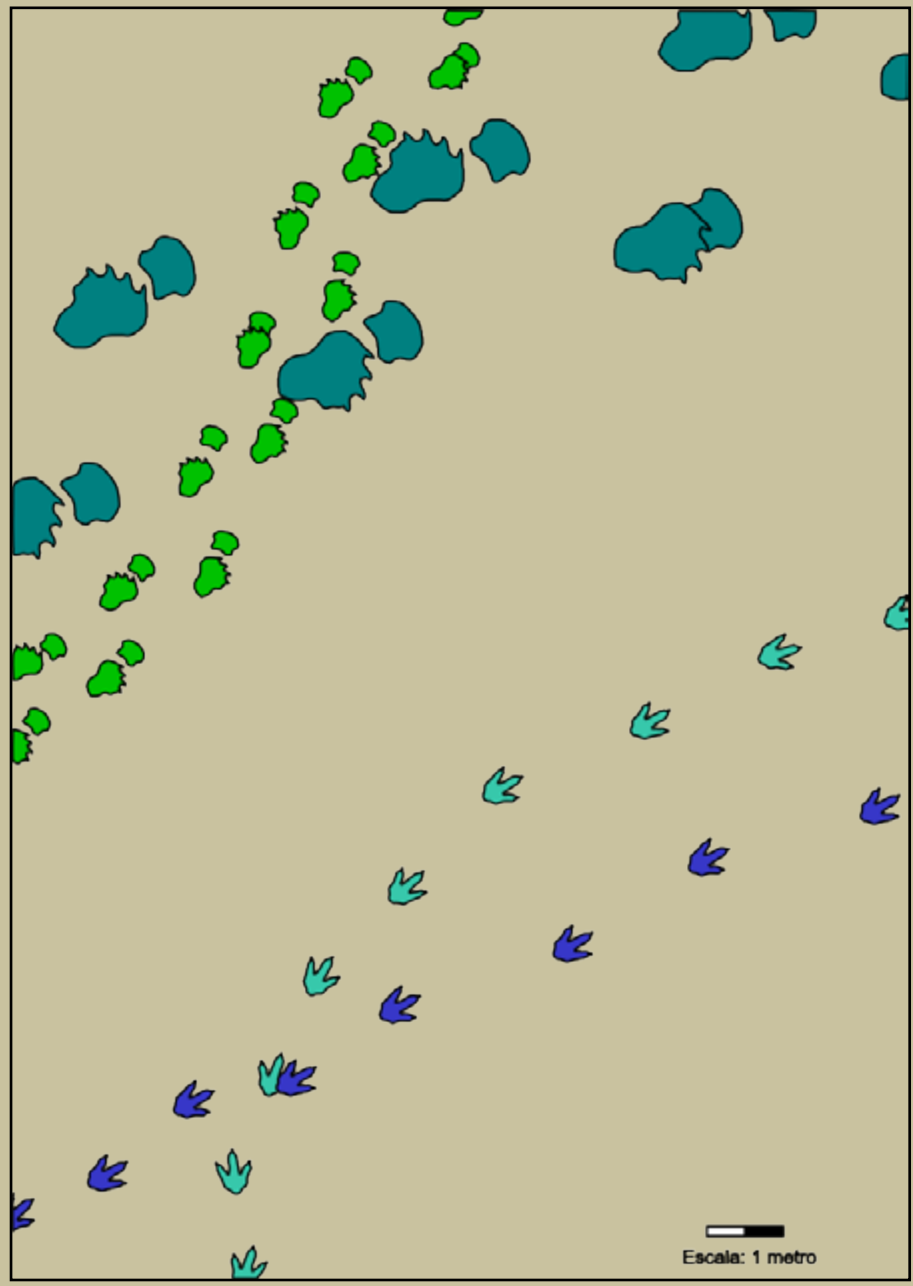


Figura 3. Quadro com quatro trilhas de pegadas de dinossauros, identificadas por cores.

Como atividade adicional, sugerimos que o professor peça que os alunos representem, na forma de desenho, como deveria ser o ambiente que proporcionou a preservação das pegadas, ilustrando a quantidade exata de indivíduos, de cada grupo inferido de dinossauros, e de suas pegadas.

10

INTERPRETANDO ICNOFÓSSEIS:

PEGADAS E IMPRESSÕES

Veridiana Ribeiro
Gabrielli T. Gadens Marcon

OBJETIVO

Simular a análise de um registro icnofossilífero; reconstituir a história mais provável do acontecimento a partir das trilhas de pegadas; estimular a criatividade e a percepção sobre assuntos relacionados à paleontologia. Esta atividade foi adaptada de Amabis & Martho (2004).

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos iniciais).

MODALIDADE

Atividade em grupo.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Aproximadamente 30 minutos.

MATERIAL

Argila; água; suporte de madeira para a argila; filme PVC transparente (plástico filme); tinta guache; pinceis; palito de dentes.

INTRODUÇÃO

Aves de grande massa corporal (1,5 a 3 metros de altura) viveram na Era Cenozoica até cerca de dois milhões de anos atrás. Possuíam grandes bicos afiados, recurvados para baixo, capazes de perfurar e rasgar a carne de suas presas. Apresentavam patas longas e robustas e asas atrofiadas. Eram, portanto, boas corredoras, mas

incapazes de voar. Por terem sido carnívoras vorazes, estas aves são chamadas "aves do terror". Muitas delas, pertencentes à família Phorusrhacidae, habitaram a América do Sul, como *Paraphysornis* (no Brasil), e *Physornis* e *Phorusrhacos* (Argentina). Na América do Sul, os Phorusrhacidae sobreviveram até o início do período Pleistoceno (Alavarenga & Höfling, 2011). *Titanis* é uma forma do Plioceno que atingiu a América do Norte depois do estabelecimento do istmo do Panamá (ligação entre as América do Norte e América do Sul). *Titanis* conviveu com uma série de mamíferos, entre eles *Smilodon*, o famoso tigre de dentes-de-sabre. Esta atividade simula um evento de perseguição e embate entre um *Smilodon* (no papel de predador) e dois *Titanis* **(Figura 1)**, que ficou registrado através de seus icnofósseis, e que pode ser reconstituído pela da análise das trilhas de pegadas, rastros e impressões deixados pelos animais.

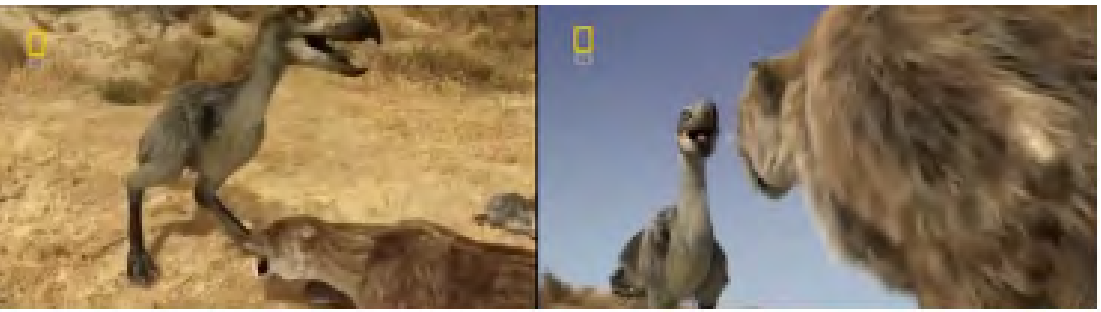


Figura 1. Cenas do Documentário Terror Raptor, National Geographic, 2008
Fonte: http://natgeotv.com/uk/prehistoric-predators/videos/prehistoric-predators-terror-raptor.

PROCEDIMENTO

PARTE 1
Elaboração da atividade (procedimento a ser realizado pelo professor)

1) Revestir o suporte de madeira com filme plástico, para a argila não aderir **(Figura 2)**.

2) Distribuir a argila sobre o suporte até ficar com aspecto plano. Sugere-se molhar as mãos para nivelar a argila e deixá-la mais lisa **(Figura 3)**.

3) Desenhar as impressões sobre a argila, na forma de pegadas de dois tipos de animais distintos: o predador e a presa.

Figura 2. Preparação do suporte de madeira com filme plástico.

Figura 3. Argila nivelada sobre o suporte.

Figura 4. Trilhas de pegadas simbolizando um pássaro e um mamífero predador.

Os traços mais finos, que representam as pegadas da presa (pegadas de pássaros), e os vestígios de penas foram feitos com o auxílio de um palito de dentes **(Figura 4A)**. As pegadas do predador e o rastro entre elas, foram feitos com a extremidade superior de um pincel (de tamanho médio) **(Figura 4B)**.

Depois de concluído o procedimento, será possível observar as pegadas do predador, vindas do Norte e as pegadas de dois pássaros (as presas), vindas do Sul, além de vestígios de penas e outros rastros **(Figura 5)**.

As pegadas devem ser pintadas de duas diferentes cores. A pegada do predador foi pintada de branco e as pegadas das presas, de vermelho e azul. O rastro entre as pegadas do predador foi pintado de verde (as cores podem ser alteradas conforme a preferência do professor). A pintura facilita a visualização das diferenças entre pegadas do predador e das presas **(Figura 6)**.

Figura 5. Finalização das trilhas de pegadas, impressões e rastros (icnofósseis).

Figura 6. Pintura das pegadas e rastros na argila.

PARTE 2
Procedimento em sala de aula

Uma vez concluído o painel com os icnofósseis, o professor poderá expor o mesmo em sala de aula, a fim de que todos os alunos possam visualizá-lo. Os alunos poderão ser divididos em equipes (de até cinco) que terão a tarefa de interpretar as impressões contidas no painel e reconstruir o a história que aconteceu no passado geológico entre o mamífero *Smilodon* e as aves *Titanis*, com base nas evidências fornecidas pelo registro fóssil. As equipes deverão fazer um resumo de suas conclusões e expor suas hipóteses aos demais colegas. As hipóteses levantadas poderão ser comparadas no momento da discussão entre as diferentes equipes, quando as interpretações mais consistentes com as evidências apresentadas poderão ser escolhidas pelos alunos e compartilhadas em um único texto integrativo.

REFERÊNCIAS

AMABIS, J. M. & MARTHO, G. R. 2004. Biologia: Biologia das Populações, 2ª ed., v. 3, São Paulo: Editora Moderna, 438p.

ALVARENGA, H. & HÖFLING, E. 2011. Aves. In: I. S. CARVALHO (ed.). Paleontologia, 3ª ed., v.3. Rio de Janeiro: Interciência, p. 114-133.

ALVARENGA, H. & HÖFLING, E. 2003. Systematic revision of the Phorusrhacidae (Aves: Ralliformes). Papéis Avulsos de Zoologia, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 43(4):55-91.

11

APLICANDO OS PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTRATIGRAFIA

Marina Bento Soares

OBJETIVO

Aplicar os Princípios da Estratigrafia, postulados por Nicolaus Steno e James Hutton, em uma situação hipotética, a fim de estabelecer a ordem temporal de deposição de uma sequencia de camadas de rochas.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes de Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

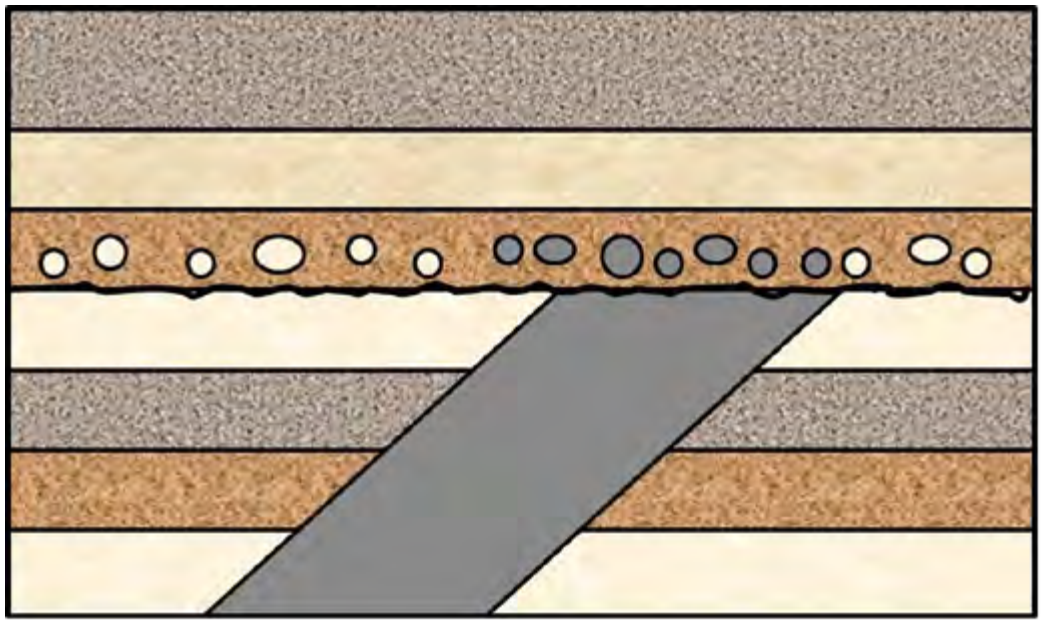
PROCEDIMENTO

1) Observar o diagrama a seguir.

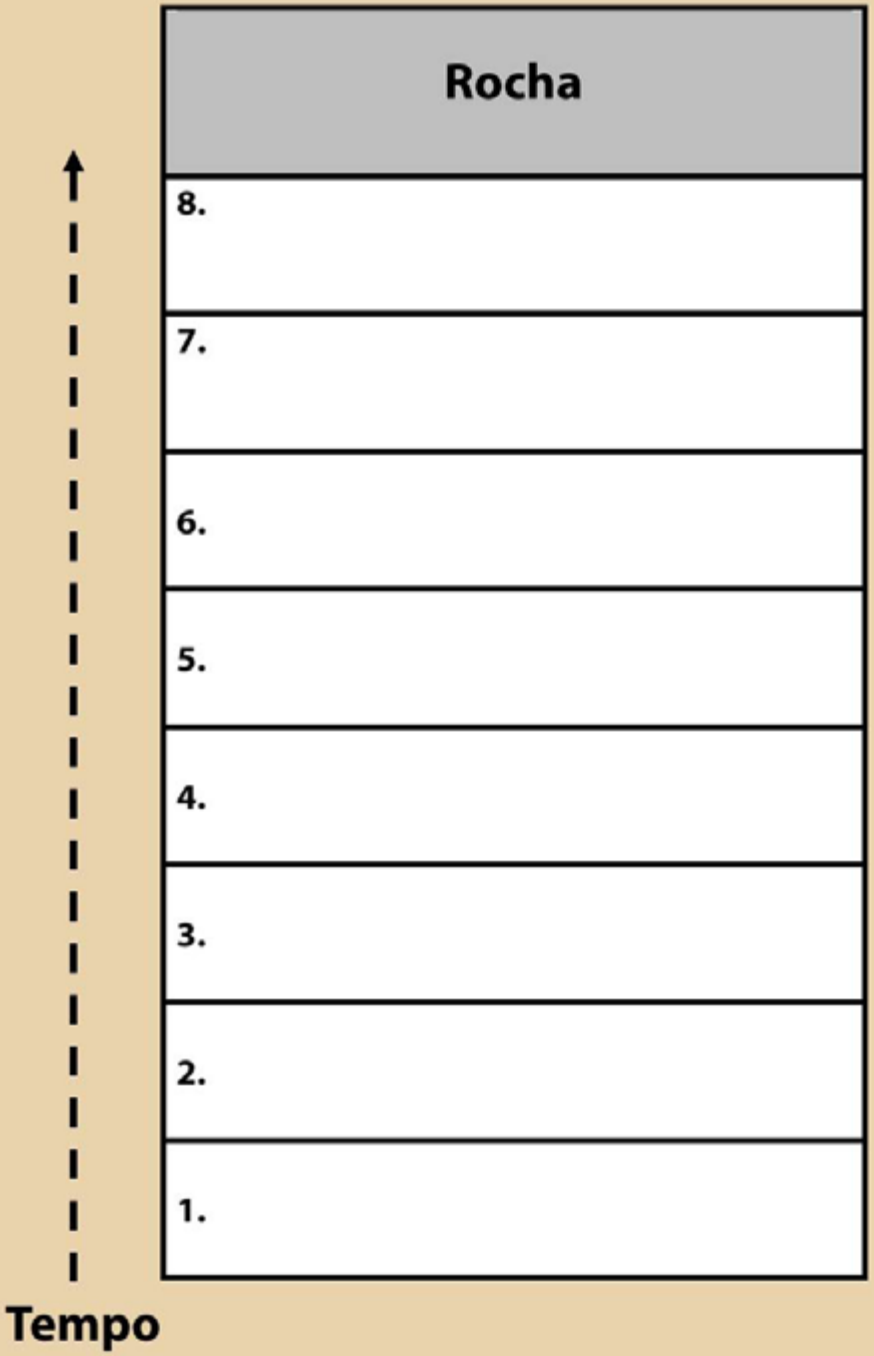
2) Com base nos princípios da estratigrafia **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**, indicar a ordem cronológica de deposição das camadas sedimentares e da intrusão ígnea, prenxendo o quadro.

Responda

Quais foram os princípios da estratigrafia utilizados para resolver a Questão 2? Explicar cada situação.



argilito
siltito
diabásio
arenito fino
arenito grosso



12

PRINCÍPIOS DA ESTRATIGRAFIA EM BLOCODIAGRAMAS

Bruno L. Dihl Horn

OBJETIVO

Aplicar os Princípios da Estratigrafia de Nicolaus Steno e James Hutton em quatro situações hipotéticas, a fim de estabelecer a ordem temporal de deposição de camadas de rocha, através da análise de blocodiagramas.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes de Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

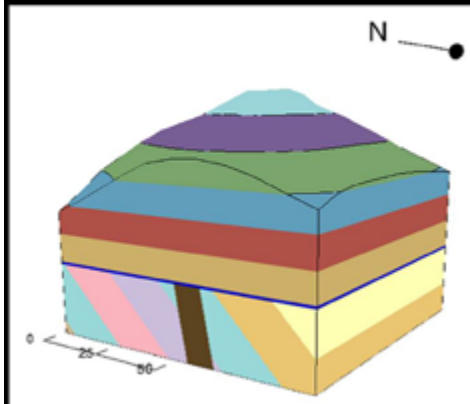
30 minutos.

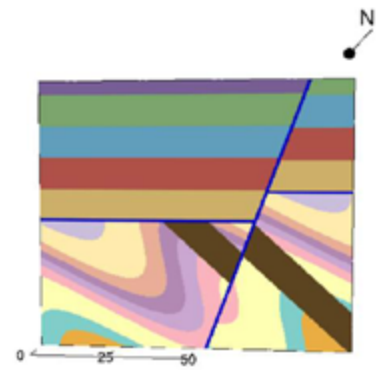
MATERIAL

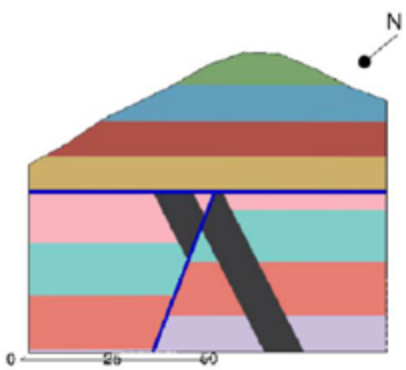
Atividade impressa em folha A4.

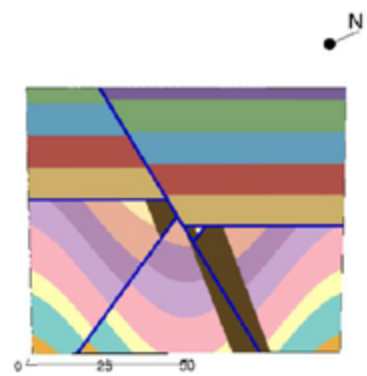
PROCEDIMENTO

Analisar os blocodiagramas abaixo, que representam sequencias de rochas depositadas em áreas geográficas distintas. Com base nos Princípios da Estratigrafia **(ver capítulo OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO)**, descrever a ordem cronológica dos eventos ocorridos em cada área, numerando as diversas camadas em ordem crescente (da mais antiga para a mais jovem. Na descrção dos eventos, quando necessário, utilizar o **Glossário de Termos Geológicos.**

BLOCODIAGRAMA 1	DESCRIÇÃO DOS EVENTOS
	

BLOCODIAGRAMA 3	DESCRIÇÃO DOS EVENTOS
	

BLOCODIAGRAMA 2	DESCRIÇÃO DOS EVENTOS
	

BLOCODIAGRAMA 4	DESCRIÇÃO DOS EVENTOS
	

GLOSSÁRIO DE TERMOS GEOLÓGICOS

Basculamento: Inclinação das camadas sedimentares em razão de falhas ou dobras.
Discordância: Superfície que separa duas camadas de rocha de tempos distintos. Significa que houve erosão entre a camada abaixo e acima.
Dique: intrusão ígnea vertical que corta as estruturas das rochas circundantes previamente depositadas.
Dobramento: "Enrugamento" das camadas causado por esforços tectônicos em profundidade, quando as rochas estão ainda quentes.
Erosão: desgaste/destruição das rochas e seu posterior transporte, em geral feito pela água da chuva, pelo vento ou, ainda, pela ação do gelo.
Falhamento: Rompimento das camadas causado por esforços tectônicos em superfície, com as rochas frias.

ATIVIDADE EXTRA

Este exercício foi criado com o auxílio de um aplicativo grátis na internet chamado *Visible Geology*. Crie você mesmo a história geológica de uma região e conte-a passo a passo! Visite http://visible-geology.appspot.com/ e divirta-se!

13

DATAÇÃO ABSOLUTA DE ROCHAS

Marina Bento Soares

OBJETIVO

Através de uma simulação, aproximar o estudante da compreensão dos métodos utilizados para datação absoluta de rochas. Esta atividade é uma adaptação da atividade "*Determining age of rocks and fossils*", disponível em www.ucmp.berkeley.edu.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes de Ensino Médio.

MODALIDADE

Grupos de 3 ou 4 alunos (nº total de grupos a critério do professor).

TEMPO DE EXECUÇÃO

60 minutos.

MATERIAL POR GRUPO

Uma caixa de papelão (ex. caixa de sapatos); dois copos plásticos; 100 confeitos coloridos ou 100 grãos de lentilha ou ervilha seca ou fichas plásticas de jogos de tabuleiro (as peças devem redondas e biconvexas ou chatas) **(Figura 1)**. Em cada peça deve ser feita uma marca (por exemplo, um "X" ou um ponto) em apenas uma das faces. Se optar pelos confeitos, os da marca "M & M", já vêm com a letra "M" marcada em uma das faces, o que facilita o trabalho. **Atividade** impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

Utilizar a seguinte convenção:
Confeitos ou grãos com a marca voltada para cima = isótopos-pais.
Confeitos ou grãos com a marca voltada para baixo = isótopos-filhos.

Figura 1. Exemplos de peças que podem ser usadas na atividade: lentilha seca, confeitos coloridos e fichas plásticas de jogos de tabuleiro.

1) Anotar o número do Grupo;

2) Colocar as 100 peças (representando 100% de "isótopos-pais") em um copo plástico, sacudi-las e jogá-las dentro da caixa de papelão. Cada jogada representa uma "meia-vida". Todas as peças que ficarem com a marca voltada para baixo representam os "isótopos-pais" que se transformaram em "isótopos-filhos". As peças que ficarem com a marca voltada para cima são os "isótopos-pais" que não se transformaram em "isótopos-filhos";

3) Retirar os "isótopos-filhos" da caixa (os que ficaram com a marca voltada para baixo), contá-los e, depois, descartá-los, pois não serão mais utilizados. Fazer uma contagem dos "isótopos-pais" que permaneceram na caixa (com a marca voltada para cima) e dos "isótopos-filhos" que foram descartados. Na tabela ao lado, na coluna do Grupo, anotar os resultados das duas contagens (IP = "isótopos-pais"; IF= "isótopos-filhos"), no Tempo 1;

4) Colocar novamente os "isótopos-pais" no copo, sacudi-los e jogá-los dentro da caixa de papelão. Retirar os "isótopos-filhos" e não mais utilizá-los. Fazer a contagem dos "isótopos-pais" que permaneceram na caixa e dos "isótopos-filhos" que foram descartados. Anotar os resultados, no Tempo 2 da tabela, na coluna do seu Grupo. Esse procedimento deve ser repetido por 7 vezes, anotando-se os resultados de cada jogada na tabela;

5) Consultando a tabela completa, construir um gráfico (Gráfico 1): na ordenada (eixo y) deve constar o número de "isótopos-pais" que permaneceu sem se transformar a cada jogada do grupo (i.e. a cada meia-vida); na abscissa (eixo x), o tempo de 1 a 7 é referente a cada jogada do grupo (i.e. cada meia-vida transcorrida). Obs: Tempo zero = 100 "isótopos-pais";

6) Ligar os pontos plotados no Gráfico 1 com uma linha;

7) No mesmo Gráfico 1, seguindo o mesmo procedimento, traçar a linha referente ao número "isótopos-filhos". (Obs: tempo zero = zero "isótopos-filhos");

JOGADA "meia-vida"	Proporção entre "isótopos-pais" / "isótopos-filhos"											
	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Média	
	IP	IF	IP	IF	IP	IF	IP	IF	IP	IF	IP	IF
T zero	100		100		100		100		100		100	
T 1												
T 2												
T 3												
T 4												
T 5												
T 6												
T 7												

8) Depois da coluna do seu grupo na tabela estar completa, compartilhar seus resultados com os demais grupos. A tabela agora deve ser preenchida com os valores obtidos por todos os grupos, nos tempos de 1 a 7. Calcular a média dos grupos a cada jogada (T 1 a 7) e completar a tabela;

9) Construir um novo gráfico (Gráfico 2), usando a mesma metodologia do Gráfico 1, porém com os valores referentes às médias de todos os grupos;

10) Ligar os pontos plotados no Gráfico 2 com uma linha;

11) Sobre cada um dos gráficos construídos (Gráfico 1 e Gráfico 2), traçar com lápis de cor a "linha teórica" referente aos "isótopos-pais".

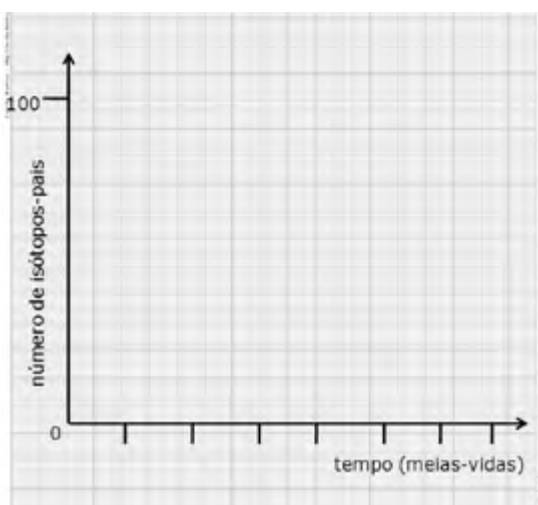


Gráfico 1. Gráfico com os resultados do Grupo.
Gráfico 2. Gráfico com a média dos resultados de todos os grupos.

Nesta linha, a cada jogada, o número de "isótopos-pais" é dividido exatamente pela metade (100; 50; 25; 12,5; 6,25; 3,125; 1,5625 etc.). Traçar, com lápis de outra cor, a "linha teórica" dos "isótopos-filhos". O número de "isótopos-filhos" cresce na proporção inversa (0; 50; 75; 87,5 etc.).

Responda

a) Nos gráficos 1 e 2, qual a linha se aproxima mais da linha teórica: a linha do grupo ou a linha com a média de todos os grupos? Justifique.

b) Suponha que encontrássemos uma rocha contendo a mesma razão entre isótopos-pais e isótopos-filhos registrada no tempo 5 da Tabela. Sabendo-se que a meia vida do U-235 contido nessa rocha é de $7{,}04 \times 10^8$ anos, qual seria a idade da rocha?

c) Em escavações feitas ao longo da margem de um rio, foram encontrados pedaços de carvão vegetal junto a fragmentos de ossos carbonizados de veados e coelhos, soterrados por areia. Provavelmente trata-se de restos de animais que foram cozidos por humanos em uma fogueira. A análise do carvão vegetal mostrou que 1/8 do C^{14} permanecia na amostra de carvão. Qual a idade do carvão? É possível estimar a idade dos restos de animais? Justifique. (Obs. meia vida do C^{14} = 5.704 anos).

14

OS FÓSSEIS E A DATAÇÃO RELATIVA

Marina Bento Soares

OBJETIVO

Através de uma analogia, demonstrar a utilidade dos fósseis na ordenação das camadas de rochas no tempo e na correlação entre diferentes camadas de rochas, relacionando os Princípios da Bioestratigrafia implicados na Datação Relativa de rochas e fósseis.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes de Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual ou em grupos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

50 minutos.

MATERIAL

Um conjunto de cartões ilustrados com modelos de carros **(Figuras 1 e 2)** e um conjunto de cartões ilustrados com figuras de organismos fósseis **(Figura 3)** para cada aluno ou dupla de alunos. Atividade impressa em folha A4.

Figura 1. Exemplo de cartão ilustrado com modelo de carro.

Figura 2. Exemplo de cartão ilustrado com modelos de carros.

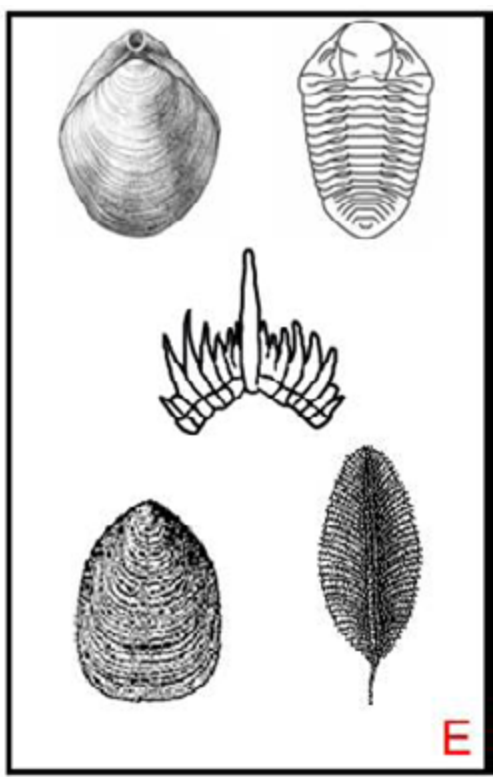


Figura 2. Exemplo de cartão ilustrado com organismos fósseis.

PROCEDIMENTO

1) Abaixo estão listados vários acontecimentos científicos que marcaram a história da humanidade. Tente estabelecer sua ordem cronológica, numerando-os do mais antigo ao mais recente.

( ) Chegada do Homem à Lua
( ) Descoberta da célula
( ) Fase final do Projeto Genoma
( ) Invenção do computador
( ) Invenção do ônibus espacial
( ) Invenção do plástico
( ) Invenção do telescópio
( ) Primeira enciclopédia
( ) Descoberta de água em Marte
( ) Teoria da Evolução das Espécies de Darwin
( ) Teoria da Relatividade
( ) Teoria do Big-Bang
( ) Lei da Gravidade
( ) Descoberta do DNA
( ) Clonagem da ovelha Dolly
( ) Descoberta da anestesia
( ) Descoberta do Bóson de Higgs
( ) Invenção da máquina a vapor
( ) Invenção da bateria elétrica
( ) Criação da genética
( ) Descoberta dos raios-X
( ) Estabelecimento da Mecânica Quântica
( ) Descoberta da estrutura do átomo
( ) Invenção da Internet

Como você deve ter concluído, é praticamente impossível ordenar cronologicamente todos esses acontecimentos científicos que ocorreram ao longo dos últimos 400 anos!

Talvez você tenha conseguido, em alguns casos, indicar se um

acontecimento é mais antigo ou mais jovem em relação a outro, mas não uma ordenação total, não é mesmo? Então, para alcançar seu objetivo de ordenar cronologicamente todos os fatos científicos listados, leia o item 2 e siga em frente.

2) Agora você recebeu uma série de cartões contendo os mesmos fatos científicos apresentados na atividade anterior. Porém, em cada cartão há uma ou mais figuras de diferentes modelos de automóveis que se sucederam ao longo do tempo. Tente novamente ordenar cronologicamente os fatos científicos, utilizando, desta vez, os automóveis como "guias". Inicie com o fato mais antigo, que é aquele que está acompanhado pelo modelo mais antigo de automóvel (marcado com uma estrela ★). Dica: uma vez que um carro desaparece na sequencia, ele não pode voltar a aparecer.

Agora ficou fácil, não é mesmo? Com os modelos de carros se sucedendo ao longo do tempo, você teve condições de estabelecer a ordem cronológica dos acontecimentos. No próximo item você poderá entender qual a relação que este exercício tem com a ordenação cronológica das camadas de rochas.

3) Proceda da mesma forma, empilhando, agora, os cartões contendo figuras de fósseis. Os cartões representam as rochas contendo grupos de fósseis. Os fósseis sucedem-se ao longo do tempo no registro estratigráfico. Assim como os carros, uma vez extinto, um fóssil não ressurge mais.

Responda

a) Imagine que essas camadas de rochas (cartões com fósseis) se encontram empilhadas em uma mesma área geográfica. A ordem em que essas camadas foram depositadas no passado sofreu significativas alterações, devido a movimentos tectônicos **(ver capítulo TECTÔNICA DE PLACAS E O CICLO DOS SUPERCONTINENTES)**. Portanto, as camadas encontram-se desordenadas. Como os fósseis podem ser utilizados para se determinar as idades relativas dessas rochas?

b) Como é o nome do Princípio da Bioestratigrafia que ilustra esta situação?

c) Agora imagine que cada uma dessas camadas de rochas contendo fósseis (cartões com fósseis) está aflorando em um determinado ponto de uma ampla área geográfica, a qual representa uma antiga bacia sedimentar. No passado, essas camadas de rocha foram depositadas umas sobre as outras, de forma contínua. Hoje, devido à erosão, somente restou uma camada aflorando em cada ponto. Como, neste caso, os fósseis podem auxiliar na resconstituição do empilhamento (ordenação cronológica) originaldessas camadas de rochas?

d) Como é o nome do Princípio da Bioestratigrafia que ilustra esta situação?

Com este exercício você teve a oportunidade de refletir sobre os dois Princípios da Bioestratigrafia que regem a DATAÇÃO RELATIVA das camadas de rochas sedimentares contendo fósseis.

INTEGRANDO MÉTODOS DE DATAÇÃO

15

Marina Bento Soares

OBJETIVO

Integrar os Princípios de Datação Relativa das rochas com os métodos de Datação Absoluta.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

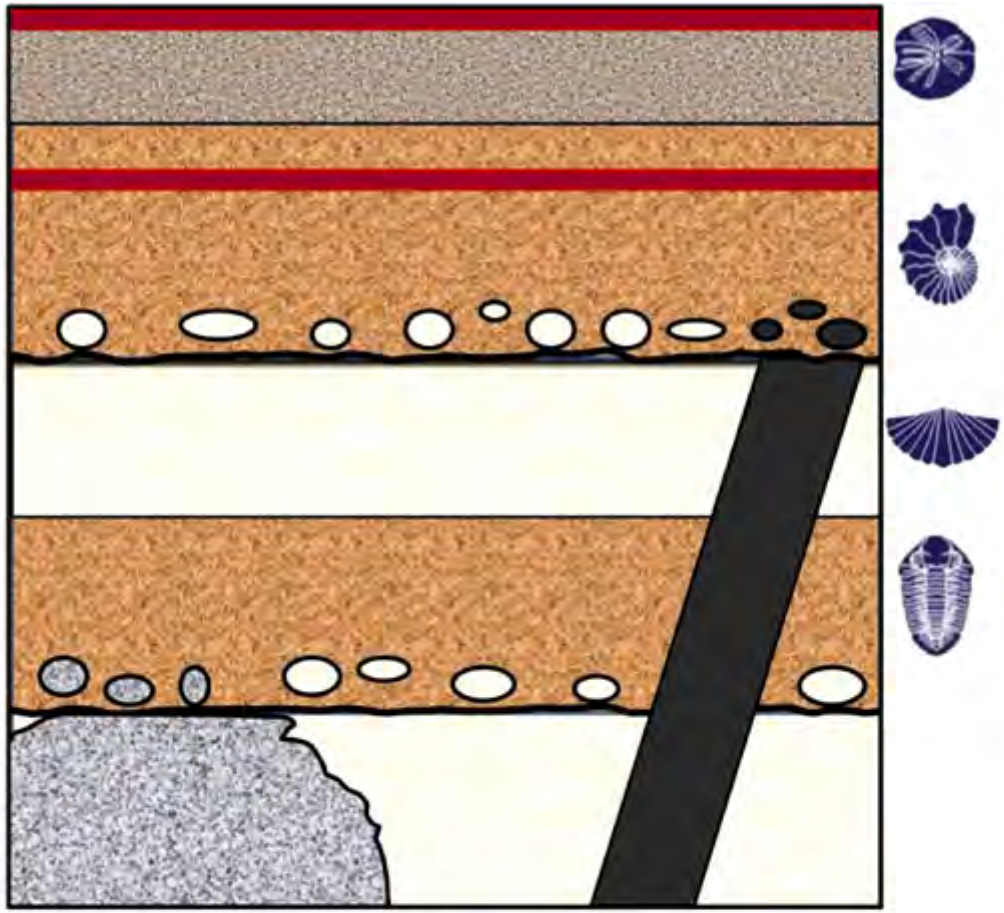
MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

O diagrama mostra uma sucessão de camadas de rochas, com algumas delas contendo fósseis. Analise o diagrama e responda as questões que seguem.

1) Amostras das três rochas ígneas da sequência foram datadas com base no método U-235/Pb-207. Sabendo que a meia-vida do U-235 é 704.000.000 anos, calcule as idades do granito, do diabásio e da cinza vulcânica a partir das informações a seguir.

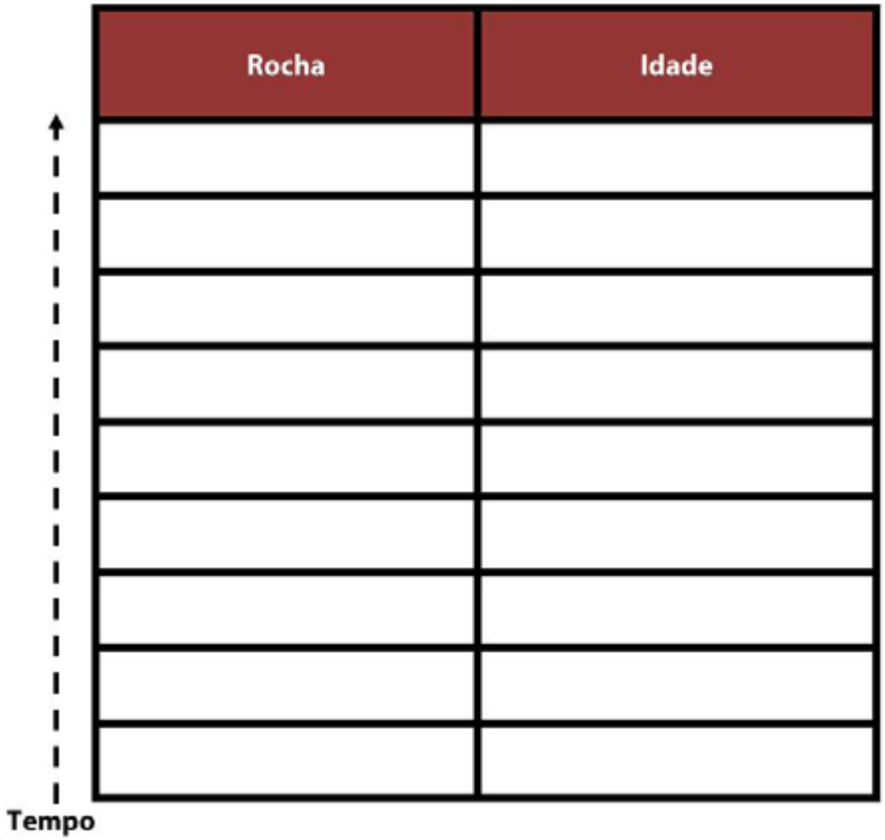


- **Proporção U-235/Pb-207 no granito = 1:1;**

- **No diabásio, foram transcorridos 30% do tempo total da primeira meia-vida do U-235;**

- **Na camada inferior de cinza vulcânica, foram transcorridos 5% do tempo total da primeira meia-vida do U-235;**

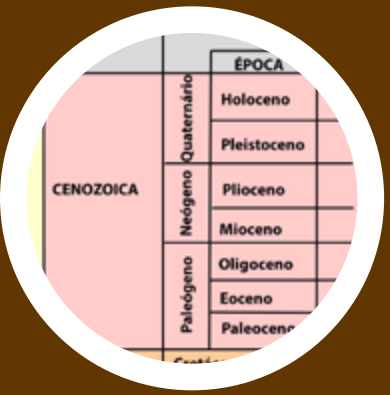
- **Na camada superior de cinza vulcânica, foram transcorridos 2% do tempo total da primeira meia-vida do U-235.**



2) Complete o quadro ao lado indicando a sequência cronológica correta de deposição das camadas de rocha (segundo os Princípios da Estratigrafia) e indique, quando possível, as idades absolutas ou relativas de todas as rochas presentes no diagrama.

Responda

Qual dos fósseis presentes no diagrama pode ser datado com melhor grau de precisão? Justifique. Obs: moluscos amonites (Amonoidea) estão extintos há 66 milhões de anos.



16

TABELA DO TEMPO GEOLÓGICO EM ESCALA

Marina Bento Soares

Esta atividade é uma adaptação de várias propostas semelhantes que estão disponíveis na internet e apresentadas em livros didáticos de Geologia Histórica e Paleontologia.

OBJETIVO
Aproximar o aluno da compreensão sobre a magnitude do tempo profundo (tempo geológico).

PÚBLICO-ALVO
Estudantes de Ensino Médio.

MODALIDADE
Individual ou em grupo.

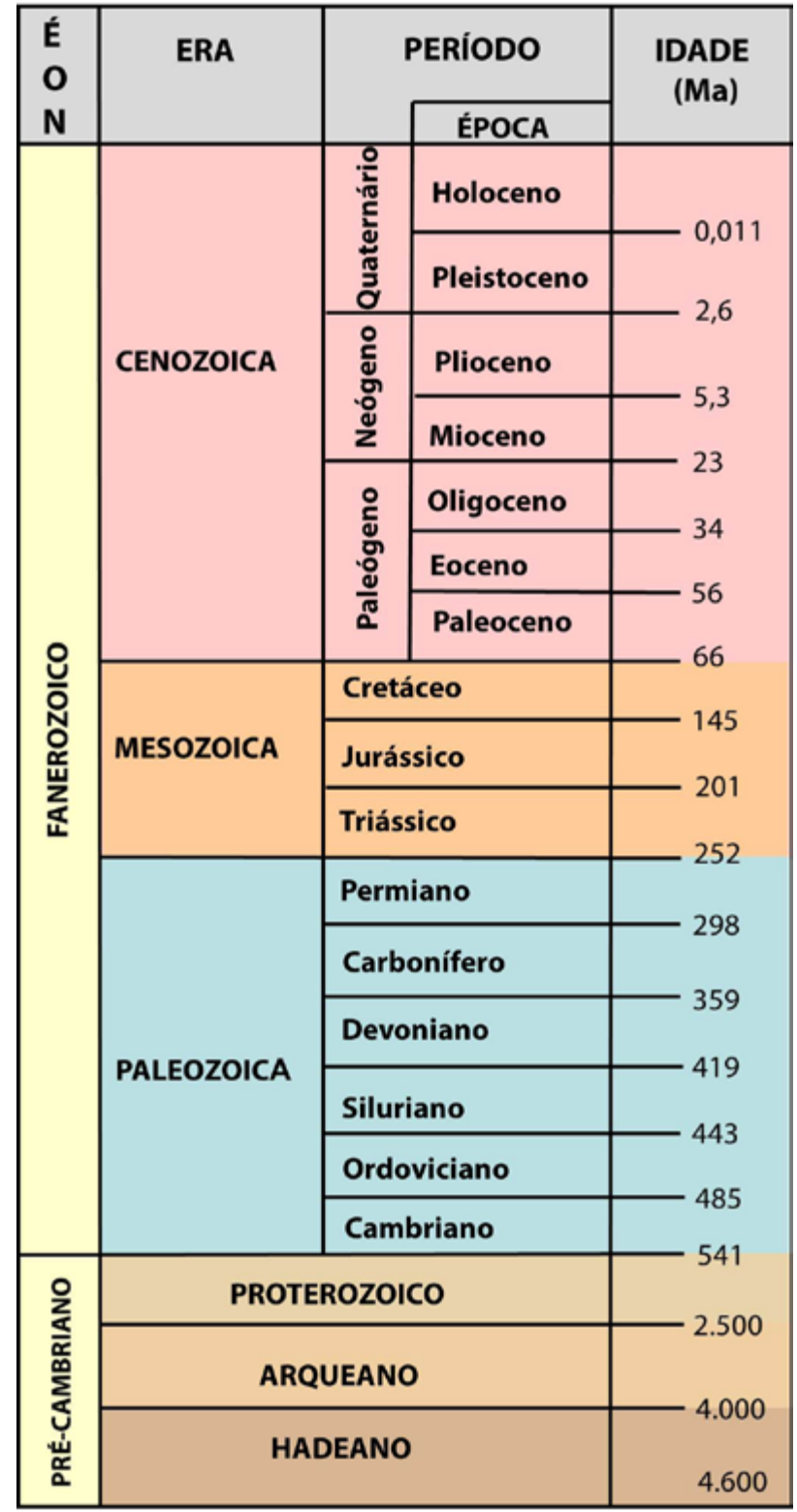
TEMPO DE EXECUÇÃO
90 minutos.

MATERIAL
Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO
A seguir está representada a tabela do Tempo Geológico, com a delimitação dos Éons, Eras e Períodos, fora de escala. Reproduza a tabela em 4,6 metros de papel (milimetrado, fita-rolo de máquina registradora, papel pardo ou papel higiênico), representando cada subdivisão da tabela em sua grandeza relativa. O comprimento total do papel corresponde à idade da Terra (4,6 bilhões de anos). Escala: cada 1 mm = 1 milhão de anos.

Depois, marque na sua tabela de 4,6m cada um dos eventos geológicos/biológicos abaixo listados.

Idade em Ma	Evento
4.600	Formação da Terra
3.500	Mais antiga evidência da vida (estromatólitos)
2.400	Grande evento de oxidação
2.100	Mais antigos animais pluricelulares
600	Estabelecimento da camada de ozônio
541	Primeiros animais metazoários
510	Primeiros "peixes"
458	Primeiras plantas terrestres
375	Primeiros anfíbios
285	Primeiros amniotas
245	Maior extinção em massa
230	Primeiros dinossauros
220	Primeiros mamíferos
165	Primeiros pássaros
130	Surgimento das angiospermas
66	Extinção dos dinossauros
6	Primeiros hominídeos na África
0,2	Primeiros *Homo sapiens*



CALENDÁRIO DO TEMPO GEOLÓGICO

Marina Bento Soares

Esta atividade é uma adaptação de várias propostas semelhantes que estão disponíveis na internet e de várias versões apresentadas em livros de Geologia Histórica e Paleontologia. A folha auxiliar que fornece as datas dos eventos no Calendário é inédita.

OBJETIVO

Aproximar o aluno da compreensão do tempo profundo através de uma analogia.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e do Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

45 minutos.

MATERIAL

Atividade e **folha auxiliar** do Calendário impressas em folha A4.

PROCEDIMENTO

Imagine que o tempo decorrido desde a formação da Terra até hoje, ou seja, seus 4,6 bilhões de anos de história fossem comprimidos em um ano. Em um calendário – Calendário do Tempo Geológico – representando esse ano, poderíamos acompanhar o registro de importantes eventos geológicos e biológicos que ocorreram na história da Terra. Na tabela a seguir estão relacionadas as idades aproximadas de importantes eventos (em milhões de anos) que marcaram a história geológica da Terra e que poderiam estar registrados no Calendário do Tempo Geológico.

Você vai descobrir quando cada um desses eventos ocorreu no Calendário do Tempo Geológico comprimido em um ano. Para isso, alguns cálculos deverão ser feitos.

A fórmula geral para calcular as datas dos eventos é:

$$\frac{\text{IDADE DO EVENTO PASSADO (em Ma)}}{4600} = \frac{\text{DATA NO CALENDÁRIO (x) ?}}{365}$$

(idade da Terra em Ma) (nº de dias do ano)

Utilizando a fórmula, determine a data de cada um dos eventos. Para saber o "mês e o dia" em que cada evento ocorreu, consulte a Folha Auxiliar recebida, que apresenta os 365 dias do ano em sequência decrescente ao longo dos meses, exemplificada abaixo pelo mês de janeiro.

JANEIRO				
1(365)	2(364)	3(363)	4(362)	5(361)
6(360)	7(359)	8(358)	9(357)	10(356)
11(355)	12(354)	13(353)	14(352)	15(351)
16(350)	17(349)	18(348)	19(347)	20(346)
21(345)	22(344)	23(343)	24(342)	25(341)
26(340)	27(339)	28(338)	29(337)	30(336)
31(335)				

Idade em Ma	Evento
4.600	Formação da Terra
3.500	Mais antiga evidência da vida (estromatólitos)
2.400	Grande evento de oxidação
2.100	Mais antigos animais pluricelulares
600	Estabelecimento da camada de ozônio
541	Primeiros animais metazoários
510	Primeiros "peixes"
458	Primeiras plantas terrestres
375	Primeiros anfíbios
285	Primeiros amniotas
245	Maior extinção em massa
230	Primeiros dinossauros
220	Primeiros mamíferos
165	Primeiros pássaros
130	Surgimento das angiospermas
66	Extinção dos dinossauros
6	Primeiros hominídeos na África
0,2	Primeiros *Homo sapiens*

O que você concluiu a partir deste exercício? Elabore um comentário a respeito.

A IDADE DA TERRA

Fábio Alves Rodrigues
Demétrio Dias Nicolaidis
Russel Teresinha Dutra da Rosa

Por seres tão inventivo
E pareceres contínuo
Tempo tempo tempo tempo
És um dos deuses mais lindos
Tempo tempo tempo tempo...

Oração ao Tempo – Caetano Veloso

INTRODUÇÃO

O que é o tempo? É fácil quantificá-lo? Uma criança e um adulto podem ter diferentes concepções de tempo; por exemplo, qual foi a época da ditadura militar brasileira: aconteceu há muitos anos ou faz parte de um passado recente? Um adulto que talvez tenha vivenciado este período provavelmente o classificaria como algo razoavelmente recente. Já a criança certamente diria que a ditadura é do tempo dos avós. Mas o que será que ambos pensam sobre a época do surgimento do planeta Terra? Será que os continentes sempre estiveram organizados da maneira como conhecemos? Se não, quando estes assumiram a sua configuração atual?

Gould (1991) nos diz que o tempo geológico, também definido como tempo profundo, é muito estranho às nossas formas de percepção. Para explicá-lo e compreendê-lo, algumas metáforas já foram propostas. Uma delas, criada por John McPhee e citada na obra "Seta do Tempo Ciclo do Tempo" de Gould, compara a idade da história da Terra com a antiga medida da jarda inglesa, isto é, a distância entre o nariz do rei e a ponta de sua mão com o braço estendido. O

início da história da Terra corresponderia ao nariz, enquanto que a história recente da humanidade poderia ser aniquilada ao ser lixada a unha do dedo médio do rei. Carl Sagan também nos apresenta uma analogia interessante em sua obra "Os Dragões do Éden" (1977). Ele propõe que os 15 bilhões de anos de história do Universo sejam comprimidos em um ano. Esta metáfora ficou conhecida como "calendário cósmico". Nele, o Big Bang ocorreu à hora zero do dia primeiro de janeiro e os primeiros seres humanos surgiram no dia 31 de dezembro por volta das 22h30min. Até hoje este calendário é muito útil para exemplificarmos o quão antigo é o tempo geológico. Bergue (2000, p. 149) apresenta um argumento bastante coerente para justificar nossa dificuldade em mensurar a escala de tempo geológico:

A duração dos períodos de tempo torna-se cada vez mais abstrata, à medida que se afasta daquela passível de ser percebida ao longo da existência de uma pessoa, pois se torna um tanto vago raciocinar com espaços de tempo de milhões de anos, quando temos a noção de, no máximo, dezenas de anos.

O autor também nos traz a ideia de "planeta vivo": tanto os seres vivos quanto o ambiente estão em constante mudança. Este entendimento é fundamental para o estudo do tempo geológico e da evolução biológica. Torna-se bastante coerente pensar que, ao longo dos bilhões de anos da história do nosso planeta, surgiu uma grande diversidade de organismos – alguns já extintos, outros que permanecem até hoje – ; as inúmeras formas de vida só podem ser explicadas pelas mudanças nos diferentes tipos de ambientes.

OBJETIVO

Esta atividade tem como objetivo transformar uma escala de tempo (o Tempo Geológico) em uma escala métrica, proporcionando uma representação do tempo de existência do nosso planeta, desde quatro bilhões e meio de anos atrás, e construir relações entre os diferentes momentos de surgimento e extinção de alguns grupos de organismos.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes de Ensino Fundamental (anos finais) e de Ensino Médio.

MODALIDADE

Atividade em grupo.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos, mais tempo para a discussão.

MATERIAL

Fios de lã de 10 cores diferentes; régua ou fita métrica; tesoura; tabela do Tempo Geológico **(JPG)** e **(DWG)**; 10 **cartões-texto** com informações sobre eventos da história da Terra; 20 **cartões ilustrativos dos eventos** da história da Terra.

PROCEDIMENTO

1) Realizar a leitura de cada um dos 10 cartões-texto recebidos **(Figura 1)** e fazer a conversão do período de tempo em centímetros. Utilizar como referência: 10 milhões de anos equivalem a 1 cm.

2) Feita a conversão, utilizar a régua ou a fita métrica para medir o tamanho encontrado em cada cartão e cortar um pedaço de lã correspondente ao da conversão matemática.

3) Anexar na Tabela do Tempo Geológico **(Figura 2)** o pedaço de lã na linha referente ao cartão-texto recebido.

4) Posicionar os dois cartões ilustrativos **(Figura 3)** relacionados a cada cartão-texto junto à base de seu respectivo pedaço de lã.

Cartão 02. A vida surgiu há aproximadamente 3,5 bilhões de anos, ou seja, 3.500 milhões de anos. Eram as cianobactérias, seres procariontes capazes de realizar a fotossíntese, que viviam nos mares, às vezes, em condições de altas temperaturas e grande acidez. As cianobactérias deixaram vestígios conhecidos como estromatólitos. Recorte um pedaço de lã e faça uma representação do tempo correspondente ao período de existência da vida na Terra.

Cartão 06. As pteridófitas, primeiros vegetais a portar vasos condutores, surgiram há 420 milhões de anos, e colonizaram o ambiente terrestre no período Siluriano. Recorte um pedaço de lã que corresponda ao período de existência das pteridófitas.

Figura 1. Exemplos de cartões-texto contendo eventos da história da Terra.

TABELA DE TEMPO GEOLÓGICO

CARTÃO 01								
CARTÃO 02								
CARTÃO 03								
CARTÃO 04								
CARTÃO 05								
CARTÃO 06								
CARTÃO 07								
CARTÃO 08								
CARTÃO 09								
CARTÃO 10								
TEMPO (Ma)	4.500	3.500		570	420	250	150	65
	"PRÉ-CAMBRIANO"			EON FANEROZÓICO				

Figura 2. Tabela do Tempo Geológico, com 4,5 m.

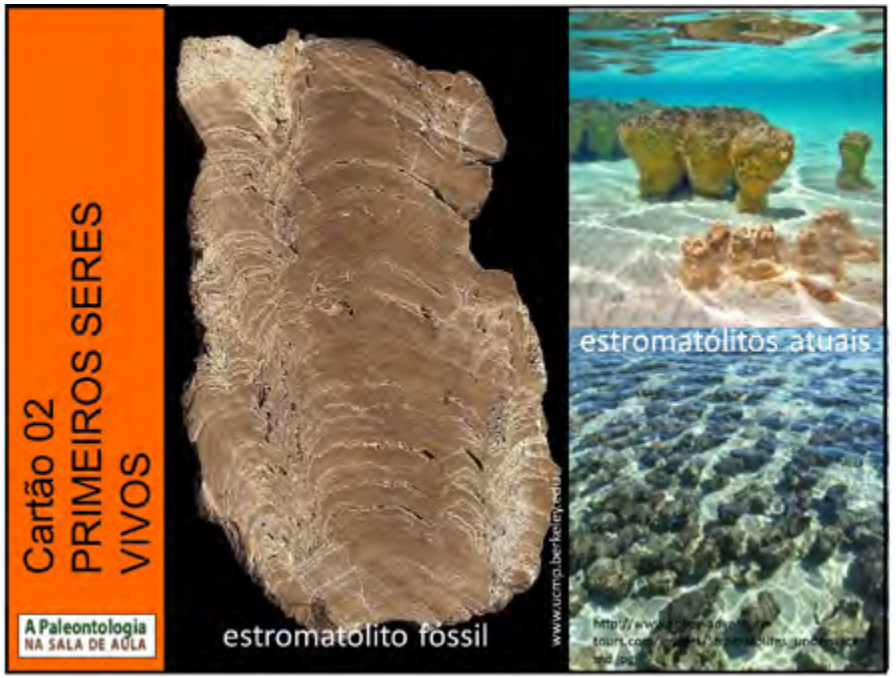


Figura 3. Exemplos de cartões ilustrativos (referentes aos cartões-texto 02 e 06).

5) Após colocar todos os pedaços de lã e seus cartões ilustrativos na tabela, aguardar os outros grupos para a discussão da atividade **(Figura 4)**.

REFERÊNCIAS

BERGUE, C. T. 2000. Uma abordagem sobre o ensino de paleontologia em nível fundamental e médio. Cadernos de Educação Básica, Editora Mediação, 6:145-156.

GOLD, S. J. 1991. Seta do tempo, ciclo do tempo: mito e metáfora na descoberta do tempo geológico. São Paulo: Companhia das Letras.

SAGAN, C. 1987. Os dragões do Éden: especulações sobre a evolução da inteligência humana. 5ª edição, Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora S. A.

Figura 4. Discussão em sala de aula após a realização da atividade.

JOGO VIDA EM CAMADAS

Adriana de Souza Trajano
Juliane Marques-de-Souza

OBJETIVO

Aproximar os participantes de termos e conceitos da ciência geológica e paleontológica, desafiando-os a construir, com maior complexidade, conceitos relacionados a esta área do conhecimento, através da resolução de situações-problema. Trata-se de uma atividade cooperativa, onde todos os participantes buscarão a resolução dos desafios propostos.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Estratigrafia básica, hiatos temporais, bioestratigrafia (correlação fóssil), datação relativa (princípio da sucessão faunística) e absoluta, fóssil–guia, amplitude estratigráfica e ambientes sedimentares.

PÚBLICO-ALVO

É uma atividade didática direcionada para curso de formação de professores (Licenciaturas em Ciências Biológicas e Geografia) e que pode ser adequada para aplicação em turmas de Ensino Médio.

MODALIDADE

Jogo com o mínimo de seis participantes e, máximo, de trinta e cinco participantes. Os jogadores deverão estar divididos em seis grupos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

60 min.

MATERIAL

Para a confecção do jogo

Seis palitos de churrasco (grandes); um dado comum de seis faces; 37 blocos de madeira pequenos (esses blocos podem ser substituídos por caixas de fósforo, ou caixas de remédio vazias, pintadas de acordo com as corres disponibilizadas na legenda) **(Figura 1)**; **etiquetas** para impressão das imagens que deverão ser coladas nos blocos/caixas **(Figura 1)**; tinta acrílica para pintar os bloquetes de madeira (ou as caixas de fósforo/remédio).

Para uso dos jogadores

Uma **legenda** contendo as informações sobre a estratificação, granulometria; litologia e as espécies representadas nos perfis estratigráficos. O professor deverá providenciar uma legenda por equipe; 15 **cartas-consulta** contendo o conceito de determinados conteúdos que estão sendo trabalhados no jogo.

Para uso do Professor

Cartas-guia dos desafios 1, 2 e 3; um arquivo contendo as **seis sequências sedimentares** para o professor organizar os perfis antes de aplicar o desafio 1 ou para o professor conferir as sequências montadas pelos jogadores no desafio 2. Este arquivo contém a imagem dos perfis montados e as sequências referentes a cada situação-problema (ambientes sedimentares e conteúdo fossilífero).

Figura 1. Peças do jogo. (A) Perfil composto por blocos de madeira, já encaixados no palito de churrasco (seta superior esquerda). Os blocos poderão ser substituídos por caixas de fósforo/remédio pintadas com tinta acrílica conforme cores de cada camada da sequência estratigráfica; (B) Cartas informativas que serão utilizadas pelos jogadores para consulta durante as jogadas (as consultas serão de acordo com as regras do jogo); (C) Detalhe de um bloco de madeira contendo um furo em uma das extremidades para encaixe no palito de churrasco durante a montagem do perfil.

REGRAS DO JOGO

Preparação

1) O professor deverá definir se jogará com os desafios 1 e 3 ou com os desafios 2 e 3. Não é possível utilizar no mesmo jogo os desafios 1 e 2.

2) Devem ser formadas 6 equipes.

3) As cartas-consulta deverão ser colocadas em uma pilha **(Figura 2)**. Caso o professor preferir poderá entregar um conjunto de cartas-consulta para cada equipe. Atenção: Apenas três consultas às cartas são permitidas para cada equipe durante todo o jogo e os jogadores deverão solicitar seu uso durante a execução dos desafios. Após a utilização da carta a mesma deverá ser devolvida à pilha de cartas-consulta.

4) As equipes deverão separar folhas em branco, canetas e lápis para resolução dos desafios.

5) O professor deverá colocar no quadro uma tabela simples para controlar a pontuação das equipes.

6) O professor deverá definir quantos pontos vale cada questão e informar às equipes antes de cada rodada.

COMO JOGAR

Desafio 1

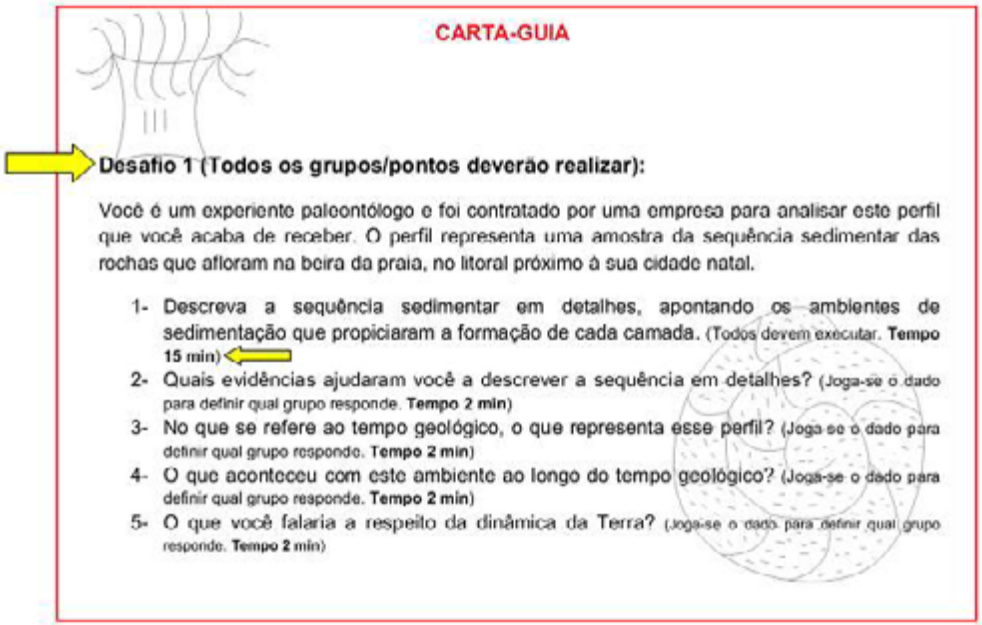
1) Os jogadores receberão o perfil montado conforme sequência disponibilizada ao professor. O professor deverá definir previamente qual grupo é o ponto 1, 2, 3, 4, 5 e 6.
2) O professor realiza a leitura do desafio 1 disponível na carta-guia do professor **(Figura 3)**.

Figura 2. Exemplo de carta-consulta.

3) Os jogadores recebem um tempo para execução das ações. O professor deverá controlar o tempo da atividade conforme sugerido na carta-guia. Dependendo da turma, se o professor achar necessário esse tempo poderá ser reduzido ou ampliado.
4) O professor informa quantos pontos vale aquela ação. Sugerimos utilizar 10 pontos para as mais difíceis e 5 pontos para as mais fáceis.
5) O professor confere a resposta e o primeiro grupo a terminar tem direito a responder a questão 2 do desafio (a resposta deve estar correta). Se o grupo não souber ele pode passar. Para as demais questões deve-se jogar o dado.

6) Sempre que o grupo sorteado para responder errar a resposta o professor poderá jogar o dado novamente para ver qual grupo terá o direito de responder.

7) O professor anota no quadro a pontuação de cada equipe.



CARTA-GUIA

Desafio 1 (Todos os grupos/pontos deverão realizar):

Você é um experiente paleontólogo e foi contratado por uma empresa para analisar este perfil que você acaba de receber. O perfil representa uma amostra da sequência sedimentar das rochas que afloram na beira da praia, no litoral próximo à sua cidade natal.

1- Descreva a sequência sedimentar em detalhes, apontando os ambientes de sedimentação que propiciaram a formação de cada camada. (Todos devem executar. **Tempo 15 min**)
2- Quais evidências ajudaram você a descrever a sequência em detalhes? (Joga-se o dado para definir qual grupo responde. **Tempo 2 min**)
3- No que se refere ao tempo geológico, o que representa esse perfil? (Joga se o dado para definir qual grupo responde. **Tempo 2 min**)
4- O que aconteceu com este ambiente ao longo do tempo geológico? (Joga-se o dado para definir qual grupo responde. **Tempo 2 min**)
5- O que você falaria a respeito da dinâmica da Terra? (Joga-se o dado para definir qual grupo responde. **Tempo 2 min**)

Figura 3. Exemplo de carta-guia contendo o desafio e as ações que as equipes devem realizar. As setas destacam as informações importantes ao professor, tais como a indicação de qual desafio se refere à carta-guia, o procedimento e tempo de execução de cada ação.

Desafio 2

1) Os jogadores, organizados em grupos, recebem as peças do perfil soltas. O professor deverá atentar-se para entregar as peças referentes à sequência de cada ponto e anotar qual grupo recebeu as peças do ponto 1, do ponto 2, do ponto 3, etc. Para isso o professor deverá consultar a sequência de cada perfil.

2) O professor entrega a carta-guia ao ponto respectivo e estabelece um tempo de execução da atividade **(Figura 4)**. Atenção: Cada ponto possui uma situação-problema específica e, portanto, uma sequência estratigráfica específica.

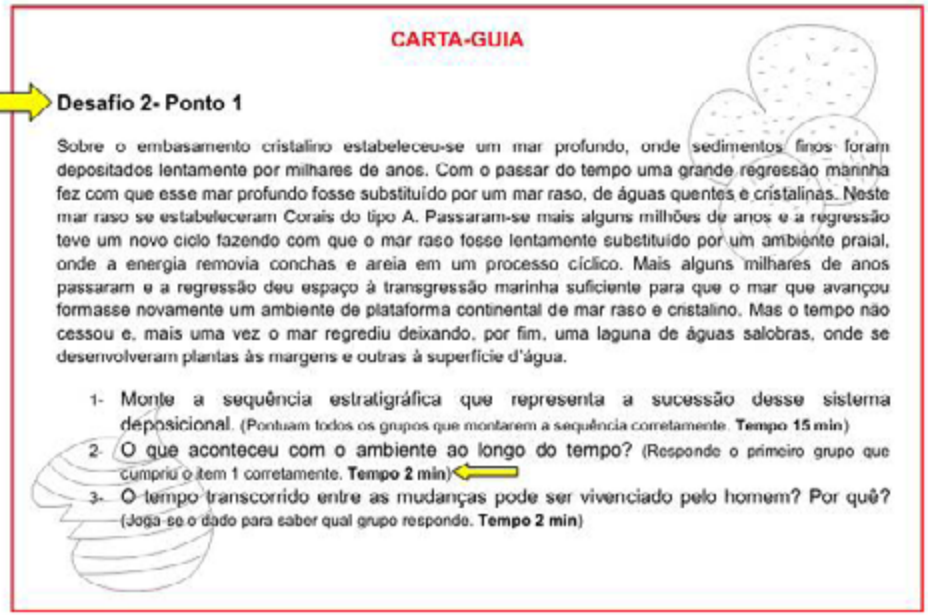
3) Os jogadores recebem um tempo para execução das ações. O professor deverá controlar o tempo da atividade conforme sugerido na carta-guia. Dependendo da turma, se o professor achar necessário esse tempo poderá ser reduzido ou ampliado.

4) O professor informa quantos pontos vale aquela ação. Sugerimos utilizar 10 pontos para as mais difíceis e 5 pontos para as mais fáceis.

5) O professor confere as sequências e o primeiro grupo a terminar tem direito a responder a questão 2 do desafio. Se o grupo não souber ele pode passar. Para as demais questões deve-se jogar o dado.

6) Sempre que o grupo sorteado para responder errar a resposta o professor poderá jogar o dado novamente para ver qual grupo terá o direito de responder.

7) O professor anota no quadro a pontuação de cada equipe.



CARTA-GUIA

Desafio 2- Ponto 1

Sobre o embasamento cristalino estabeleceu-se um mar profundo, onde sedimentos finos foram depositados lentamente por milhares de anos. Com o passar do tempo uma grande regressão marinha fez com que esse mar profundo fosse substituído por um mar raso, de águas quentes e cristalinas. Neste mar raso se estabeleceram Corais do tipo A. Passaram-se mais alguns milhões de anos e a regressão teve um novo ciclo fazendo com que o mar raso fosse lentamente substituído por um ambiente praial, onde a energia removia conchas e areia em um processo cíclico. Mais alguns milhares de anos passaram e a regressão deu espaço à transgressão marinha suficiente para que o mar que avançou formasse novamente um ambiente de plataforma continental de mar raso e cristalino. Mas o tempo não cessou e, mais uma vez o mar regrediu deixando, por fim, uma laguna de águas salobras, onde se desenvolveram plantas às margens e outras à superfície d'água.

1- Monte a sequência estratigráfica que representa a sucessão desse sistema deposicional. (Pontuam todos os grupos que montarem a sequência corretamente. **Tempo 15 min**)
2- O que aconteceu com o ambiente ao longo do tempo? (Responde o primeiro grupo que cumpriu o item 1 corretamente. **Tempo 2 min**)
3- O tempo transcorrido entre as mudanças pode ser vivenciado pelo homem? Por quê? (Joga-se o dado para saber qual grupo responde. **Tempo 2 min**)

Figura 4. Exemplo de carta-guia contendo o desafio e as ações que as equipes devem realizar. As setas destacam as informações importantes ao professor, tais como a indicação de qual desafio refere-se à carta-guia, para qual ponto a carta deverá ser entregue, o procedimento e o tempo de execução de cada ação.

Desafio 3

1) Após a execução do desafio 1 ou do desafio 2, os perfis estratigráficos estão montados e as equipes deverão partir para o desafio 3.
2) O professor realiza a leitura do desafio 3 disponível na carta-guia do professor.
3) Os jogadores recebem um tempo para execução das ações. Note que é realizada uma ação por vez. Assim a ação 2 somente é possível após a resolução da ação 1. O professor deve estimular respostas completas.
4) O professor informa quantos pontos vale aquela ação. Sugerimos utilizar 10 pontos para as mais difíceis e 5 pontos para as mais fáceis.
5) Joga-se o dado para ver quem responde. O grupo apresenta a resposta. (nesse momento o professor poderá verificar as dificuldades encontradas pelos estudantes e promover debates para esclarecimentos e/ou reforçar o conteúdo em outras aulas). Sempre que o grupo sorteado para responder errar a resposta o professor poderá jogar o dado novamente para ver qual grupo terá o direito de responder.
6) O professor anota no quadro a pontuação de cada equipe.

TÉRMINO DO JOGO

Ao final do jogo, ganha a equipe que atingir a maior pontuação. Em seguida o professor pode gerar um debate com a turma sobre os conceitos trabalhados durante a execução do jogo e aproveitar para esclarecer os erros que foram mais recorrentes na turma, favorecendo a aprendizagem dos conceitos.

JOGO NAVEGATOR 100

Mariana Rost Meireles

OBJETIVO

O jogo Navegator 100 constitui-se em uma ferramenta de fixação e revisão de conteúdos. Ele engloba questões em temáticas distintas, procurando principalmente despertar o pensamento de um mundo dinâmico. A intenção do jogo, além de seduzir o interesse dos alunos para o mundo científico e investigativo, é contribuir para os professores abordarem temáticas como: Evolução, Extinção, Paleontologia, Geografia e Biologia de forma integrada, para que haja a ideia de continuidade em um mundo em movimento.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes de Ensino Médio.

MODALIDADE

Até cinco jogadores individuais (cada um com um peão) ou quatro grupos de no máximo quatro jogadores (cada grupo com um peão)

TEMPO DE EXECUÇÃO

Aproximadamente 50 minutos.

MATERIAL

Um dado de seis faces; um peão para cada jogador ou para cada equipe; um **tabuleiro** do jogo Navegator 100, no formato 90x60cm **(Figura 1)**; **cartões coloridos** com questões **(Figura 2)**.

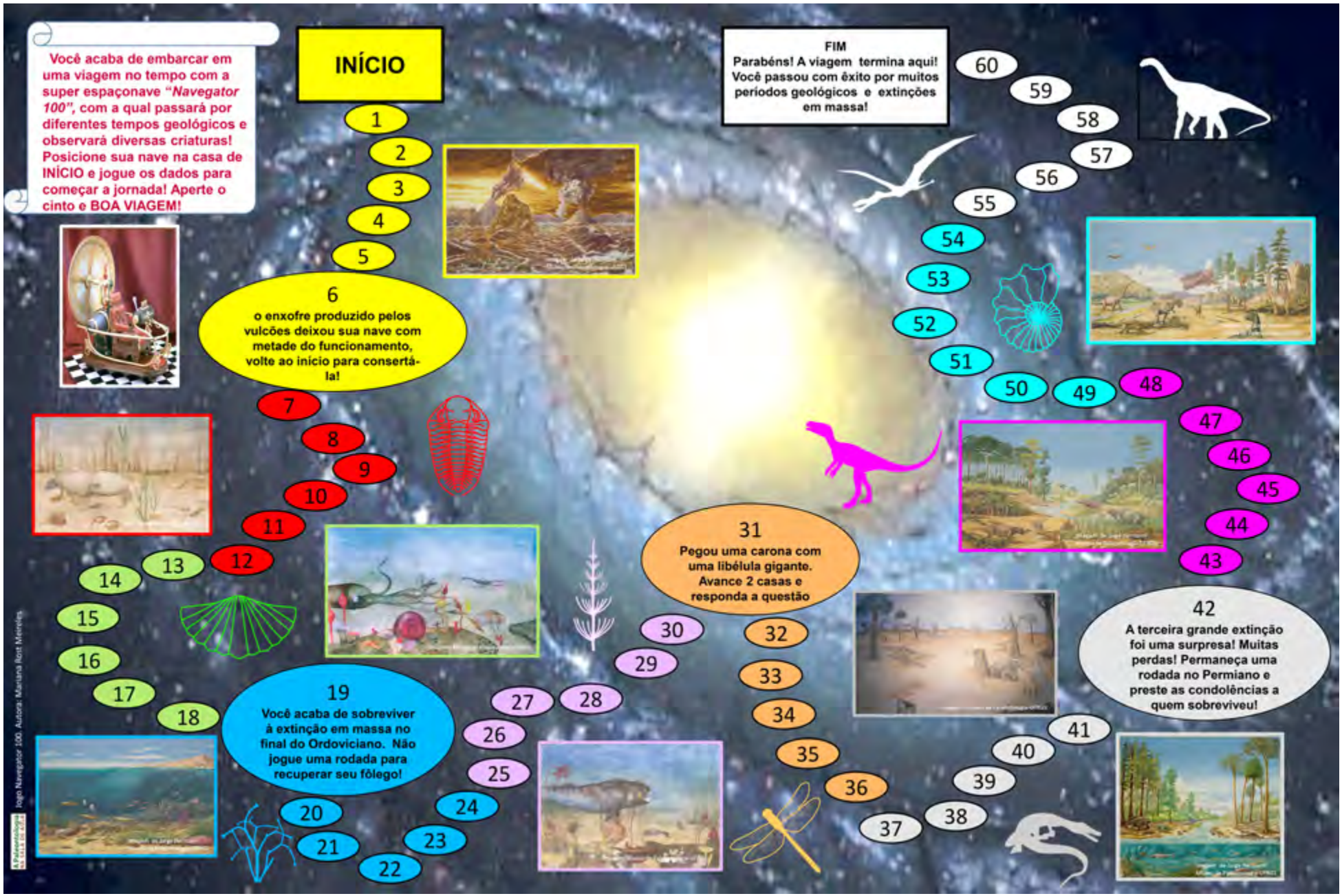


Figura 1. Tabuleiro do Jogo Navegator 100.

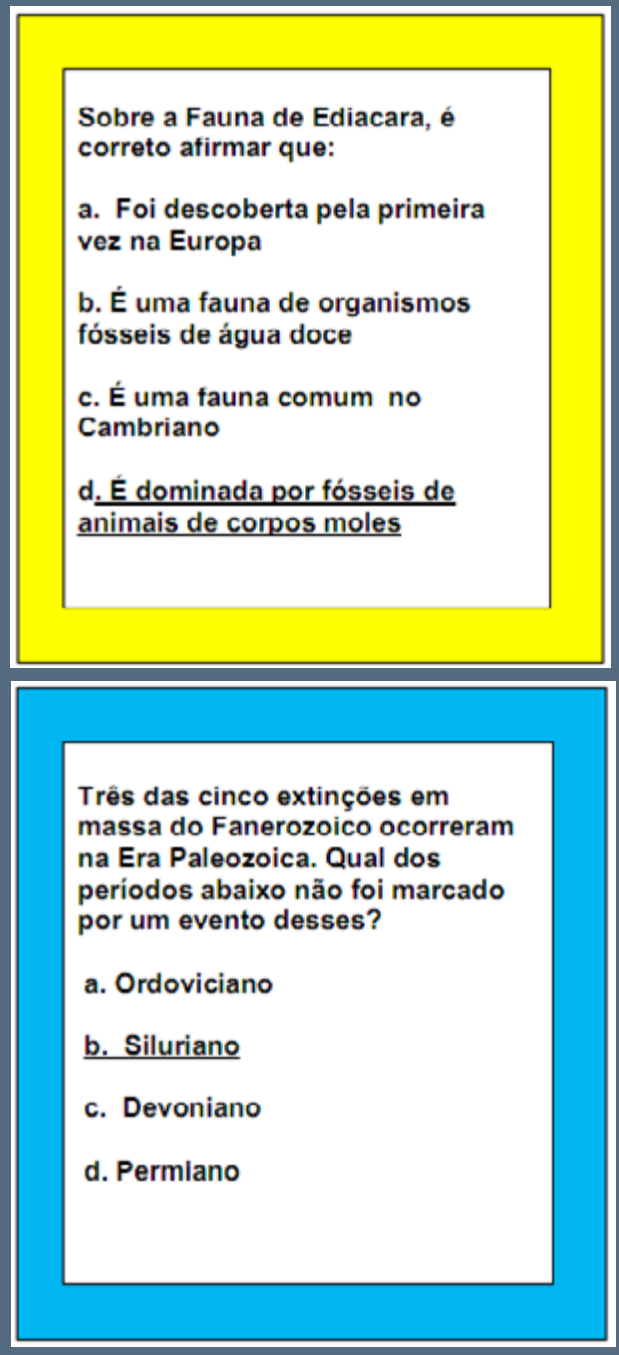


Figura 2. Exemplos de cartões contendo questões.

REGRAS DO JOGO

1) Navegator 100 consiste em um jogo de tabuleiro que encena uma viagem no tempo, e faz com que seus participantes explorem diferentes períodos geológicos, seres distintos, eventos de extinção em massa e configurações diversas de nosso planeta, desde o Pré-Cambriano.

2) Para iniciar o jogo, cada jogador ou equipe deve lançar o dado. Quem obtiver o maior número sairá na frente, e o jogo segue em sentido horário.

3) A cada rodada o dado é lançado, e o jogador ou equipe deve andar aquele determinado número de casas. Então deve verificar a cor da casa em que parou e pegar uma carta com a cor correspondente, respondendo a questão que ela contém. O jogador à sua direita é quem lerá a carta e verificará a resposta.

4) Em caso de resposta correta, o peão se mantém na casa, caso contrário, ele retorna à posição que estava no início da jogada daquela rodada.

5) A resposta correta está sublinhada na carta.

6) Após a resposta do jogador, a carta é misturada novamente às outras de sua mesma cor.

7) O jogador ou equipe que chegar ao final primeiro terá concluído sua viagem a tempo e será, portanto, o vencedor.

JOGO A VIAGEM DO BEAGLE

Marc Emerim, Fábio Alves Rodrigues
Fabiano de Souza Gomes
Marise Basso Amaral
Russel Teresinha Dutra da Rosa

O jogo de tabuleiro A Viagem do Beagle, ilustrando o percurso da viagem de Charles Darwin ao redor do mundo, a bordo do navio Beagle, facilita e estimula o trabalho multidisciplinar. O jogo explora conteúdos de História, Geografia e Biologia e também informações específicas sobre a vida e a obra de Charles Darwin, disponibilizadas na Edição Especial de 2009, do Jornal da Universidade (UFRGS), publicado em comemoração aos 200 anos de nascimento do Naturalista (disponível em: http://www.difusaocultural.ufrgs.br/darwin200anos/index.php).

OBJETIVO

A atividade permite a discussão colaborativa de conteúdos escolares e científicos de forma divertida. O tabuleiro possui como pano de fundo o mapa-múndi, e nele está o trajeto da viagem de Darwin. As perguntas sorteadas pelos jogadores tratam de conhecimentos gerais nas áreas de Biologia, Geografia e História, bem como conhecimentos acerca de um tópico específico da História da Biologia, além de possibilitar a revisão de informações trabalhadas ao longo do Ensino Fundamental.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O jogo de tabuleiro propõe perguntas sobre o contexto da viagem de circunavegação ao redor do globo terrestre, o cotidiano no mar, os objetivos da expedição, aspectos do trabalho de coleta e estudo de amostras minerais, vegetais e animais, bem como particularidades da vida de Darwin, além de conhecimentos escolares das áreas envolvidas. Durante o jogo, o aluno tem acesso às informações corretas o que permite que seja realizado mesmo sem que ocorra uma explanação prévia dos conteúdos trabalhados.

PÚBLICO-ALVO

Alunos do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Atividade em grupo; grupos de no máximo seis jogadores.

MATERIAL

Peões que representam cada jogador na forma de seis barcos de papel em diferentes cores **(Figura1)**; Cartas (45) com perguntas e respostas de **Biologia**, **História**, **Geografia**, além da história da vida e da obra de Darwin **(Figura 2 e 3)**; um conjunto de **cinco cartas com reveses** previstos para as seguintes casas do tabuleiro: 1, 4, 8, 22 e 28 (nessas cartas constam as instruções sobre o que o jogador deverá fazer no caso de parar em uma dessas casas revés); **duas cartas de sorte** correspondentes às casas 11 e 17 (nessas cartas constam as instruções sobre o que o jogador deverá fazer no caso de parar em uma dessas casas) dois dados simples de seis lados e um **tabuleiro** colorido **(Figura 4)**.

REGRAS DO JOGO

1) Posicionar os barcos no porto de Plymouth, na Inglaterra.

Figura 1. Exemplos de peões na forma de barcos de papel.

Figura 2. Cartas com perguntas e respostas.

2) Jogar os dados para definir a ordem de saída. O jogador que obtiver o número maior inicia a partida e os demais jogam seguindo o sentido horário a partir do primeiro.

3) O primeiro jogador deve lançar o dado, caso caiam os números 1, 2 ou 3, ele deverá responder apenas uma pergunta. Caso caiam os números 4, 5 ou 6, o jogador deverá responder a duas perguntas.

4) Caso acerte as perguntas, andar o número de casas correspondente ao número do dado. Caso erre as perguntas, permanecer no mesmo lugar. Quando o competidor tiver que responder a duas perguntas, e ele acertar apenas uma, deverá andar somente duas casas.

5) As perguntas e as respostas devem ser lidas pelos adversários que irão conferir se o jogador acertou a resposta. A resposta correta deverá ser lida em voz alta.

6) Caso um jogador caia em uma casa preta, deverá ler o revés correspondente ao número da casa e realizá-lo.

7) Caso um jogador caia em uma casa laranja, deverá ler a boa notícia e realizar o que é definido pela sorte.

8) Se nenhum barco retornar ao porto da Inglaterra, as perguntas devem ser misturadas e utilizadas novamente para que o jogo continue.

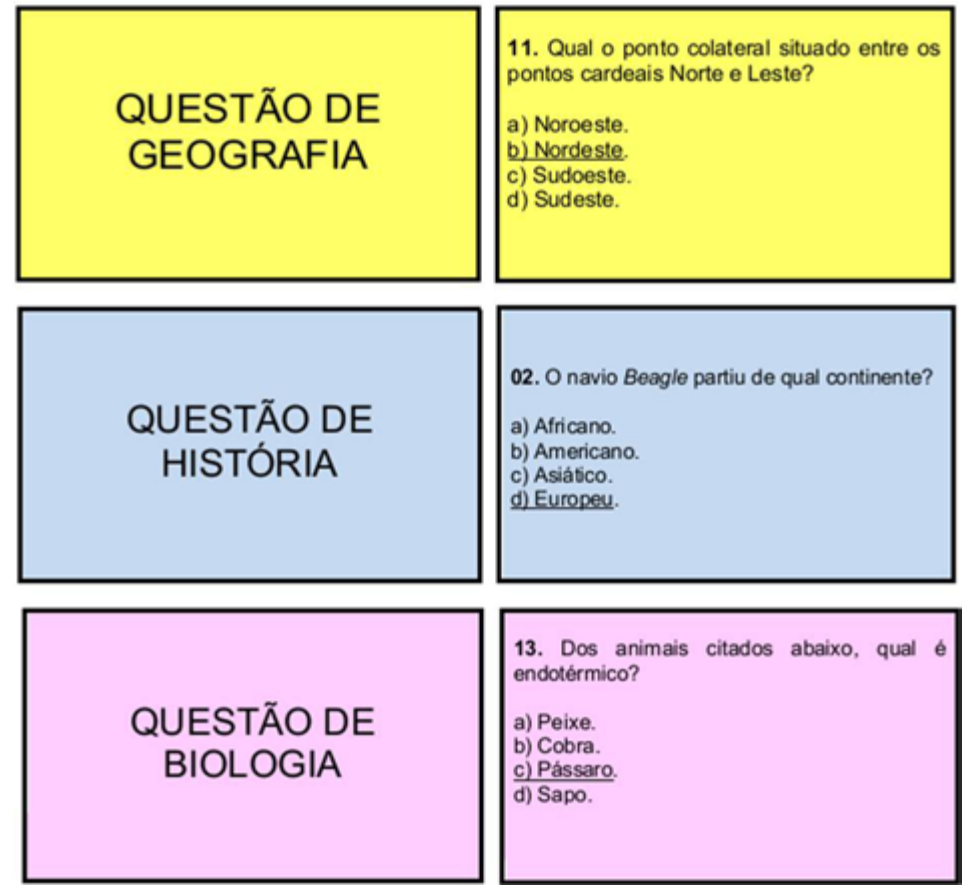


Figura 3. Exemplos de perguntas apresentadas nas cartas.

BOM ESTUDO E DIVERTIMENTO!

APROVEITEM A VIAGEM!

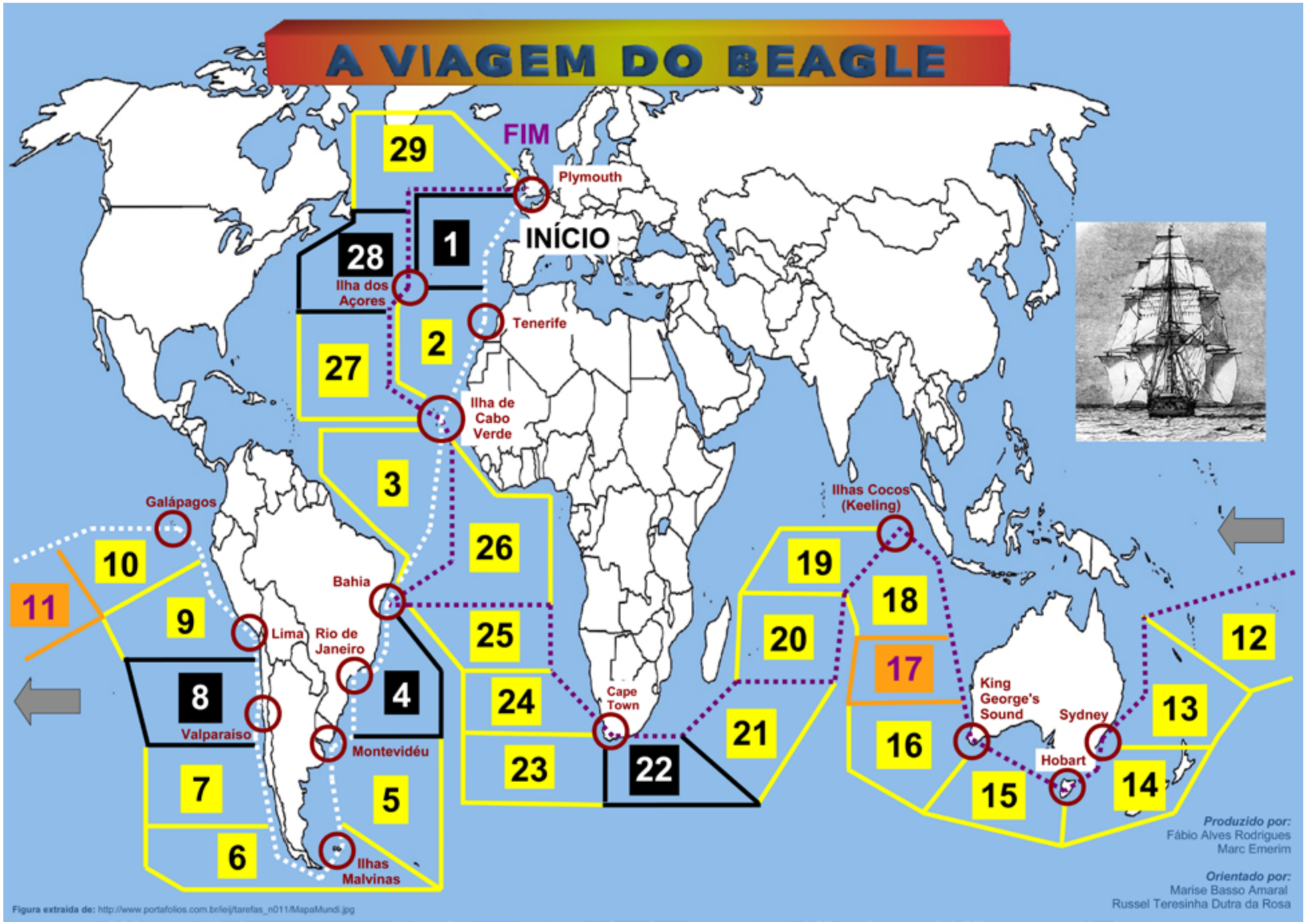


Figura 4. Tabuleiro do Jogo.

22

SELEÇÃO NATURAL COM BISCOITOS

Carlos Eduardo Lucas Vieira

OBJETIVO

Embora seja um conceito-chave e simples da Teoria da Evolução, a seleção natural é frequentemente pouco ou mal entendida. O objetivo desta experiência é fazer com que o conceito de seleção natural seja elaborado pelos alunos de forma livre e espontânea, sem qualquer pré-disposição ou pré-orientação, afim de facilitar e reforçar seu entendimento posterior. Esta experiência permite ao professor demonstrar a aleatoriedade e efetividade da seleção natural, de modo lúdico.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MODALIDADE

Atividade em duplas.

MATERIAL

Quatro ou mais sacos de biscoitos sortidos **(Figura 1)**, sal, água, pratos e guardanapos. **Atividade** impressa em folha A4.

Figura 1. Exemplos de biscoitos sortidos que podem ser utilizados na atividade.

PROCEDIMENTO

Escolher cinco formas diferentes de biscoitos do saco. Separar os biscoitos em grupos, de acordo com sua forma. Em um frasco, fazer uma solução hipersalina de água e sal. Escolher duas formas diferentes de biscoitos e pingar neles algumas gotas da solução hipersalina (cuidar para não amolecer demais o biscoito, a ponto de inviabilizar seu manejo). Esperar que estes biscoitos sequem. Após, misturar estes biscoitos aos demais biscoitos (que não receberam a solução hipersalina), e distribuir porções de 20 biscoitos em cada prato, sendo cinco biscoitos de cada forma. Dividir os alunos em duplas, distribuir os guardanapos e entregar um prato contendo os 20 biscoitos.

Ao receber o prato com os 20 biscoitos misturados, as duplas devem identificar e nomear as cinco diferentes formas de biscoito: por exemplo, estrela, flor, rosca, espiral, etc. Isso é importante para o posterior preenchimento da **tabela 1**. Depois disso, as duplas vão ter que provar 10 biscoitos dos 20, sendo dois de cada vez, totalizando cinco rodadas de provas (ou consumo) de biscoitos. A cada rodada (ou seja, a cada dois biscoitos provados), as duplas devem anotar os dados solicitados na **tabela 1**. A forma segue a denominação dada pelas duplas (estrela, rosca, etc.); em gosto, preencher com bom ou ruim.

	Biscoito consumido 1		Biscoito consumido 2	
	Forma	Gosto	Forma	Gosto
Rodada 1				
Rodada 2				
Rodada 3				
Rodada 4				
Rodada 5				

Tabela 1. Biscoitos consumidos a cada rodada.

Após o preenchimento da tabela, as duplas devem responder as seguintes questões:

1) Todos os biscoitos mostraram a mesma característica quanto ao aspecto "gosto"? Explique.

2) Ao final do experimento devem ter sobrado 10 biscoitos que não foram provados. Quantos biscoitos de cada forma sobraram?

3) As formas de biscoitos que sobraram refletem toda a variedade inicial de biscoitos?

4) Ao longo das cinco rodadas, houve algum tendenciamento no consumo dos biscoitos?

5) Com base nesta experiência, seria possível fazer uma analogia com o que ocorre na natureza na relação predador-presa?

23

EQUILÍBRIO PONTUADO EM AÇÃO

Marina Bento Soares
Tiago Raugust

INTRODUÇÃO

No final da década de 1960, os paleontólogos Niels Eldredge e Stephen Jay Gould debruçaram-se a estudar a distribuição de alguns táxons de invertebrados no registro fossilífero, não encontrando uma mudança gradual e contínua nas formas que se sucediam estratigraficamente. Em vez disso, eles encontraram aparições repentinas (em termos de tempo geológico) de novas formas de fósseis seguidas por longos períodos em que esses organismos mudavam bem pouco. Os defensores do Neodarwinismo sempre atribuíram a falta de formas intermediárias à famosa incompletude do registro fóssil, já comentada por Darwin em 1859. Eldredge e Gould passaram a defender a ideia de que as aparições repentinas de novas formas fósseis observadas no registro fossilífero eram reais. Então, em 1972, eles publicaram um trabalho que teria muita repercussão no meio científico, propondo um novo modelo, o Modelo do Equilíbrio Pontuado (= interrompido). Neste modelo, é oferecida a perspectiva de que a história da evolução não corresponde a um desdobramento firme e gradual, como os neodarwinistas propunham até então.

Ao contrário, a evolução deve ser entendida como sendo processada pela presença de equilíbrio homeostático, perturbado apenas raramente (vale dizer diversas vezes, em termos de tempo geológico) por rápidos e episódicos eventos de especiação. (Adaptado de Barberena, 1984).

OBJETIVO

Através da ordenação de imagens simulando uma população hipotética de caracóis que sofre rápida especiação, possibilitar a compreensão dos conceitos envolvidos no modelo do Equilíbrio Pontuado.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

MODALIDADE

Individual ou em dupla.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4. **Texto** adaptado de Barberena (1984).

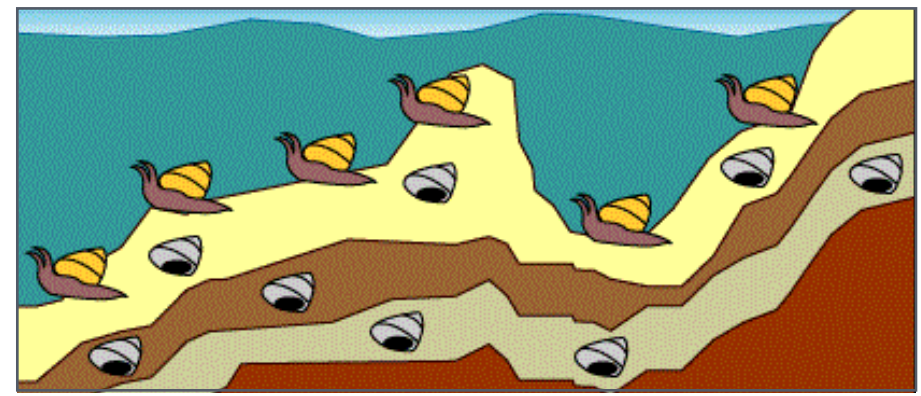
PROCEDIMENTO

A seguir estão apresentadas seis cenas de uma história hipotética envolvendo a especiação de uma população de caracóis ao longo do tempo. As cenas não estão ordenadas.

1) Numerar, nas linhas pontilhadas, as cenas de 1 a 6, em ordem cronológica correta.
2) Escrever, abaixo de cada cena uma legenda que descreva os processos ocorridos nesta história de especiação. Para cada legenda, utilizar as palavras-chave sugeridas.

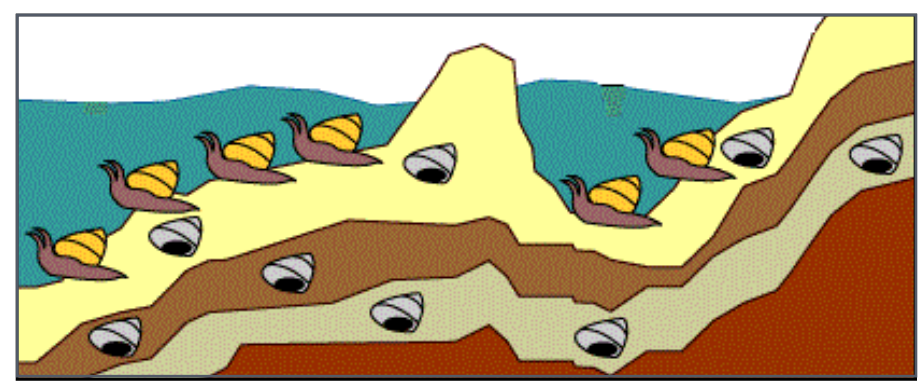
Imagens cordialmente cedidas por *University of California Museum of Paleontology's Understanding Evolution* (www.evolution.berkeley.edu).

Cena nº:...



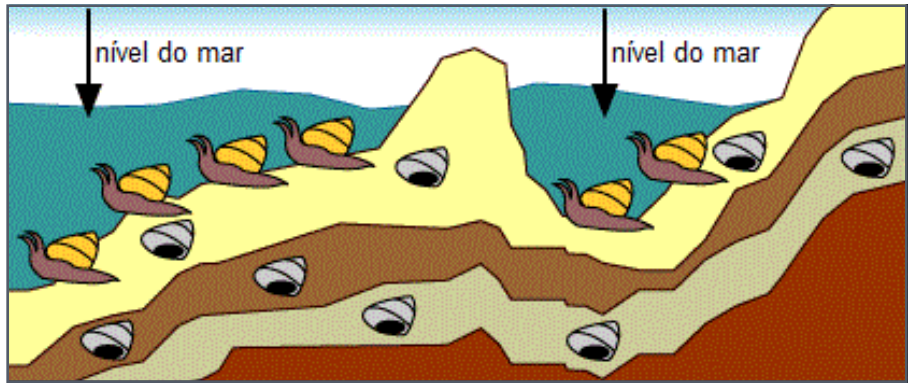
Palavras-chave: isolados periféricos; deriva genética; seleção; alopátrica.

Cena nº:...



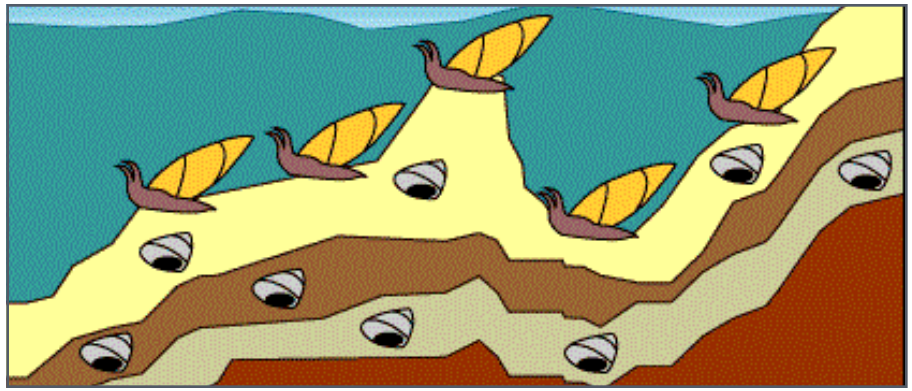
Palavras-chave: novidades evolutivas; vantagem; competição; extinção.

Cena nº:...



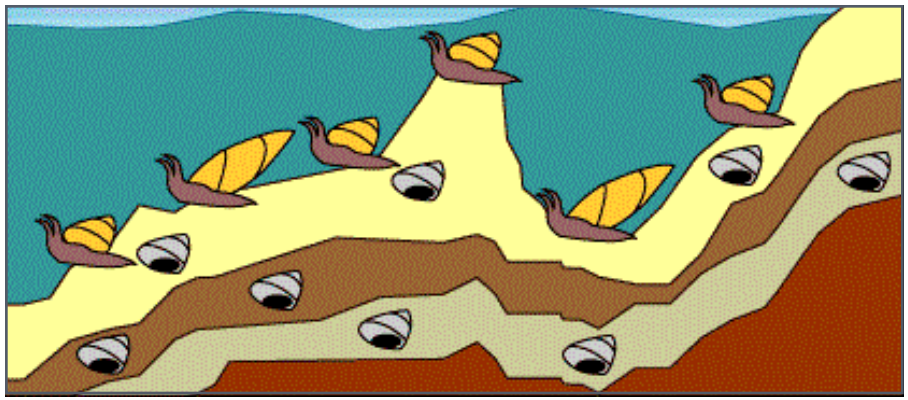
Palavras-chave: nível do mar; isolamento geográfico; população original.

Cena nº: ...



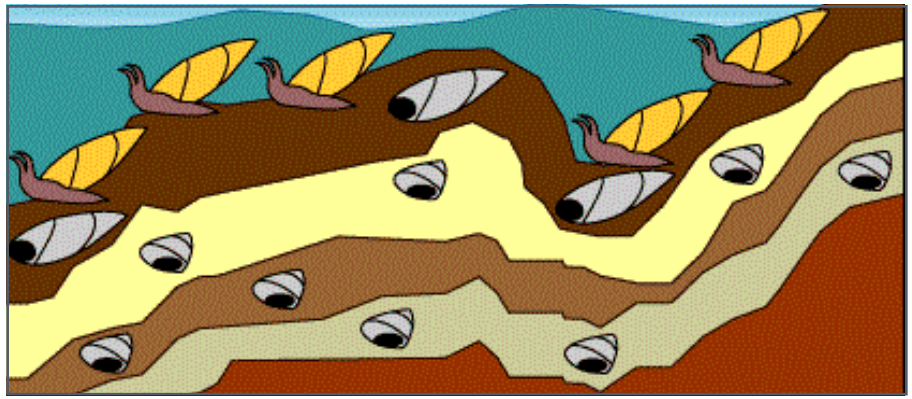
Palavras-chave: estase; tempo; fósseis; mudança morfológica.

Cena nº:...



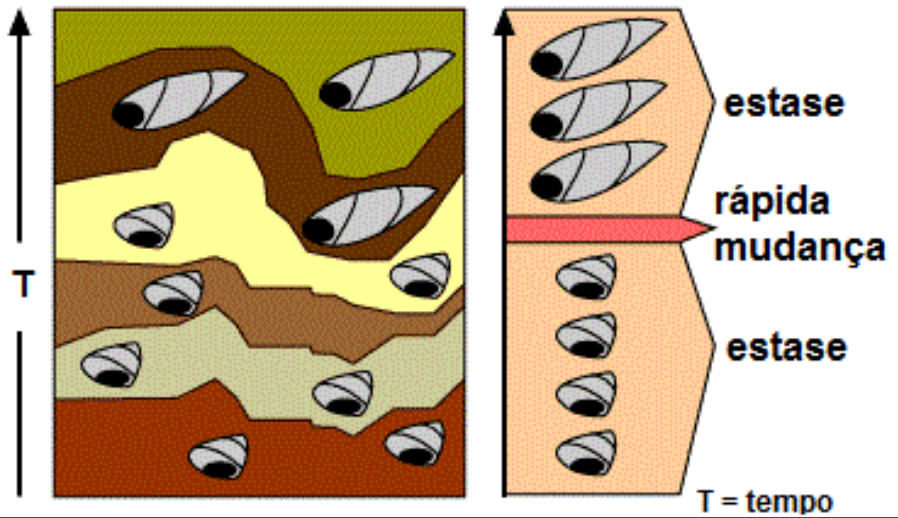
Palavras-chave: grande população; ambiente estável; mudanças evolutivas; estase; fósseis.

Cena nº:...



Palavras-chave: nível do mar; isolados periféricos; tempo; diferenças genéticas; nova espécie; invasão; fósseis.

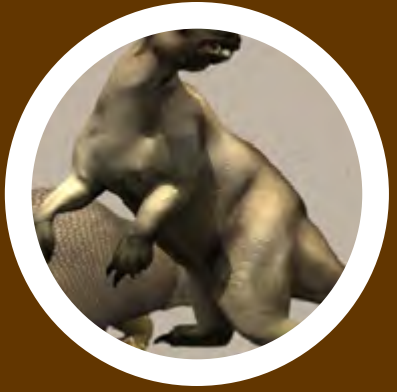
3) Relacionar a história acima descrita com o padrão que será observado pelo paleontólogo no registro fóssil, caso as rochas onde os caracóis se preservaram sejam encontradas. Ou seja, explicar como o Equilíbrio Pontuado justifica os hiatos morfológicos (ou quebras morfológicas) observados ao longo da evolução de uma



REFERÊNCIAS

BARBERENA, M. C. 1994. Microevolução e Macroevolução: a perspectiva da Paleontologia. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Rio de Janeiro, Anais, p. 465- 477.

ELDREDGE, N. & GOULD, S.J. 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism, p. 82-115. In: T.J.M. SCHOPF (ed.). Models in Paleobiology. San Francisco: Freeman, Cooper e Co.



DESVENDANDO AS EXTINÇÕES PLEISTOCÊNICAS

24

Richard A. Fariña
Marina Bento Soares

OBJETIVO

Trazer à discussão as possíveis e prováveis causas da extinção dos megamamíferos da Idade do Gelo (Pleistoceno), a primeira extinção em massa do tempo geológico na qual o fator humano pode ter sido de grande importância.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual ou em grupo.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

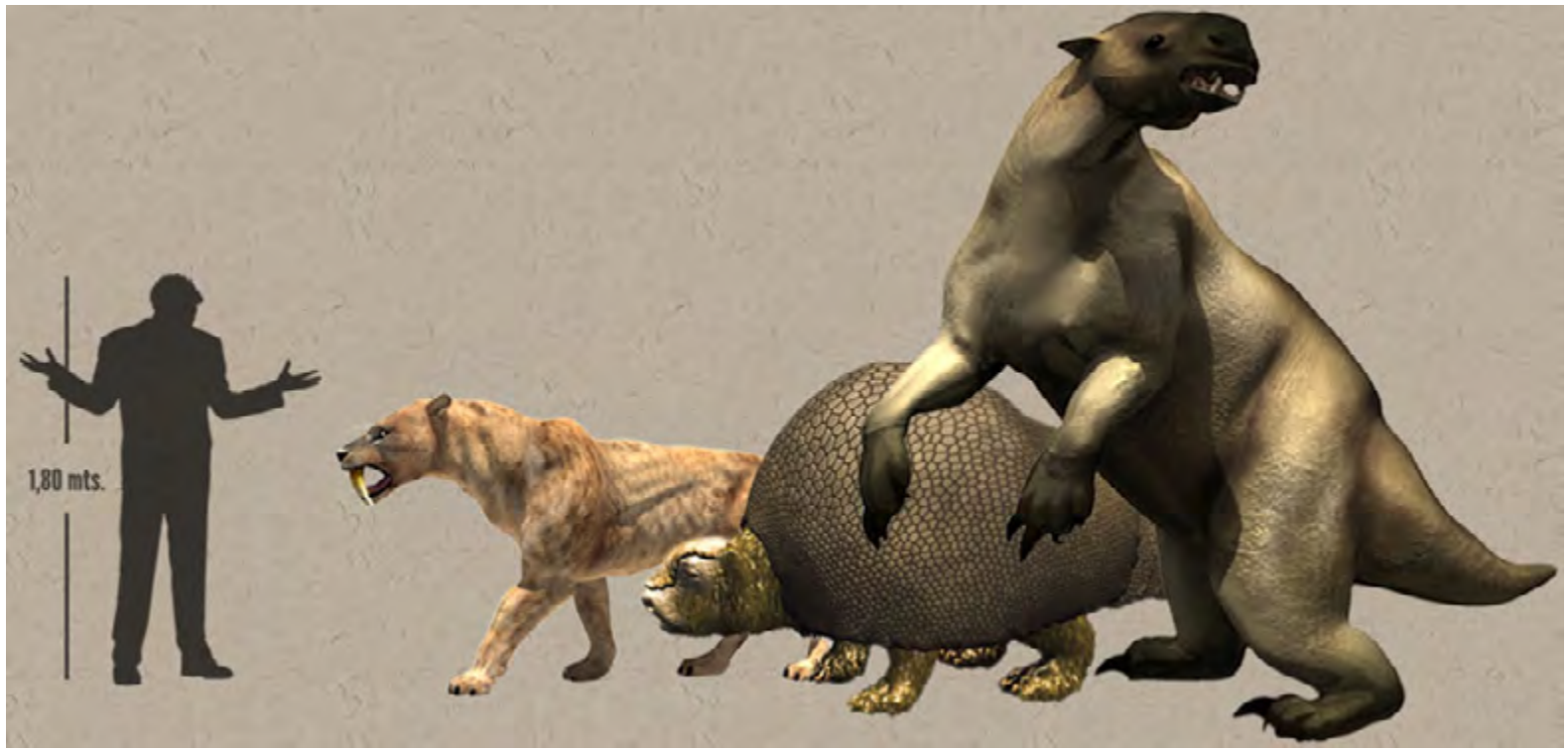
Leia o texto a seguir, analise os dados apresentados e responda as questões que seguem sobre a extinção dos megamamíferos da Idade do Gelo. Dez mil anos atrás, apenas um instante em termos geológicos, a América do Sul era habitada por uma fauna de mamíferos de tal diversidade, raridade e tamanho que deixa

pequenos os animais das savanas africanas. Ursos, "tigres" de dentes-de-sabre, lhamas de grande tamanho, capivaras de 150 kg e antigos cavalos são alguns desses exemplos. Também havia estranhas criaturas não muito aparentadas com animais modernos: preguiças terrícolas e bípedes de vários metros de altura, os completamente encouraçados gliptodontes do tamanho de um hipopótamo, macrauquênias e toxodontes (Fariña & Vizcaíno, 1995) **(Figura 1)**. Muitas outras formas curiosas de grandes mamíferos habitavam a América do Norte, a África, a Europa e a Austrália. Há 50.000 anos, os continentes eram povoados com mais de 150 gêneros de animais com mais de 44 Kg. Há cerca de 10.000 anos, pelo menos 97 destes gêneros desapareceram (Barnosky *et al*. (2004).

Quais foram as possíveis causas que provocaram a extinção desse conjunto tão espetacular?

Em geral, pode-se dizer que o fim do Pleistoceno, isto é, as últimas dezenas de milhares de anos até 10.000 anos antes do presente, quando começou o Holoceno, foi o tempo dos gigantes. Com efeito, em muitos continentes encontram-se faunas fósseis de mamíferos bastante maiores que as atuais.

Figura 1. Alguns representantes da megafauna da América do Sul, em escala. Da esquerda para a direita: "tigre" dentes-de-sabre *(Smilodon)*, gliptodonte *(Panochthus)*, preguiça gigante *(Glossotherium)*. Retirada de http://www.arroyodelvizcaino.org/en/megafauna/.



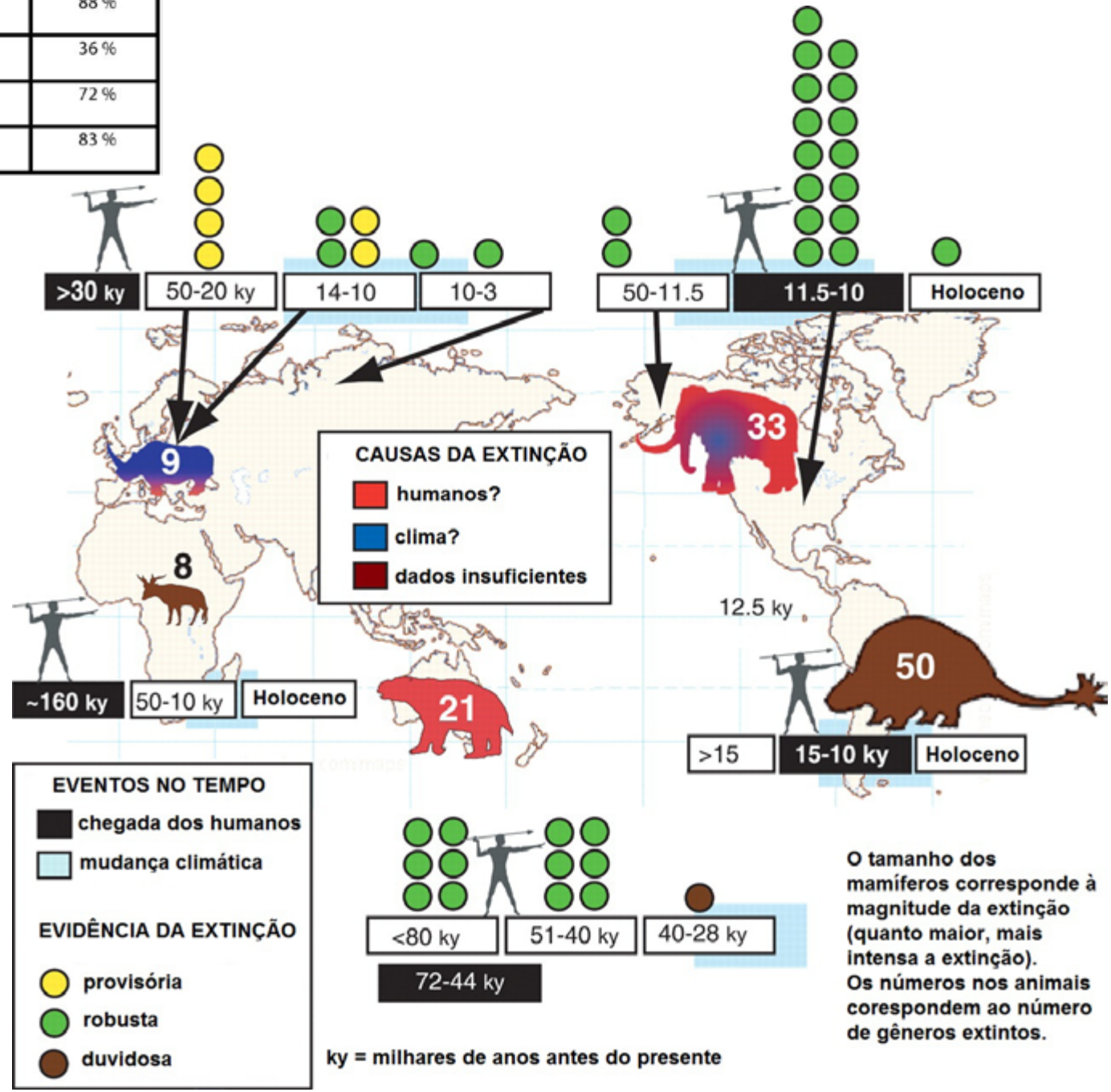
Continente	Gêneros que existiram em tempos históricos	Gêneros extintos globalmente	Gêneros que sobreviveram em outro continente	Porcentagem de extinção
África	36	5	3	18 %
Austrália[1]	2	14	-	88 %
Eurásia[2]	16	5	4	36 %
América do Norte	13	28	5	72 %
América do Sul	10	49	1	83 %

[1] Austrália também tem 7 gêneros de répteis e aves megafaunais.

[2] Eurásia inclui somente a região norte, devido à ausência de dados da região sul.

O quadro acima apresenta os números de gêneros de megamamíferos afetados pelas extinções pleistocênicas nos diversos continentes.

No diagrama ao lado, modificado de Barnosky *et al*. (2004), vê-se a configuração temporal das extinções pleistocênicas nos continentes e suas possíveis causas. Também são informadas as datas da chegada dos humanos, pela primeira vez, nos distintos continentes e a época das mudanças climáticas.



Com base na análise da tabela e do diagrama, responda:

1) Em quais continentes o impacto humano é apontado como fator principal da extinção da megafauna?
2) Em quais continentes a evidência aponta para o clima como fator determinante da extinção?
3) Em quais continentes falta ainda mais trabalho para esclarecer a situação?
4) Que tipo e evidência ainda é necessário procurar?
5) Finalmente, o que a extinção do Pleistoceno suscita em termos de possíveis consequências éticas da ação humana sobre a biodiversidade?

REFERÊNCIAS

BARNOSKY, A. D.; KOCH, P. L.; FERANEC, R. S.; WING, S .L. & SHABEL, A. 2004. Assessing the causes of Late Pleistocene Extinctions on the Continents. Science 2004: 70-75.

FARIÑA, R. & VIZCAÍNO, S. 1995. Hace sólo diez mil años. Montevidéu, Uruguai: Fin de Siglo Editora, 6ª ed.123 p.

FARIÑA, R.; VIZCAÍNO, S., DE IULIIS, G. & TAMBUSSO, S. 2013. Megafauna: Giant Beasts of Pleistocene South America (Life of the Past). Indiana University Press, 1th ed., 435p.

EXTINCTA
O JOGO DAS EXTINÇÕES

Ana Emilia Q. de Figueiredo
Karine Lohnmann de Azevedo
Adriana Strapasson de Souza

O jogo Extincta consiste em um jogo de cartas, inspirado no jogo "Clue Suspeitos" da Empresa Hasbro®, constituindo uma versão didática que aborda conteúdos referentes às grandes extinções em massa que ocorreram durante a história evolutiva do Planeta Terra.

OBJETIVO

Este jogo é um recurso didático que objetiva auxiliar o ensino-aprendizagem de conceitos paleontológicos referentes às grandes Extinções em Massa, principalmente no que tange à compreensão e memorização das principais causas e dos organismos afetados pelos maiores eventos que ocorreram ao longo do tempo geológico. Extincta é um jogo de complexidade mediana, que exige, de seus jogadores, raciocínio lógico, dedução e memória. Os alunos deverão descobrir o período e a causa de um determinado evento de extinção em massa, além dos organismos afetados por esta extinção por meio de pistas fornecidas ao longo do jogo que dependerão unicamente das perguntas feitas pelos jogadores.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Três equipes, de um a três jogadores.

MATERIAL

Cinco **cartas-confidencial**; 20 **cartas-evidência**; uma **tabela** acessória.

REGRAS DO JOGO

Preparação

1) Devem ser formadas três equipes, cada uma contendo de um a três jogadores, e mais uma pessoa externa às equipes, em cada rodada.

2) As cinco cartas-confidenciais **(Figura 1)** serão separadas em uma pilha .

Figura 1. Exemplo de carta-confidencial.

3) As cartas-evidência, em número de 20, estão divididas em três grupos: cartas verdes, contendo períodos geológicos; cartas azuis, apresentando causas das extinções; cartas vermelhas, contendo grupos fósseis afetados pelas extinções **(Figura 2)**. As 20 cartas-evidências devem ser deixadas em uma pilha separada.

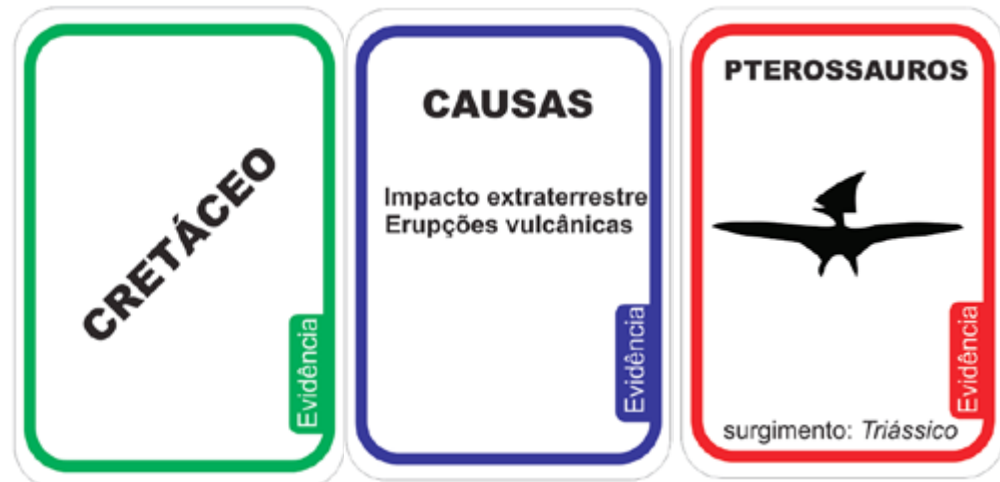


Figura 2. Exemplos dos três tipos de cartas-evidência relacionadas à carta-confidencial amarela da Figura 1.

4) A pessoa externa, que não poderá jogar a rodada, deverá sortear uma carta-confidencial da pilha, olhá-la e selecionar entre todas as cartas-evidência, aquelas que trazem características (período, causas e grupos afetados) relacionadas à carta-confidencial sorteada.

5) A pessoa externa deve colocar as cartas-evidência que foram selecionadas, embaixo da carta-confidencial. Estas são as respostas do enigma e, por isso, estas cartas devem ficar com as informações viradas para baixo, de modo que nenhum participante possa ler.

6) As cartas-evidência restantes devem ser distribuídas, de forma aleatória, pela pessoa externa entre as equipes participantes do jogo. Lembrar que as cartas-evidência que estão embaixo da carta-confidencial são as respostas, assim as cartas-evidências restantes não estão relacionadas ao evento de extinção sorteado.

7) Cada equipe deve receber uma **tabela acessória** (ao lado), que objetiva organizar melhor a estratégia do jogo, pois ela facilita a visualização das respostas do enigma. A cada rodada, serão marcadas na tabela as cartas recebidas pela equipe (aquelas que não contêm a resposta do enigma); devem ser marcadas, também, todas as cartas que forem reveladas ao longo de cada rodada. Usar **R** para respostas corretas e **N** para respostas incorretas.

Como Jogar

Após a distribuição das cartas-evidência, escolher um grupo para começar a partida, o jogo seguirá sempre para a esquerda (sentido horário).

Início – a primeira equipe faz a pergunta

1) Cada equipe deve olhar as suas cartas, sabendo que as cartas que estão com a equipe não pertencem à resposta do jogo. Portanto estas cartas podem ser marcadas como na tabela, como **N**.

2) A equipe 1 faz uma pergunta à equipe 2 (da esquerda) sobre dois aspectos que a equipe 1 suspeita fazerem parte da resposta.

	RODADAS				
	#1	#2	#3	#4	#5
ORGANISMOS					
Amonoides					
Euripterídeos					
Graptólitos					
Ostracodermes					
Pelicossauros					
Placodermes					
Pterossauros					
Rauissúquios					
Rincossauros					
Trilobitas					
PERÍODO					
Cretáceo					
Triássico					
Permiano					
Devoniano					
Ordoviciano					
CAUSAS					
-Recuo dos mares; - Glaciação, seguida de aquecimento.					
-Impacto extraterrestre; -Recuo do mar; - Anoxia dos oceanos; - Resfriamento.					
-Vulcanismo; - Anoxia dos oceanos; - Aquecimento.					
- Mudanças climáticas; - Resfriamento; - Liberação de magma nos oceanos.					
- Impacto extraterrestre; - Erupções vulcânicas.					

Por exemplo: O grupo animal ... se extinguiu no período ... ? ou então, No período ... os motivos da extinção em massa foram ...? ou então, O animal ...foi extinto devido a...causas?

Resposta da outra equipe

O jogador da equipe 2, que irá responder, deve verificar entre suas cartas-evidência se alguma delas possui a informação referente à pergunta (animal, período ou causas da extinção). Caso afirmativo, o jogador da equipe 2 deve, discretamente, passar a carta para o jogador da equipe 1, sem revelá-la às demais equipes. O jogador da equipe 1 recebe a carta do jogador da equipe 2, olha a carta discretamente e a devolve para a equipe 2. Com isso, a equipe 1 sabe que a informação revelada na carta não faz parte da resposta do enigma (conjunto de cartas-evidência reunidas à carta-confidencial sorteada). Esta carta-evidência deve ser marcada na tabela como **N**. Caso existam duas cartas-evidência referentes à resposta da pergunta, o jogador da equipe 2 deve escolher apenas uma das cartas para mostrar para a equipe 1.

Exemplificando

- Pergunta da equipe 1: " O grupo animal PLACODERMES foi extinto no PERMIANO"?
- A equipe 2 tem a carta PERMIANO, então passa essa carta para a equipe 1, a qual deve marcar na tabela como **N**, ou seja, PERMIANO não é a resposta para o enigma

Repassando a pergunta

Caso a equipe 2 não possuir nenhuma carta referente à pergunta feita pela equipe 1, automaticamente a pergunta passará para a equipe 3, à esquerda.
Caso nenhuma das três equipes tiver as respostas da pergunta, o jogador da equipe 1 saberá que as duas características perguntadas estão sob a carta-confidencial e fazem parte da resposta correta do enigma, podendo estas serem, marcadas na tabela como **R**.
Assim, a próxima equipe à esquerda, equipe 2, faz a sua pergunta e o jogo continua até que alguém saiba a resposta correta completa.

Término do jogo

Assim que alguma equipe acreditar saber a resposta correta completa, deve escrevê-la em um papel e, na sua vez de jogar, falar que quer tentar responder ao enigma. Como o principal objetivo do jogo é investigar em qual período geológico ocorreu a extinção em massa, quais os organismos que foram extintos e quais as causas do evento de extinção, a resposta correta é constituída de um período geológico, uma série de causas e dois ou mais grupos de animais atingidos. Neste caso, o papel com a resposta escrita virada para baixo deve ser colocado no meio da mesa.
A pessoa externa deve verificar se as respostas escritas no papel correspondem à resposta contida na carta-confidencial sorteada e comunicar à equipe que respondeu se a resposta está correta ou não. Caso a resposta esteja correta, a equipe venceu, devendo mostrar sua resposta às duas equipes oponentes. Se a resposta estiver

errada, a rodada continua, mas a equipe que errou passa somente a responder as perguntas, contudo, sem direito a perguntar e a tentar acertar a resposta.

No caso de mais de uma equipe saber a resposta, todas devem escrever as respostas em papéis, colocando-os no meio da mesa, virados para baixo. A pessoa externa deve virar o conjunto carta-confidencial e cartas-evidência de um a só vez para que se saiba a resposta correta. A equipe com a vez de fazer a pergunta tem prioridade sobre as demais, e será a primeira a responder, expondo o seu papel com a resposta. Se a resposta estiver certa e completa, esta equipe é a vencedora! Caso ela tenha errado a resposta, a próxima equipe deve tentar responder e, assim, sucessivamente, até uma vencer ou todas perderem. Este é o final da primeira rodada. Ao total, a partida é composta por cinco rodadas. Será ganhadora a equipe que vencer o maior número de rodadas.

JOGO CORRIDA PALEONTOLÓGICA

José Eduardo Teixeira Falcon, Michelle Noronha da Matta Baptista, Nathalia Chicon Elert, Paula Vieira Borlini, Suelen Ferreira da Conceição, Tuane da Silva Cabral, Wellington de Oliveira Silva, Taissa Rodrigues

Corrida Paleontológica consiste em um jogo de tabuleiro com perguntas e respostas, que aborda didaticamente processos de fossilização e eventos ocorridos durante os períodos geológicos, inclusive as extinções em massa.

OBJETIVO

Os jogos didáticos, por serem atividades práticas e interativas, incentivam e facilitam a aprendizagem do indivíduo. De forma lúdica, a Corrida Paleontológica aborda assuntos gerais sobre o conteúdo da paleontologia. A associação de perguntas e respostas, relacionadas a um período geológico ou a um evento específico da paleontologia, apresenta de forma dinâmica os temas contidos nessa área, estimulando o interesse do aluno através do incentivo ao raciocínio e da assimilação ao assunto. Com isso, o aluno põe em prática o conhecimento teórico acerca dos acontecimentos de interesse à Paleontologia.

PÚBLICO ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

MATERIAL

Uma **roleta**; um **tabuleiro**; quatro peões (não inclusos); dois dados; **70 cartas** **(Figuras 1, 2 e 3)**.

Figura 1. Roleta do jogo Corrida Paleontológica.

Figura 2. Parte do tabuleiro do jogo Corrida Paleontológica.

Figura 3. Exemplos de Cartas do jogo Corrida Paleontológica.

REGRAS DO JOGO

Preparação

1) O jogo exige de dois a quatro participantes, ou dois a quatro pequenos grupos com no máximo três integrantes cada, além de um mediador, que deve ser uma pessoa externa ao jogo, para a realização das perguntas.

2) As cartas devem ser embaralhadas e organizadas pelo mediador e devem permanecer viradas para baixo, separadas em pilhas de acordo com o tema indicado no verso de cada carta.

Não existem cartas para perguntas sobre as extinções e a glaciação.

Como jogar

1) Os participantes selecionam na sorte quem dará início à jogada e, a partir daí, segue-se o sentido horário.

2) O ponto de partida no tabuleiro é o Hadeano, na base da coluna cronoestratigráfica.

3) O jogador iniciante gira a roleta, selecionando um tema.

4) O mediador retira uma das cartas do tema sorteado e lê a pergunta para o participante (a resposta está em negrito).

5) Se o jogador acertar a pergunta, move o peão três casas à frente, mas se errar deve permanecer onde está. Caso a pergunta não seja respondida corretamente, o mediador não lê a resposta e coloca a carta na parte de baixo da pilha de onde foi retirada.

6) Se ao girar a roleta a casa selecionada for a Extinção P-T (Permo-Triássico), o jogador utiliza o dado azul para tirar a sorte. Sorteando um organismo que sobreviveu à extinção, o participante permanece no jogo, porém se sortear um organismo que se extinguiu, o jogador se torna extinto e deve sair do jogo. Se a casa selecionada for a Extinção K-Pg (Cretáceo-Paleógeno), o procedimento é o mesmo, mas o dado utilizado é o de cor alaranjada. Na Glaciação, o jogador congela e permanece uma rodada sem jogar.

7) Vence quem chegar primeiro ao Holoceno.

8) Pode-se optar por dar continuidade ao jogo para ter jogadores em segundo e terceiro lugar.

OBSERVANDO E AGRUPANDO ORGANISMOS

Cristina Silveira Vega
Eliseu Vieira Dias

OBJETIVO

Introduzir o conceito de classificação taxonômica dos organismos.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos iniciais).

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

1) Observe o corpo de um cachorro, de um peixe e de um pássaro **(Figuras 1, 2 e 3)**.

2) Faça uma lista das semelhanças e diferenças entre os três.

3) Compare os organismos dois a dois (cachorro/pássaro; cachorro/peixe; pássaro/peixe) e responda se o número de semelhanças encontradas foi maior ou menor que o número de diferenças?

4) Com base na resposta da questão 3, você poderia dizer quais organismos são mais aparentados entre si? Justifique sua resposta.

Figura 1. Cachorro.

Figura 3. Pássaro.

Figura 2. Peixe.

CONSTRUINDO CLADOGRAMAS

Cristina Silveira Vega
Eliseu Vieira Dias

OBJETIVO

Elucidar as relações de parentesco entre grupos de organismos através da construção de diagramas filogenéticos, os cladogramas. Mostrar as etapas envolvidas na construção de cladogramas.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

45 minutos.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

A **figura 1** reúne cinco táxons (A, B, C, D, E) representantes de um grupo hipotético de lagartos, além do táxon que representa o grupo-externo.

1) Faça uma lista de caracteres e estabeleça seus estados de caráter.

Exemplo:

Caráter 1: cor dos olhos

Estados do caráter: 0 = pretos; 1 = brancos

2) Construa uma matriz de caracteres, polarizando cada um deles. Veja a tabela a seguir, que exemplifica o caráter 1: cor dos olhos e proceda assim para os demais caracteres. Lembre-se: estado primitivo (ancestral, plesiomórfico) = 0; estado derivado (avançado, apomórfico) = 1, 2, etc.

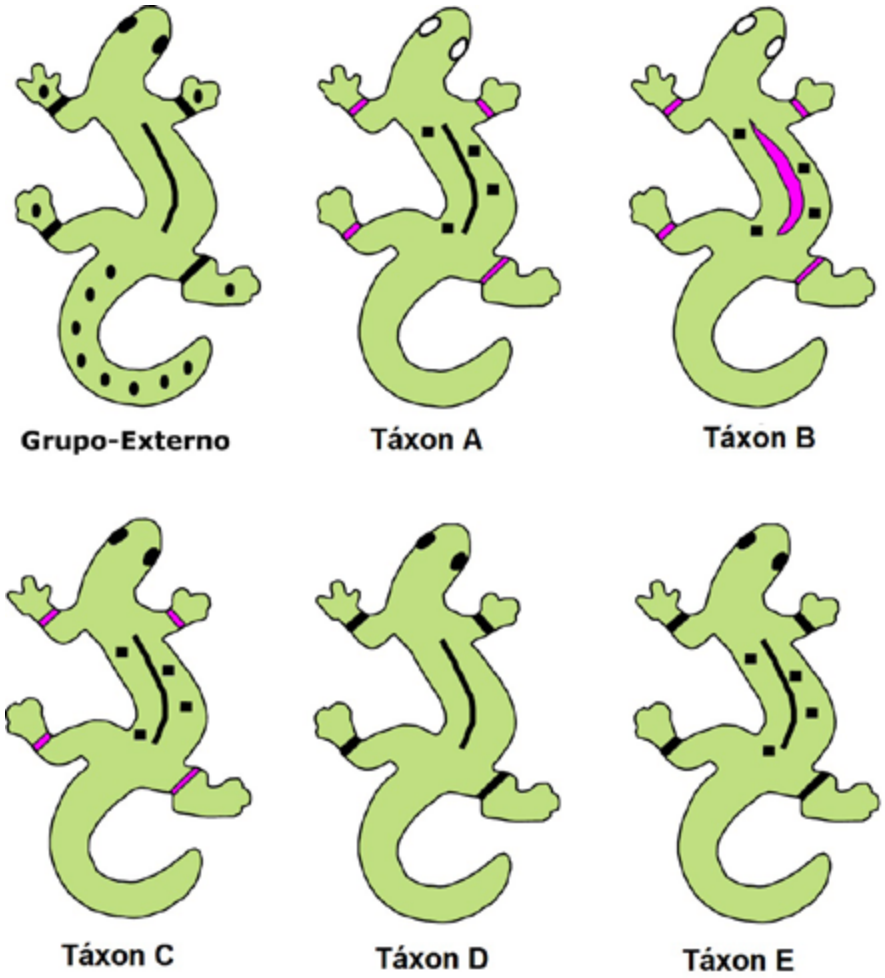


Figura 1. Desenho representando o grupo-externo e os demais táxons de lagartos a serem analisados (grupo-interno).

Caracteres	Táxons / Estados dos caracteres					
	Grupo externo	Táxon A	Táxon B	Táxon C	Táxon D	Táxon E
1: cor dos olhos	0	1	1	0	0	0

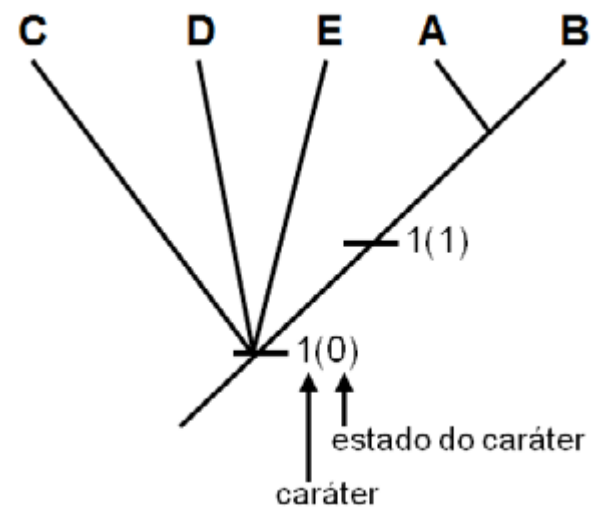


Figura 2. Cladograma parcial do caráter 1.

3) Elabore cladogramas parciais para cada caráter listado na sua matriz. Ver o cladograma da **figura 2**, com base no caráter 1, cor dos olhos.

4) Após a elaboração de todos os cladogramas parciais, monte um cladograma final, reunindo todos os caracteres analisados.

29

CONSTRUÇÃO DE CLADOGRAMA COM BRAQUIÓPODES

Marina Bento Soares
Cristina Silveira Vega

OBJETIVO

Elucidar as relações de parentesco entre diferentes grupos de braquiópodes através da construção de cladogramas. Mostrar as etapas envolvidas na construção de cladogramas.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

50 minutos.

MATERIAL

Cartões ilustrando as características anatômicas básicas de cinco grupos do Filo Brachiopoda. **Atividade** impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

Neste exercício você vai construir um cladograma que ilustra as relações filogenéticas (de parentesco) entre quatro diferentes grupos de braquiópodes articulados **(ver capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS)**: Orthida, Rhynchonellida, Terebratulida, Strophomenina e Productina. As características gerais de cada grupo de braquiópodes estão ilustradas em cartões como o

abaixo apresentado **(Figura 1)**. Os cartões serão necessários para a construção da matriz de dados.

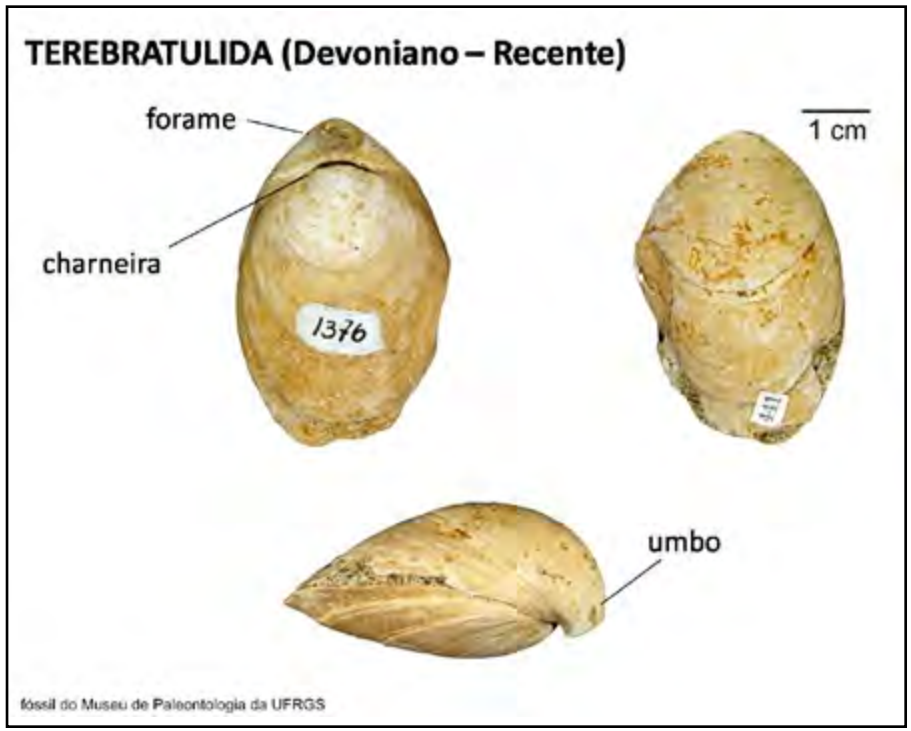


Figura 1. Características gerais dos braquiópodes Terebratulida.

O exercício está dividido em quatro etapas. As Etapas 1 e 2 já foram executadas. Assim, leia os enunciados da Etapa 1 e da Etapa 2 e passe para a Etapa 3.

Etapa 1: Seleção dos caracteres

Nesta etapa são listados os caracteres que estão evidenciados na evolução do grupo em questão. Podem ser quaisquer características que variem dentro do grupo, ou seja, exibem diferentes estados de caráter, e que sejam presumivelmente herdáveis. Os seguintes caracteres foram utilizados aqui: tipo de abertura para o pedúnculo, ornamentações na concha, umbo, linha de charneira, espinhos na concha e forma da concha.

Etapa 2: Determinando a polaridade

O segundo procedimento é determinar quais dos estados de caráter são primitivos e quais são derivados, ou seja, determinar a polaridade. Para isso, você deve determinar um grupo externo, ou seja, um táxon que apresente os caracteres em seu estado primitivo. Assim, os estados de caráter para o grupo externo são assinalados com "0" e o(s) outro(s) estado(s) de caráter, com "1", "2", etc. Abaixo estão listados os seis caracteres que serão analisados (Etapa 1), bem como seus respectivos estados de caráter (Etapa 2).

Tabela 1. Lista dos caracteres e seus estados.

CARÁTER	ESTADOS DO CARÁTER
1. Tipo de abertura para o pedúnculo	Deltírio aberto (0) Deltírio fechado (1) Forame (2)
2. Ornamentações na concha	Concha com costelas finas (0) Concha com costelas grossas (1) Concha lisa (2)
3. Umbo	Pouco desenvolvido (0) Proeminente (1)
4. Linha de charneira	Reta (0) Oval (1)
5. Espinhos na concha	Ausentes (0) Presentes (1)
6. Forma da concha	Biconvexa (0) Côncavo-convexa (1)

Etapa 3: Construindo a matriz de dados

Com base nas características observadas nos cartões dos grupos de braquiópodes, complete a matriz de dados **(Tabela 2)** determinando os estados (0, 1, etc.) apresentados por cada táxon para cada um dos seis caracteres da **tabela 1**.

A linha referente ao Caráter 1 já está preenchida como exemplo. A coluna referente ao Grupo-externo (G.E.), que, neste caso, apresenta todos esses caracteres no estado primitivo (0), também já está preenchida. Lembre-se: estado primitivo (ancestral, plesiomórfico) = 0; estado derivado (avançado, apomórfico) = 1, 2, etc.

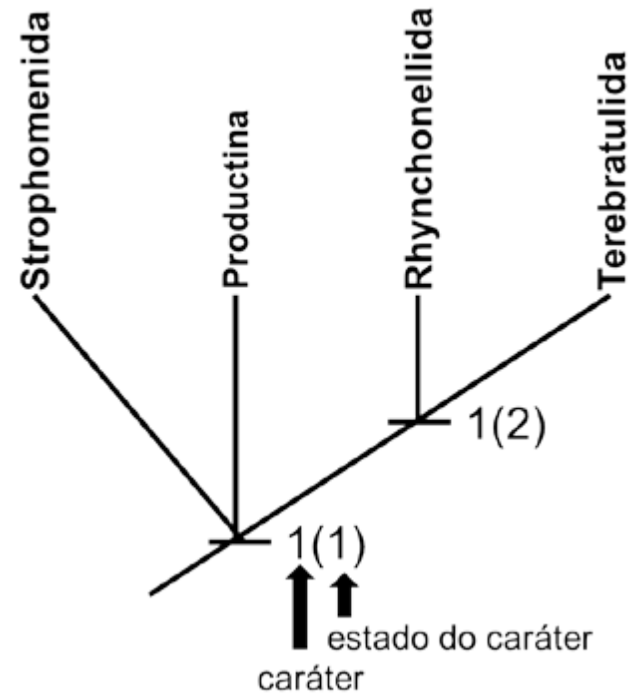
Etapa 4: Construindo o cladograma

Em um cladograma, os táxons são reunidos de acordo com os caracteres derivados que eles compartilham (sinapomorfias). Primeiramente elabore um cladograma parcial para cada caráter em questão, reunindo os táxons que compartilham os mesmos estados daquele caráter. Indique no cladograma parcial as mudanças de estado de cada caráter. Depois, reúna todos os cladogramas parciais em um cladograma único, final.

Como exemplo, é apresentado o cladograma parcial, referente ao caráter 1 (abaixo).

Tabela 2. Matriz de dados

	G.E.	Rhynchonellida	Terebratulida	Strophomenina	Productina
Caráter 1	0	2	2	1	1
Caráter 2	0				
Caráter 3	0				
Caráter 4	0				
Caráter 5	0				
Caráter 6	0				



30

QUEM COME QUEM E QUANDO?
CADEIA ALIMENTAR E EXTINÇÕES

Simone Baecker Fauth
Gerson Fauth

OBJETIVO

Permitir que os alunos compreendam que diferentes organismos podem compor a cadeia alimentar e que ao longo do tempo geológico estes seres vivos foram sendo substituídos por outros com função semelhante.

PÚBLICO-ALVO

Alunos do Ensino Fundamental (anos iniciais).

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

50 min.

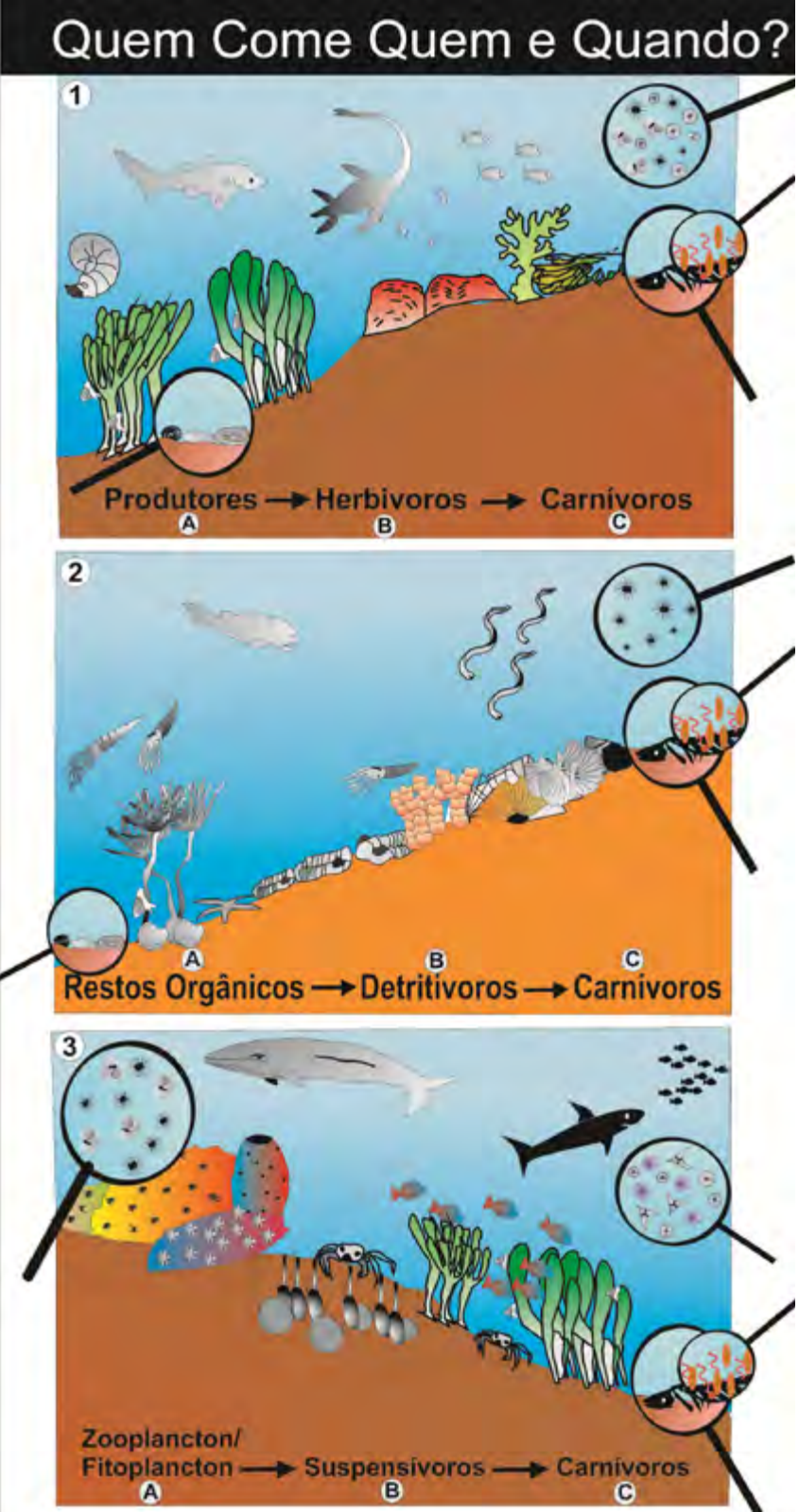
MATERIAL

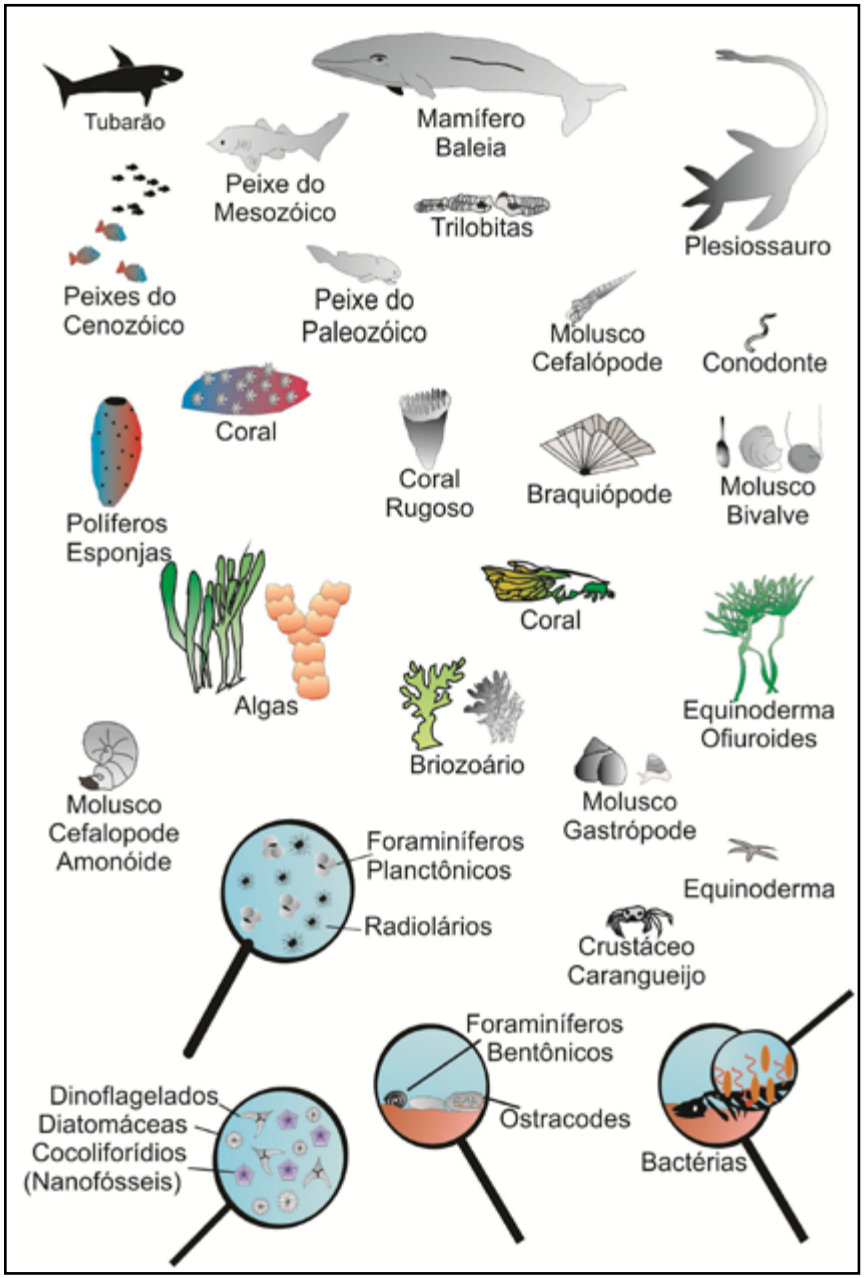
Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

1) Observar nas figuras 1, 2 e 3, que a cadeia alimentar pode ser constituída por organismos com diferentes hábitos alimentares. Os produtores primários, herbívoros, carnívoros, omnívoros e necrófagos são os mais conhecidos, mas no ambiente aquático existem animais que são detritívoros e suspensívoros.

2) Em cada uma das figuras (1, 2 e 3), indicar com setas os organismos que compõem a cadeia alimentar das, de acordo com a ordem sugerida (A⟶B⟶C).





Identificação dos organismos ilustrados nas figuras 1,2 e 3.

3) Determinar a Era do Tempo Geológico em que as paleocomunidades ilustradas em cada figura viveram, e circular o organismo que indicou a resposta.

Responder

1) Quem são os produtores, respectivamente, das figuras 1, 2 e 3?

2) Quem são os consumidores, respectivamente, das figuras 1, 2 e 3?

3) Quem são os decompositores, respectivamente, das figuras 1, 2 e 3?

4) Quem são os predadores, respectivamente, das figuras 1, 2 e 3?

5) Dentre os microfósseis das figuras 1 e 3, quem são os produtores e os consumidores?

6) Quem são os detritívoros das figuras 1 e 2?

7) Quem são os suspensívoros das figuras 2 e 3?

8)Assinalar a alternativa que indica um grupo de animais que vivia nos mares do Paleozoico e que não existe mais hoje.

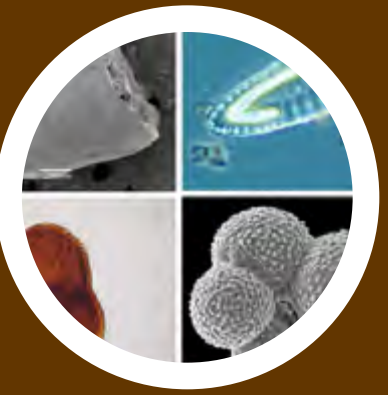
a) trilobitas
b) peixes
c) ostracodes
d) braquiópodes
e) corais

9) Assinalar a alternativa que apresenta grandes predadores dos mares do Mesozoico e que foram extintos no final do Cretáceo.

a) tubarões e raias
b) ictiossauros e plesiossauros
c) crocodilos e tartarugas
d) baleias e golfinhos
e) polvos e lulas

10) Assinalar a alternativa que indica o grupo de microfósseis que só pode ser encontrado em rochas do Paleozoico até o início do Mesozoico.

a) foraminíferos
b) dinoflagelados
c) conodontes
d) diatomáceas
e) cocolitoforídeos



ROCHAS SEDIMENTARES REVELANDO MICROFÓSSEIS

Simone Baecker Fauth
Gerson Fauth

OBJETIVO

Verificar a compreensão da aplicação do conhecimento sobre microfósseis em bioestratigrafia e paleoecologia.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual ou em grupo.

TEMPO DE EXECUÇÃO

De 10 a 30 min.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4 e tabelas **1** e **2**.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Leitura dos capítulos **O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS** e **A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS**.

PROCEDIMENTO

Na Tabela de Distribuição Estratigráfica de Microfósseis **(Tabela 1)**, traçar com uma linha vertical contínua o tempo de vida de cada grupo de microfósseis ao longo do tempo geológico, isto é, o intervalo de tempo que vai desde a sua primeira até a sua última ocorrência. Para isso, você pode consultar a Tabela Microfósseis frequentemente encontrados em Sedimentos e Rochas **(Tabela 2)** que sintetiza as principais informações sobre estes organismos.

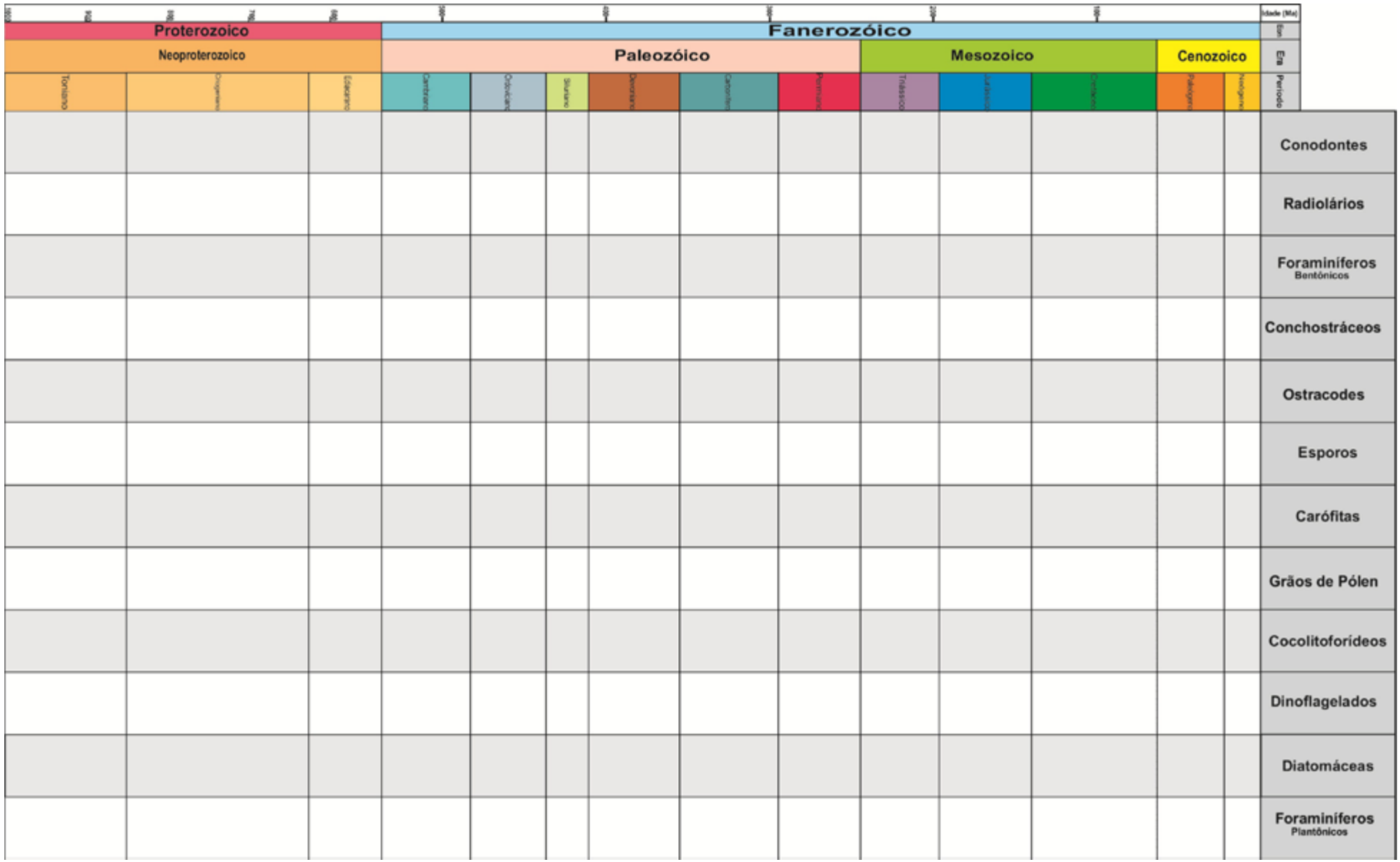


Tabela 1. Tabela de Distribuição Estratigráfica de Microfósseis.

MICROFÓSSEIS	REINO	TAMANHO mm	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	AMBIENTE	HÁBITO DE VIDA	CADEIA ALIMENTAR	REGISTRO NO TEMPO GEOLÓGICO
FORAMINIFEROS	Protista	0,01-110	Concha orgânica ou silicosa ou com carbonato de cálcio ou aglutinante	marinho	bentônicos e planctônicos	consumidores herbívoros/ detritívoros	Bentônicos: Cambriano-Recente (Paleozoico ao Cenozoico) Planctônicos: Jurássico-Recente (Mesozoico ao Cenozoico)
RADIOLÁRIOS	Protista	0,05-0,25	Esqueletos de sílica	exclusivamente marinho	planctônicos	consumidores	Cambriano-Recente (Paleozoico ao Cenozoico)
DIATOMÁCEAS	Protista	0,01-0,2	Frústula de sílica	solo, água doce, mixoalino e marinho	planctônicas e bentônicas	produtores primários	Jurássico-Recente (Mesozoico ao Cenozoico)
DINOFLAGELADOS	Protista	0,02-0,2	Orgânico (dinosporina), carbonato de cálcio e sílica	marinho	planctônicos	produtores primários	Triássico-Recente (Mesozoico ao Cenozoico)
COCOLITOFORÍDEOS	Protista	<0,05	Carbonato de cálcio	marinho	planctônicos	produtores primários	Triássico-Recente (Mesozoico ao Cenozoico)
GRÃOS DE PÓLEN E ESPOROS	Plantae	Esporos 0,02-0,1 Polens 0,02- 0,2	Orgânico (esporopolenina)	continental	-	produtores primários	Esporos: Ordoviciano- Recente (Paleozoico ao Cenozoico) Grãos de pólen: Devoniano-Recente (Paleozoico ao Cenozoico)
CARÓFITAS	Plantae	0,5-3	Carbonato de Cálcio	água doce e mixoalino	-	produtores primários	Siluriano – Recente (Paleozoico ao Cenozoico)
CONCHOSTRÁCEOS	Animalia	3-40	Valvas de quitina com ou sem carbonato de cálcio	água doce	bentônicos	consumidores detritívoros	Cambriano – Recente (Paleozoico ao Cenozoico)
OSTRACODES	Animalia	0,4-1	Carapaças bivalves quitino-calcíticas	água doce, mixoalino e marinho	bentônicos, nectobentônicos e planctônicos	consumidores detritívoros	Ordoviciano-Recente (Paleozoico ao Cenozoico)
CONODONTES	Animalia	0,2-6	Elementos conodontes de fosfato de cálcio	exclusivamente marinho	nectobentônicos	consumidores	Neoproterozoico-Triássico (Proterozoico-Mesozoico)

Tabela 2. Microfósseis frequentemente encontrados em sedimentos e rochas.

Com base na tabela preenchida, responda:

Caso 1. Se você encontrasse uma rocha contendo conodontes e radiolários:

a) O que você poderia dizer sobre a Era do tempo geológico em que essa rocha foi depositada?

b) Qual o ambiente em que provavelmente foram depositados os sedimentos que originaram essa rocha?

Caso 2. Se você encontrasse uma rocha contendo foraminíferos planctônicos e ostracodes:

a) O que você poderia dizer sobre a Era do tempo geológico em que essa rocha foi depositada?

b) Qual o ambiente em que provavelmente foram depositados os sedimentos que originaram essa rocha?

Caso 3. Se você encontrasse uma rocha contendo diatomáceas e carófitas:

a) Que informação sobre a Era e Período Geológico poderia obter?

b) Qual o ambiente em que provavelmente foram depositados os sedimentos que originaram essa rocha?

Caso 4. Se você encontrasse uma rocha contendo cocolitoforídeos e conodontes:

a) Que informação sobre a Era e Período Geológico poderia obter?

QUE SEGREDOS A AREIA DA PRAIA PODE REVELAR?

Simone Baecker Fauth
Gerson Fauth

OBJETIVO
Reconhecer os componentes biogênicos presentes na areia de praia.

PÚBLICO-ALVO
Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais).

TEMPO DE EXECUÇÃO
50 min.

MODALIDADE
Grupos de 2 a 3 alunos.

MATERIAL
Areia de praia, placas de Petri, lupa de mão ou microscópio estereoscópico, pincel n° 000 ou 00, **imagens com areias de praias** brasileiras. **Atividade** impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

Parte 1

1) Leia o texto a seguir.
O Brasil possui um litoral imenso com muitas praias que retratam em sua composição, a riqueza da fauna e da flora que existe em cada região. Os micropaleontólogos estudam areias e argilas

depositadas a milhões de anos atrás e a partir dos microfósseis que ficaram preservados nessas rochas (conhecidas como arenitos, argilitos e siltitos) podem interpretar: (a) que organismos viviam naquela região; (b) qual teria sido o ambiente em que foi formada a rocha (mais raso/profundo; próximo/afastado da costa; marinho/mixoalino/dulciaquícola); (c) quando a rocha foi depositada; entre outras informações.

Coletando-se um punhado de areia da praia atual é possível observar minerais e componentes biogênicos. Todos estes materiais podem ser identificados com ajuda de uma lupa de mão ou microscópio, e separados com a ajuda de um pincel.

Cada mineral possui características próprias, como por exemplo:

Quartzo: Geralmente branco, transparente a incolor (cor de vidro). É o mineral mais abundante nas areias do mar.

Feldspato: Branco a rosado

Anfibólio e piroxênio: pretos

Minerais magnéticos, ilmenita e magnetita: são pretos e magnéticos.

Mica: em forma de placas, escura ou clara.

Calcita: branca e reage ao ácido clorídrico (HCl diluído a 10%).

Além dos minerais, a areia do mar é composta por inúmeros fragmentos de seres vivos (componentes biogênicos), tais como: conchas de ostracodes, moluscos, espinhos de equinodermas ofiuroides, dentes de peixes, carapaças de foraminíferos, esqueletos de radiolários, frústulas de diatomáceas, espículas de poríferos, fragmentos de algas calcárias e corais, etc.

Os componentes biogênicos encontrados na areia de praia possuem cores e formas bem características. Com a ajuda do **capítulo O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS** e das imagens de areias de praias brasileiras, é possível identificar algumas das formas mais comuns nas areias de nossas praias.

Parte 2

1) Coletar areia na praia (coletar de preferência em regiões da praia onde há acúmulo de conchas ou fragmentos visíveis a olho nu).

2) Deixar secar.

3) Após a secagem, colocar um punhado da areia em uma placa de Petri ou outro recipiente raso.

4) Com o auxílio de uma lupa de mão ou microscópio estereoscópico, procurar diferenciar os distintos grãos de minerais e identificar os micro-organismos presentes na amostra, separando-os com um pincel. Para auxiliar a identificação dos organismos, usar as imagens de areias de algumas praias brasileiras.

As figuras **1**, **2**, **3** e **4** trazem exemplos de microorganismos encontrados nas areias de algumas praias brasileiras. As fotos foram feitas utilizando-se um microscópio estereoscópico Zeiss V20.

Com base nas análises das figuras (1,2,3 e 4) responder

1) Quais foram os principais organismos encontrados na areia coletada?

2) Quais as características destes organismos?

3) Quais características do ambiente em que viviam podem ser

Praia de Maragogi, AL

Foraminíferos

Foraminíferos

Espícula de Porífera

Dentes de Peixes

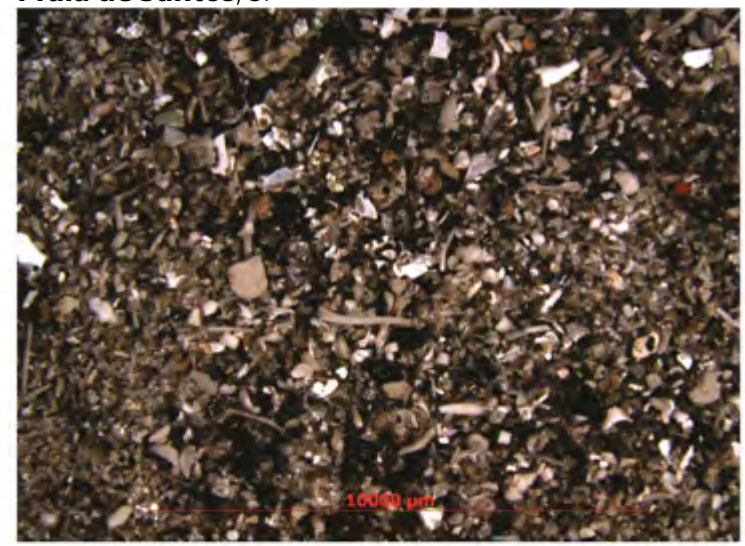
Ostracodes

Moluscos

Moluscos

Figura 1. Praia de Maragogi (AL). É riquíssima em componentes biogênicos, contendo muitos fragmentos de algas calcárias e corais, conchas de moluscos gastrópodes, dentes de peixes, espículas de poríferos, carapaças de foraminíferos bentônicos, entre outros.

Praia de Santos, SP



Quartzo (Mineral)

Mica (Mineral)

Moluscos Bivalve

Ostracodes

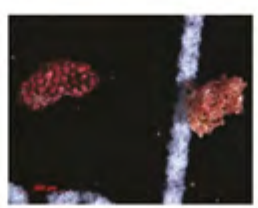
Foraminíferos Planctônicos

Foraminíferos Bentônicos

Figura 2. Praia de Santos (SP), areia coletada entre os canais de drenagem. Contém muitos minerais entre os quais predominam a mica e o quartzo. Entre os componentes biogênicos foram recuperados ostracodes, foraminíferos bentônicos, foraminíferos planctônicos, conchas de moluscos bivalves, entre outros.

Ilha do Arvoredo, Porto Belo/SC

Espinho de ouriço-do-mar
Equinodermo

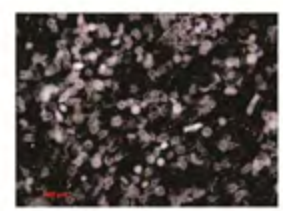


Fragmentos de Coral

Ostracode

Figura 3. Ilha do Arvoredo (SC), areia coletada na década de 1970, no fundo do mar próximo à ilha. Predomínio de grãos de quartzo e outros minerais. Os principais componentes biogênicos recuperados são principalmente espinhos de equinodermas (ouriços-do-mar), fragmentos de corais e ostracodes.

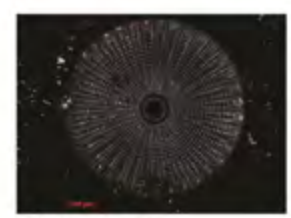
Plataforma Continental Rasa, Tramandaí/RS



Radiolários

Radiolários

Foraminíferos



Diatomáceas

Diatomáceas

Figura 4. Praia de Tramandaí (RS), areia coletada no fundo do mar em plataforma rasa. Predominam foraminíferos bentônicos, planctônicos, e ostracodes. Observe que há mais componentes biogênicos do que minerais.

O QUE OS MICROFÓSSEIS PODEM REVELAR?

Simone Baecker Fauth
Gerson Fauth

OBJETIVO

Esta atividade foi desenvolvida para que os estudantes possam compreender, a partir de uma analogia com algo concreto, como os paleontólogos conseguem extrair informações a partir do microfósseis encontrados nos sedimentos e rochas.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais).

TEMPO DE EXECUÇÃO

De 45 a 90 min.

MODALIDADE

Grupos de 2 a 3 alunos.

MATERIAL

Tampas de garrafas de refrigerante **(Figura 1)**. **Atividade** impressa em folha A4. **Tabela de Microfósseis** frequentemente encontrados em sedimentos e rochas.

PROCEDIMENTO

Uma semana antes de realizar a atividade, o professor deve pedir aos alunos que recolham tampinhas garrafas de refrigerante. Os alunos

Figura 1. Tampinhas diversas de garrafas de refrigerante coletadas.

devem ser incentivados a trazer tampinhas de garrafa de diferentes marcas, até mesmo as mais raras. A atividade poderá ser realizada em sala de aula.

Parte 1

1) Recolher todas as tampinhas de garrafa que os alunos trouxeram e colocá-las em um saco plástico, misturando-as bem. Elas comporão o banco de dados da pesquisa.

2) Dividir a turma em grupos e pedir que cada grupo pegue, aleatoriamente, um punhado de tampinhas de garrafa.

Cada grupo terá que responder as seguintes questões a partir de sua amostra de tampinhas.

a) Quais os diferentes tipos de marcas de refrigerantes que foram coletados?

b) Qual foi a marca de refrigerante mais abundante?

c) Qual foi a mais rara?

Agora, junto com os alunos, o professor irá atribuir um tipo de microfóssil para cada marca de refrigerante. Por exemplo, a tampa do refrigerante feito de uva corresponderá ao grupo dos foraminíferos, a do refrigerante de laranja corresponderá aos ostracodes, e assim por diante.

Parte 2

Pedir para que cada grupo descubra que informações podem ser obtidas a partir dessa "assembleia de microfósseis", utilizando a Tabela de Microfósseis frequentemente encontrados em sedimentos e rochas. Cada grupo deverá organizar todas essas informações na forma de uma tabela.

Parte 3

A seguir, apresentar aos alunos as seguintes questões.

GRÃOS DE PÓLEN
COMO RECONSTRUIR PAISAGENS DO PASSADO?

Soraia Girardi Bauermann
Andréia Cardoso Pacheco Evaldt

INTRODUÇÃO

Nas flores das plantas conhecidas por gimnospermas e angiospermas existem estruturas responsáveis pela sua reprodução: os gametófitos que podem ser masculinos ou femininos dependendo dos gametas que formarão. Estes gametas irão se encontrar, formar um embrião e desenvolver uma nova planta.

Para que isso ocorra o gameta masculino é transportado dentro do grão de pólen até o gameta feminino, sendo assim, o grão de pólen é o agente transportador dos gametas masculinos das plantas. Na maioria das plantas é o vento que leva o grão de pólen até o óvulo, onde se encontra o gameta feminino.

Os grãos de pólen que não conseguem chegar até os gametófitos femininos serão depositados (no solo, nos lagos, nos banhados, etc.) e podem ficar preservados por milhares de anos. Como eles apresentam uma grande diversidade de formas e uma excelente preservação em meio anaeróbico é possível fazer a reconstrução da vegetação e do clima. A extração dos grãos de pólen desses ambientes anaeróbicos especiais (sítios deposicionais) e a identificação da planta que formou estes grãos de pólen é um dos assuntos estudados por uma ciência chamada Palinologia e seus estudiosos são chamados de palinólogos.

Os trabalhos desenvolvidos nesta atividade darão oportunidade aos estudantes de compreenderem o processo de sedimentação dos grãos de pólen nos ambientes deposicionais e, principalmente, como é feita a retirada deste material fóssil, a identificação dos mesmos e as interpretações ambientais que eles fornecem.

OBJETIVO

Familiarizar-se com o processo de extração dos fósseis que estão no ambiente deposicional; compreender como as diferentes morfologias possibilitam a identificação das espécies; analisar os dados polínicos e interpretar as relações dos ambientes passados (paleoambientes); entender como os grãos de pólen fossilizados podem ser uma confiável ferramenta para reconstrução dos paleoambientes.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

20 alunos distribuídos em cinco grupos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Uma hora para preparação do material e três horas para a execução da atividade.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O professor e os estudantes deverão ter noções básicas sobre os seguintes assuntos: reprodução dos vegetais, dispersão de grãos de pólen, sedimentação de partículas orgânicas, formações vegetacionais do Brasil, principais vegetais utilizados na alimentação, vegetação nativa e exótica.

MATERIAL

Areia grossa; areia fina; 05 folhas de E.V.A. (etileno-acetato de vinila) coloridas (sugestão de cores: verde, vermelho, amarelo, azul e branco) que irão representar os fósseis dos grãos de pólen; potes plásticos ou copos descartáveis de 250 mL (cinco para cada grupo); bandejas plásticas com bordas (ou formas de bolo retangular); espátulas ou colheres plásticas; pinças; **ficha para anotação** dos dados; **fichas de identificação** das plantas e dos grãos de pólen; material diverso sobre a vegetação brasileira e sobre alimentos de origem vegetal (livros, revistas, jornais, reportagens); **moldes dos fósseis** (vide ficha para confecção dos moldes dos fósseis); caneta, lápis preto ou lapiseira; **ficha com gabarito**.

PROCEDIMENTO

O desenvolvimento dessa atividade requer, no mínimo, três horas de aula sendo que algumas etapas devem ser realizadas previamente.

O professor deve, anteriormente, preparar uma mistura de 50% de areia grossa e 50% de areia fina. Depois, deve repartir igualmente esta mistura colocando-a em cinco potes plásticos (ou copos descartáveis). Recortar os modelos de fósseis da Ficha para confecção dos Moldes de Fósseis **(Figura 1)** e desenhar cada um deles, com caneta esferográfica, em uma das folhas de E.V.A (verde, vermelho,

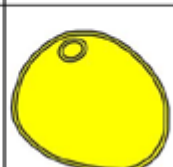
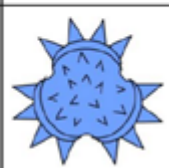
Folha de E.V.A.	Verde	Vermelho	Amarelo	Azul	Branco
Fóssil (grão de pólen)					

Figura 1. Ficha para confecção de moldes dos grãos de pólen fósseis.

amarelo, azul e branco).

Na natureza, os grãos de pólen que são transportados pelo vento (anemófilos) são produzidos em quantidade superior aos que são transportados pelos insetos (entomófilos). Partindo deste princípio, confeccione 30 grãos de pólen fósseis nas cores amarela e branca (anemófilos), e 20 nas cores azul, verde e vermelho (entomófilos).

Distribuir um único tipo de fóssil em cada um dos potes plásticos (ou copos descartáveis) e revolver de modo que os "fósseis" fiquem soterrados na areia. Assim, cada pote plástico (ou copo descartável) terá unicamente um tipo de fóssil e em quantidade diferente dos demais.

O professor deve também preparar as Fichas de Anotação de Dados **(Figura 2)** com antecedência e em número suficiente para que cada grupo receba uma ficha.

Cor do Fóssil					
Número de Fósseis encontrados					
Ilustração do grão de pólen					
Nome da Planta					

Figura 2. Ficha de anotação de dados.

O fechamento dessa atividade ocorrerá durante o "Congresso de Palinologia" sendo que algumas questões para o debate estão mencionadas abaixo no item Questões para discussão.

DESENVOLVIMENTO

Escavando fósseis

Os alunos devem ser divididos em grupos de quatro e cada equipe receberá um conjunto composto por: uma bandeja plástica com bordas, cinco potes de areia com "fósseis" dentro, espátulas, pinças e Ficha de Anotação de Dados.

O professor deve orientar os alunos para que eles derramem os potes de areia no interior da bandeja, relacionando este fato aos processos de sedimentação que ocorrem na natureza. Lembrar aos alunos que, juntamente com as partículas do solo, sedimentam também outras estruturas, como os grãos de pólen que não foram utilizados no processo de reprodução dos vegetais e que se dispersaram através do vento.

Cada grupo irá cuidadosamente escavar os sedimentos, extraindo com a pinça os "grãos de pólen fósseis". Depois, vão anotar na Ficha de Anotação de Dados a cor do fóssil (modelo de E.V.A.), a quantidade dos mesmos, em cada pote derramado na bandeja, e realizar uma ilustração do grão de pólen de acordo com sua cor.

Identificando Fósseis

Após a extração e a contagem dos grãos de pólen é necessário também que se faça a identificação dos fósseis encontrados. Para isto precisamos primeiramente saber o nome da planta que produziu cada grão de pólen.

Para realizar a identificação das plantas, os grupos deverão utilizar as pistas fornecidas pelas Fichas de identificação das plantas e dos grãos de pólen **(Figura 3).** Os nomes das plantas relacionadas a cada

Fóssil de cor verde	Árvore com raízes, caule, folhas e flores. Produz sementes, mas não frutos. As folhas são pequenas, a flor é chamada de cone e a copa tem formato de taça. As sementes são comestíveis e sua dispersão é feita, principalmente, pela gralha-azul. Ocorre formando florestas no sul do Brasil.
Grãos de pólen de tamanho grande, sem aberturas e arredondados.	

Figura 3. Exemplo de conteúdo encontrado na Ficha de identificação das plantas e dos grãos de pólen.

grão de pólen deverão ser escritos na Ficha de Anotação de Dados.

Conhecendo grãos de pólen

Nesta etapa do trabalho, o professor irá fazer a averiguação dos resultados encontrados. Para isso deverá ser utilizada a Ficha Gabarito **(Figura 4)** que contêm informações sobre o fóssil e os nomes científico e popular dos vegetais determinados pelos alunos. Este gabarito apresenta também uma fotografia, em microscopia

Fóssil	Planta Nome Científico/Nome Popular	Fotografia do grão de pólen (em aumento de 1.000x)
Fóssil de cor verde	*Araucaria angustifolia* pinheiro-do-Paraná	

Figura 4. Exemplo de conteúdos apresentados na Ficha Gabarito.

ótica, dos grãos de pólen de cada planta identificada.

Organizando o Congresso de Palinologia

O professor irá orientar os grupos quanto à interpretação dos dados e ao modo de apresentação dos resultados. Em relação à interpretação dos resultados, o professor deve lembrar aos alunos que a quantidade de grãos de pólen encontrada depende do tipo de vegetação existente ao redor do sítio deposicional.

Quanto ao modo de apresentação, por exemplo, um aluno poderá ser o relator dos resultados encontrados pelo grupo em um tempo de exposição em torno de 5 min. Após a apresentação oral, os demais alunos podem fazer considerações e questionamentos em um determinado tempo pré-estabelecido.

Após a discussão, os alunos deverão passar na "secretaria" (organizada na própria sala de aula) para retirar seu certificado de participante e/ou de apresentador de trabalho no Congresso de Palinologia.

Questões para discussão

As questões abaixo complementam a atividade desenvolvida e servem como guia para as discussões a respeito das interpretações paleoambientais dos resultados encontrados.

1) Considerando que o número de grãos de pólen encontrado reflete a vegetação existente ao redor do sítio deposicional, em que região do Brasil está trabalhando o grupo que encontrou mais fósseis do pinheiro-do-Paraná? Qual o tipo de Floresta que se desenvolve nesta região?

2) O pau-brasil ocorre em regiões litorâneas desde o Rio de Janeiro

até o Rio Grande do Norte, portanto, a equipe que contou o maior número de fósseis do pau-brasil estava analisando um sedimento de que tipo de mata? Hoje, esta espécie ainda é abundante neste tipo de mata? Justifique sua resposta.

3) O milho trata-se de um vegetal cultivado desde longa data pelos indígenas e sua ocorrência nos sítios deposicionais está aliada a presença destes antepassados. Isto significa que, próximo ao sítio deposicional existiu uma população indígena? Justifique.

4) Grãos de pólen de macela indicam ocorrência de ambientes abertos e vegetação de campo. Você espera encontrar grãos de pólen de macela em florestas? Justifique sua resposta.

5) *Pinus* é uma árvore exótica cujo cultivo teve início após a chegada do colonizador europeu em nosso país. O registro de seus grãos de pólen indica a presença do homem branco e a transformação do ambiente, incluindo o cultivo de elementos estranhos à vegetação local. A partir de que data é possível haver presença de grãos de pólen de *Pinus* nos sedimentos? De que maneira o processo de colonização e o progresso afetam a paisagem vegetal e seu registro nos sedimentos?

Pode-se, ainda, ressaltar pontos relevantes como, por exemplo, de que modo homem altera a paisagem e como isto se reflete no registro fossilífero, a importância da preservação dos sítios deposicionais e como o conhecimento dos fósseis (microfósseis,

MATERIAL PALINOLÓGICO: INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

Marcelo Guglielmi Leite

OBJETIVO

Conhecer os elementos constituintes do material palinológico; compreender que informações podem ser inferidas a partir de cada elemento; analisar diagramas e interpretar as características dos ambientes deposicionais pretéritos (paleoambientes); compreender a função do material palinológico nas reconstruções ambientais.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

MODALIDADE

Alunos distribuídos em duplas.

TEMPO DE EXECUÇÃO

20 min. para leitura e interpretação das atividades e 40 min. para a sua execução.

MATERIAL

Folhas de ofício para rascunho; caneta; lápis preto; lapiseira; borracha; cópia da **Tabela Palinológica**. **Atividade** impressa em folha A4.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Os alunos deverão ter noções básicas sobre os seguintes assuntos: reprodução dos vegetais, dispersão dos grãos de pólen, sedimentação de partículas orgânicas, tempo geológico e datação relativa. Recomenda-se que, antes da realização das atividades, o professor e os alunos revisem os capítulos **OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO, O MUNDO DOS MICROFÓSSEIS** e **A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS.**

INTRODUÇÃO

O conceito de "Palinologia", que tem origem no grego *paleinos*, que significa "dispersar", foi definido pela primeira vez pelos cientistas Hyde e Williams, em 1944, e refere-se ao estudo das estruturas reprodutivas das plantas, ou seja, esporos de briófitas e pteridófitas e grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas.

Atualmente, a Palinologia incorporou outros organismos ao seu escopo e é considerada a ciência que estuda os microorganismos de constituição orgânica, ocupando-se a Paleopalinologia, com os microfósseis de parede orgânica. Estes organismos são chamados de "palinomorfos" (esporos, grãos de polens, algas, acritarcos, dinoflagelados, zoomorfos e esporos de fungos). Contudo, o material palinológico é composto também por restos ou partes das plantas-mãe (fitoclastos) ou de animas microscópicos (zooclastos) e também por "matéria orgânica amorfa" (restos de tecidos orgânicos degradados por atividade bacteriana).

Por serem partes de organismos microscópicos, os palinomorfos não podem ser identificados a "olho nu". Para tanto, é necessário que se dissolvam, com a ajuda de ácidos, as rochas em análise para que se eliminem os componentes inorgânicos e restem somente os sedimentos de constituição orgânica (objeto de estudo da palinologia). Posteriormente é feita a confecção de lâminas para a observação em microscópio. As **figuras 1**, **2** e **3** apresentam as etapas envolvidas em uma análise palinológica: coleta de amostras de rocha, processamento palinológico, confecção de lâminas, observação de lâminas em microscópio ótico.

A parede dos palinomorfos é composta por "esporopolenina" (esporos e grãos de pólen), "quitina" (quitinozoários) e "dinosporina" (dinoflagelados), compostos orgânicos extremamente resistentes. Devido a isso, os palinomorfos possuem um alto potencial de preservação e, também, pela baixa densidade, podem ser transportados a largas distâncias com relação a sua planta e/ou ambiente de origem (habitat) até a sua deposição e fossilização. Os fitoclastos e a matéria orgânica amorfa, por sua vez, podem nos prestar informações valiosas sobre condições de transporte (energia

Figura 1. Amostras de rocha coletadas na forma de "testemunhos de sondagem" (CPRM-RS). Foto de Marcelo G. Leite.

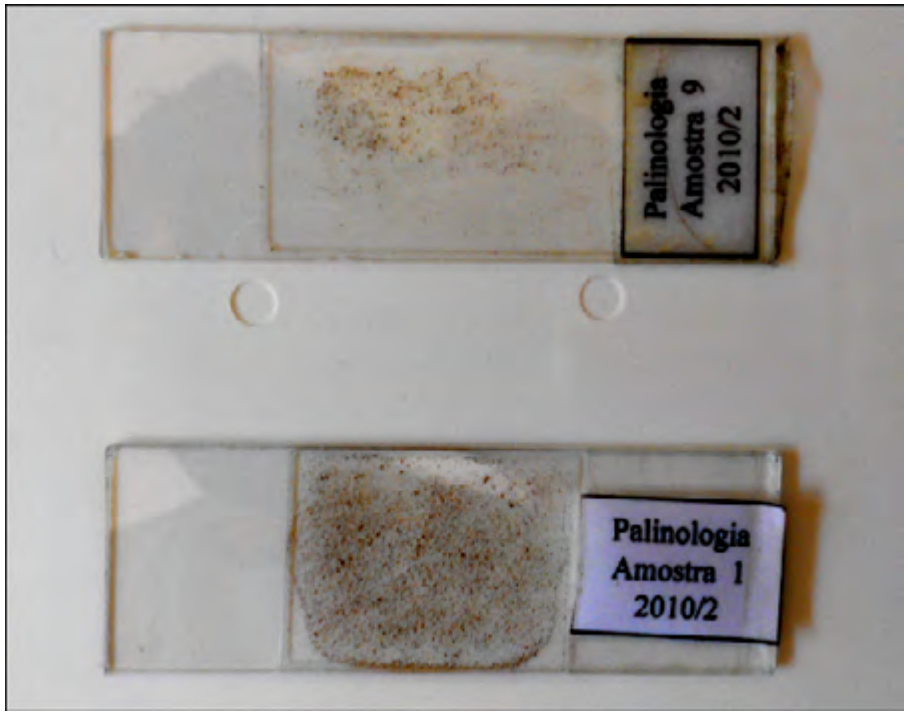


Figura 2. Lâminas palinológicas confeccionadas. Coleção didática do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, UFRGS. Foto: Marcelo G. Leite.

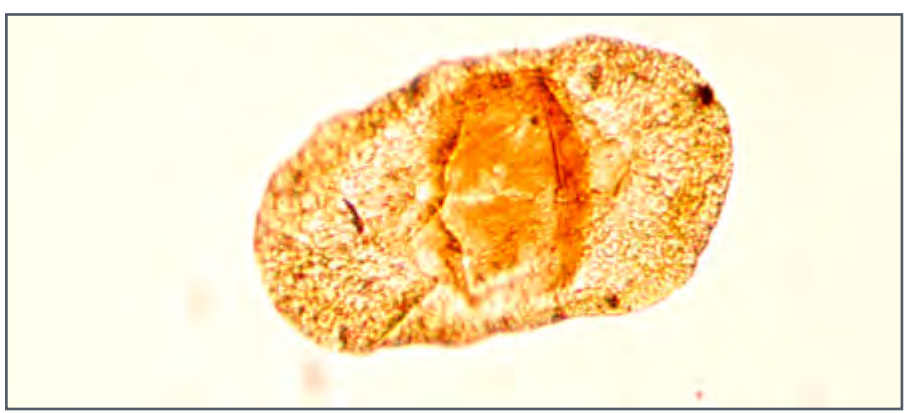


Figura 3. Lâmina palinológica sob microscopia ótica. Foto: Marcelo G. Leite.

do meio), de disponibilidade de oxigênio e de temperatura dos ambientes deposicionais pretéritos.

O vento é o principal agente de transporte de esporos e grãos de pólen, seguido dos canais fluviais. Como os rios desembocam no oceano, fósseis de microorganismos terrestres como os esporos e grãos de pólen podem ser encontrados em sedimentos de origem marinha, associados a outros palinomorfos tipicamente marinhos. Este estudo de todo o material palinológico em conjunto e das informações paleoambientais recorrentes é chamado de "Palinofácies" ou "Análise palinofacial".

Com o desenvolvimento da atividade, os estudantes poderão se familiarizar com conceitos e características relativas à Palinologia, e compreender de que forma e por que os palinomorfos são importantes para a inferência de condições ambientais e climáticas de ambientes do passado. Além disso, tais inferências podem ser de suma importância para o estabelecimento de comparações com análises climáticas e florísticas atuais.

PROCEDIMENTO

Organizando os materiais

Os alunos serão agrupados em duplas e receberão cópia de uma tabela com características gerais sobre cada grupo componente dos elementos estudados pela Palinologia - Tabela Palinológica **(Tabela 1)** e uma folha para rascunho.

Material palinológico	Potencial de transporte	Ambiente de origem	Ambiente deposicional
Acritarcos	baixo	marinho, transicional	marinho
Dinoflagelados	baixo	marinho	marinho
Algas	baixo	marinho, lacustre e fluvial	marinho, lacustre e transicional
Quitinozoários	muito baixo	marinho distal (raro) e plataformal	marinho distal (raro) e plataformal
Palinoforaminíferos	baixo	marinho plataformal e distal (raro)	marinho plataformal e distal (raro)
Esporos	médio a alto	terrestre	terrestre, lacustre, fluvial, transicional, marinho proximal, plataformal (raro) e distal (raro)
Grãos de pólen monossacados	alto	terrestre	terrestre, lacustre, fluvial, transicional, marinho proximal e plataformal
Grãos de pólen bissacados	alto a muito alto	terrestre	terrestre, lacustre, fluvial, transicional, marinho proximal, plataformal e distal (raro)
Fitoclastos alongados	moderado	terrestre	terrestre, lacustre, fluvial, transicional, marinho proximal, plataformal e distal (raro)
Fitoclastos arredondados	alto	terrestre	terrestre, lacustre, fluvial, transicional e marinho proximal (raro)

Tabela 1. Tabela palinológica.

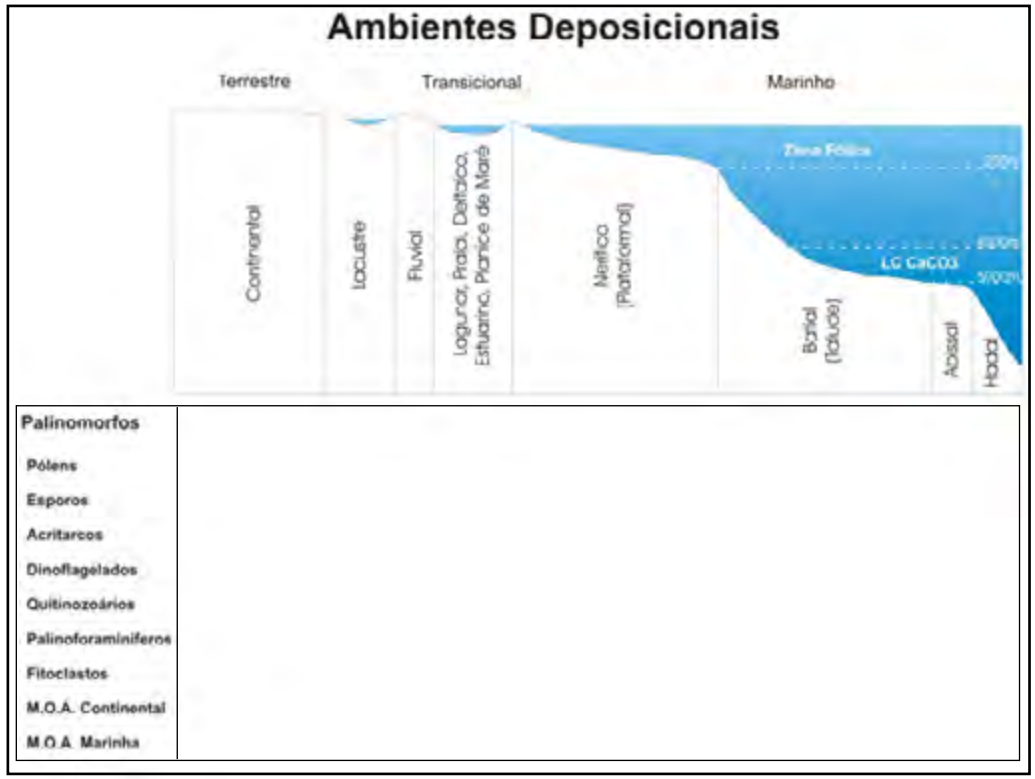


Figura 4. Diagrama com ambientes de posicionais e lista de elementos estudados pela palinologia. Modificado de Seyve (1990).

Identificando e traduzindo os dados

Após a entrega e apresentação do material, passa-se à etapa da explicação da representação de um diagrama **(Figura 4)** com a listagem dos elementos estudados pela Palinologia e constituintes da Tabela Palinológica, bem como os ambientes de deposição de cada elemento sem a sua amplitude de distribuição. O diagrama será um guia para a realização da atividade e resolução das questões propostas para discussão.

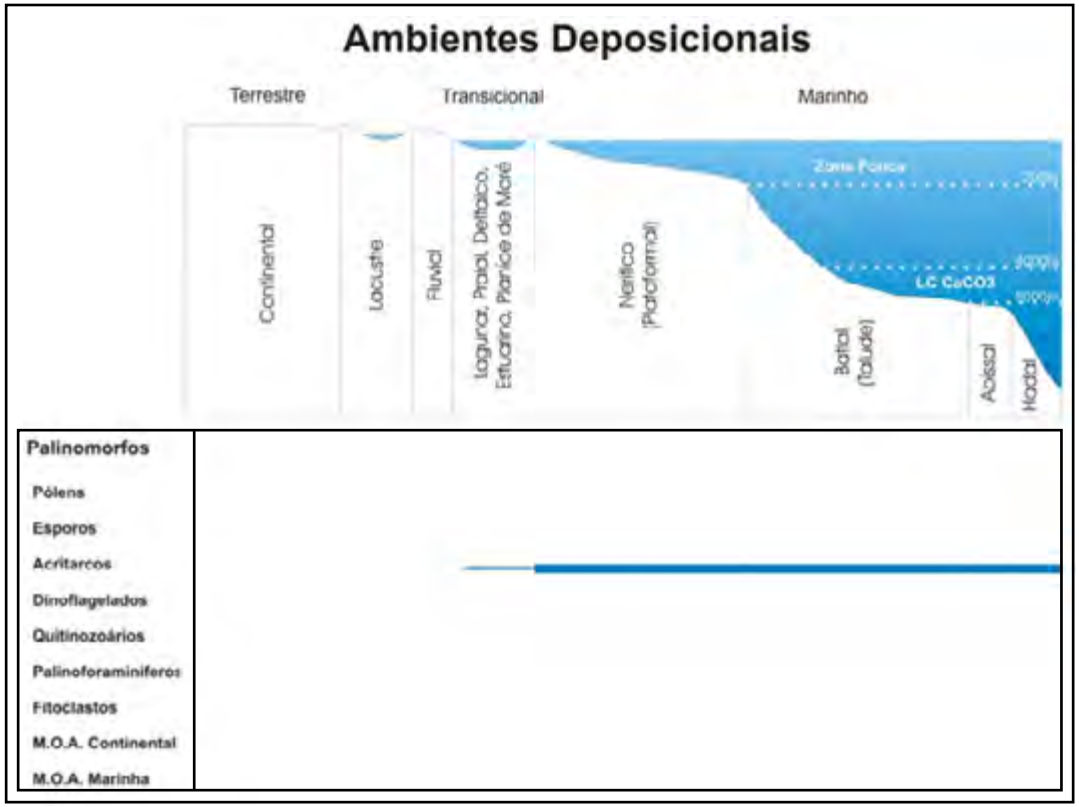


Figura 5. Diagrama com ambientes deposicionais, lista de elementos estudados pela palinologia e distribuição preferencial dos acritarcos. Modificado de Seyve (1990).

Aprendendo a ser um "palinólogo": resolução de problemas

Nesta etapa, o professor irá propor uma série de questões em forma de problemas para que cada dupla raciocine sobre o que foi aprendido na teoria e através da interpretação da Tabela Palinológica e do Diagrama com os elementos estudados pela Palinologia, para que possa propor soluções para cada problemática.

1) Com auxílio da Tabela, trace no diagrama uma linha de amplitude de distribuição preferencial de cada elemento estudado pela palinologia em seus respectivos ambientes de deposição. Na Figura 5, é mostrado como deve ser feita a linha de amplitude.

2) Foram confeccionadas três lâminas (A, B e C). Cada lâmina representa o conteúdo palinológico de uma camada (nível) de rocha. Analise o conteúdo palinológico de cada uma das lâminas e descreva o ambiente deposicional que cada conjunto de palinomorfos indica. Justifique sua resposta.

Conteúdo lâmina A

- Abundância de matéria orgânica amorfa (M.O.A.);
- Abundância de esporos bem preservados;
- Abundância de grãos de pólens bissacados e monossacados bem preservados;
- Predominância de fitoclastos alongados;
- Presença significativa de algas coloniais.

Conteúdo lâmina B

- Presença moderada de matéria orgânica amorfa (M.O.A.);
- Predominância de acritarcos;
- Pouquíssimos grãos de pólens bissacados (todos mal preservados);
- Predominância (dentre poucos) de fitoclastos arredondados;
- Presença discreta de quitinozoários;
- Esporos e grãos de pólen monossacados não foram encontrados.

Conteúdo lâmina C

• Presença moderada de matéria orgânica amorfa (M.O.A.);
• Predominância de algas em geral;
• Ausência de grãos de pólen;
• Predominância (dentre poucos) de fitoclastos alongados;
• Presença discreta de acritarcos;
• Presença discreta de palinoforaminíferos;
• Predominância de dinoflagelados;
• Esporos e grãos de pólen monossacados não foram encontrados.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

Sugere-se que as questões para discussão e reflexão a seguir sejam propostas pelo professor e sirvam como uma retomada e um fechamento para a atividade. Além disso, é saudável que se acrescentem eventuais dúvidas dos alunos a respeito das interpretações paleoambientais de cada lâmina.

Sugestões

1) A presença de matéria orgânica amorfa em todos os níveis é um bom indicador paleoambiental? Sim ou não? Por quê?

2) Qual(is) do(s) elemento(s) estudados pela Palinologia são os melhores indicadores de ambientes de deposição? Por quê?

3) Qual(is) do(s) elemento(s) estudados pela Palinologia são os piores indicadores de ambientes de deposição? Por quê?

4) Por que os fitoclastos alongados possuem menor potencial de transporte do que os fitoclastos arredondados?

5) É possível que todos os elementos estudados pela Palinologia estejam presentes em uma mesma lâmina (nível ou camada de rocha)? Sim ou não? Por quê?

REFERÊNCIAS

ANTUNES, R. L. & MELO, J. H. G. 2001. Micropaleontologia e estratigrafia de sequências. In: H. J. P. SEVERIANO RIBEIRO (org.). Estratigrafia de sequências: fundamentos e aplicações. São Leopoldo:Unisinos, p.137-218.

ARMSTRONG, H. A. & BRASIER, M.D. 2005. Microfossils. 2nd ed. Oxford: Blackwell.

CARVALHO, I. S. 2011. Paleontologia. Rio de Janeiro: Interciência, 3ª ed., v.2.

BAUERMANN, S. G. et al. 2006. Grãos de pólen: usos e aplicações. 24 p. Canoas: ULBRA. Disponível em: <http://ulbra.br/palinologia>

SEYVE, C. 1990. Introdução à Micropaleontologia. Angola, Luanda:Elf Aquitaine, 231 p.

SILVA, W. G. 2008. Bioestratigrafia e variações relativas do nível do mar na Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Estudo da seção Neogênica/Quaternária do poço 2-CA-1-RS com base em registro palinológico. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 84p.

TRAVERSE, A.1988. Paleopalynology. Boston: Unwin Hyman, 600p.

TRAVERSE, A. 1994. Sedimention of palynomorphs and palinodebris: an introduction. In: A. TRAVERSE. (ed.) Sedimentation of organic particles. Cambridge University Press, p.1-8.

TYSON, R.V. 1993. Palynofacies analysis. In: D.J. JENKINS (ed.), Applied Micropalaeontology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.153-191.

TYSON, R.V. 1995. Sedimentary Organic Matter: organic facies and palynofacies. London: Chapman & Hall, 615 p.

36

CRUZADINOS BRASILEIROS

Felipe Lima Pinheiro

OBJETIVO
Familiarizar os estudantes com os nomes dos principais dinossauros encontrados em território brasileiro e demais conceitos a eles relacionados.

PÚBLICO-ALVO
Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

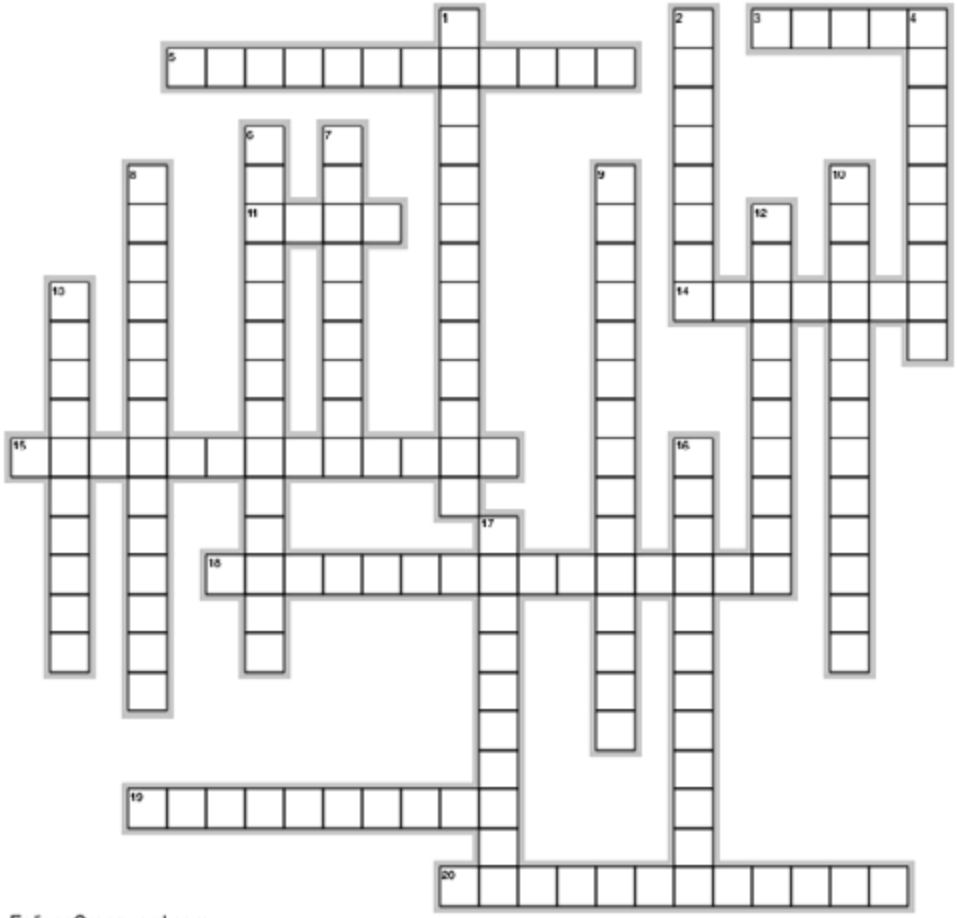
MODALIDADE
Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO
30 minutos.

MATERIAL
Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO
Depois da leitura do capítulo **SIM, NÓS TEMOS DINOSSAUROS...E MUITOS!**, responda as questões abaixo, preenchendo a cruzadinha.

Esta cruzadinha foi desenvolvida com o programa *EclipseCrossword*, disponível gratuitamente na internet: www.eclipsecrossword.com.



Verticais

1. Tecidos moles foram encontrados em associação aos ossos deste dinossauro brasileiro.

2. Pré-_____, osso característico de dinossauros ornitísquios.

4. Estruturas bem desenvolvidas nos dentes de *Pampadromaeus*.

6. Primeiro dinossauro encontrado no Brasil.

7. Grupo ao qual pertence a maior parte dos dinossauros carnívoros.

8. É deste dinossauro o primeiro esqueleto de grande porte montado no Brasil.

9. Dinossauro brasileiro pertencente ao grupo dos abelissauros.

10. Grupo de saurópodes comuns no Brasil.

12. Primeiro sauropodomorfo basal encontrado no Brasil.

13. Nos esqueletos deste dinossauromorfo, apenas ossos da perna direita foram encontrados.

16. Embora muitos façam confusão, estes répteis voadores não são dinossauros.

17. Dinossauro espinossaurídeo encontrado na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.

Horizontais

3. O direcionamento deste osso nos indica se um dinossauro é classificado como ornitísquio ou saurísquio.

5. Único representante brasileiro do grupo Diplodocoidea.

11. Estes animais, comuns nos dias de hoje, são os representantes vivos dos dinossauros.

14. Maior dinossauro carnívoro já encontrado no Brasil.

15. Dinossauros carnívoros que possuíam "velas" nas costas. Alguns representantes são encontrados no Nordeste do Brasil.

18. Um dos maiores dinossauros que já existiram. Seu nome homenageia um país vizinho ao Brasil.

19. Cidade onde nasceu o paleontólogo brasileiro Llewellyn Ivor Price.

20. O esqueleto deste titanossauro brasileiro preservou um crânio, o que é incomum neste grupo de dinossauros.

DINOSSAUROS EM ARAME: DA ANATOMIA À BIOMECÂNICA

37

Tito Aureliano

OBJETIVO

Esta atividade visa o aprendizado intuitivo através de gestos manuais em artes plásticas. Fornece sutilmente conhecimento da anatomia específica do animal, bem como noções de equilíbrio e biomecânica específicas para cada peça escolhida.

PÚBLICO-ALVO

Pessoa de qualquer idade, desde que demonstre interesse e principalmente paciência. Mas a atividade não aconselhável para crianças com menos de oito anos.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Entre 30 e 50 minutos.

MATERIAL

Arame e alicate.

INTRODUÇÃO

Esta atividade mostra como realizar uma escultura metálica simples (40x25cm) representando um *Velociraptor* (famoso predador do período Cretáceo Tardio, 80 milhões de anos atrás, da Mongólia), em movimento. O raciocínio empregado assemelha-se às dobraduras de um origami, em que uma série de movimentos de torsão gera um elemento tridimensional **(Figura 1)**. Para tornar didática a atividade, a confecção da escultura foi dividida em cinco etapas, a

partir de uma imagem de referência **(Figura 2)**. Durante a execução do Velociraptor, fique sempre atento à ponta do arame, evitando acidentes com os olhos. Caso a atividade esteja machucando as mãos, usar luvas finas para proteger a pele.

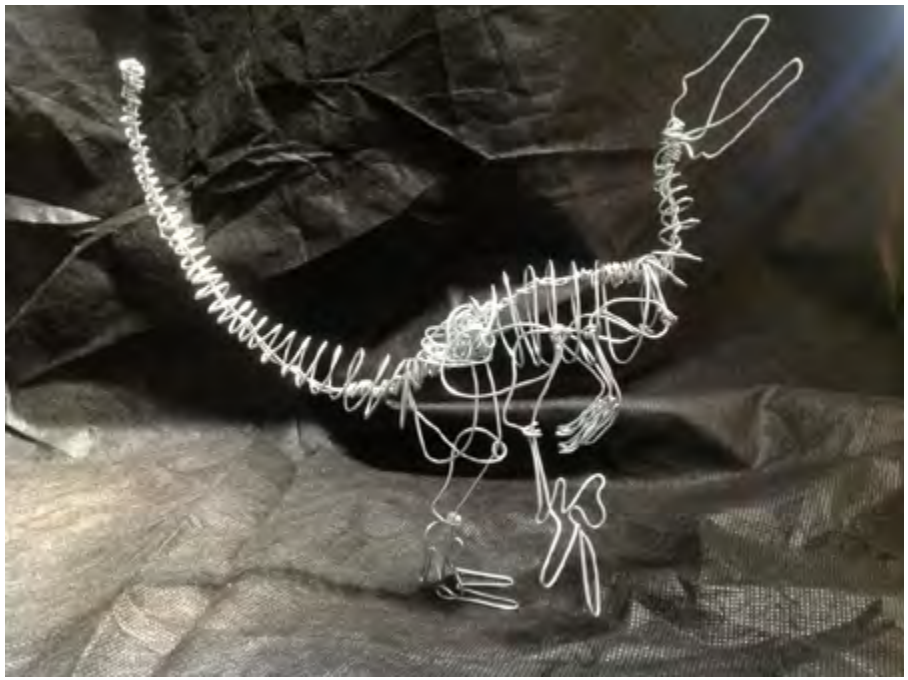


Figura 1. Resultado final da escultura do *Velociraptor*, cuja confecção é ensinada passo-a-passo nesse texto. Foto: Aline M. Ghilardi.

PROCEDIMENTO

Imagem de referência

Primeiramente, é necessária uma imagem de referência, assim como em qualquer outro procedimento de fazer esculturas. Pode ser uma fotografia, ou, melhor ainda, um desenho esquemático em vista lateral

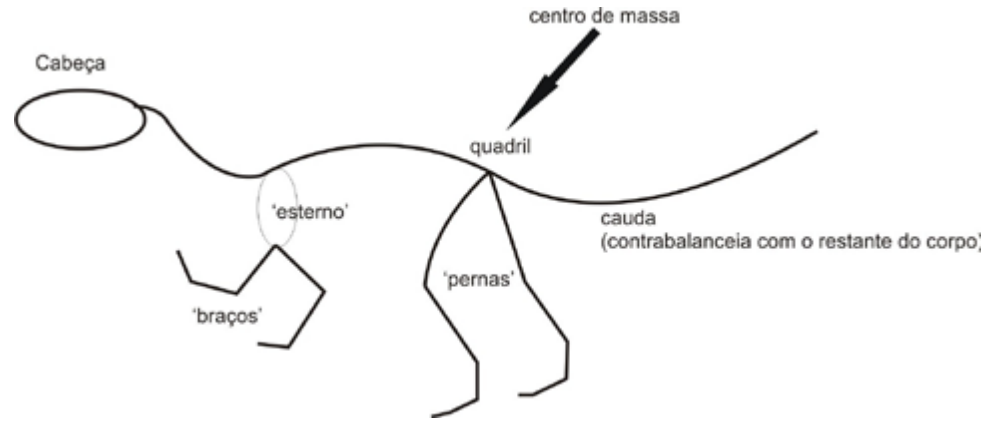


Figura 2. Esquema simplificado do *Velociraptor*. Dígitos, costelas e detalhamentos diversos não estão representados.

do dinossauro. A partir da imagem, pode-se elaborar um esquema simplificado exaltando as partes significativas **(Figura 2)**.

O conceito de "centro de massa" (C.M.) na Física (Mecânica Clássica) explica que todo corpo provido de uma massa pode ser simplificado em um único ponto médio em equilíbrio, por onde infinitas forças do universo atuam. Por exemplo, uma pessoa pode equilibrar uma vassoura na horizontal com apenas um dedo sequer, desde que encontre seu C.M. O ponto é deslocado na vassoura, pois os dois lados do cabo equilibrado com o dedo precisam ter o mesmo peso aproximado para que se encontre o C.M., já que a parte das fibras é mais pesada que a parte longa de madeira; o dedo precisa aproximar-se ligeiramente da porção do corpo mais pesada, para que se atinja o equilíbrio. O mesmo modelo se aplica aos dinossauros. No caso de terópodes **(ver capítulo SIM, NÓS TEMOS DINOSSAUROS ... E MUITOS!)** como o *Velociraptor*, o C.M. localizava-se na região do

quadril. A cauda do animal funcionava como uma ponte levadiça, cuja utilidade mecânica era contrabalancear o animal, ajustando sempre o equilíbrio do mesmo. Durante a atividade da escultura é necessário estar constantemente atento para que essas leis sejam respeitadas.

Etapa 1: Coluna vertebral

É necessário cortar um fio de aproximadamente 40 cm e torcê-lo sutilmente em pontos imaginários segmentando o que seria o pescoço, as costas e a cauda do animal, delineando o contorno de toda a coluna vertebral **(Figura 3A)**. Deve-se utilizar o alicate para realizar um nó na extremidade do pescoço, por questões de segurança **(Figura 3B)**. Deixar o nó solto se faz necessário, pois, posteriormente, anexar-se-á nele a cabeça (Etapa 4).

Corte outro fio e enrole-o ao longo de toda a extensão do original, utilizando-se do apoio firme do alicate e dos polegares quando for necessário **(Figura 3C)**. Ao final, obtém-se o mesmo desenho que o corte original, porém, mais rígido, com duas camadas de arame retorcido **(Figura 3D)**. Isso dará resistência suficiente para que a coluna não colapse nas etapas seguintes.

Etapa 2: Membros

Corte um pedaço suficientemente grande de arame e amarre-o firmemente com uma das pontas no local um pouco à frente de onde foi previamente designado como início da cauda. Desça o fio por alguns centímetros, pelo que seria o tamanho da perna esquerda do dinossauro. Atente à junção da perna com a estrutura principal da coluna, para que o fio não desça reto para baixo, e, sim, que realize uma sutil e curta curva de 90º; siga por 1cm, até que torsa 90º uma vez mais, e aí, então, seja o delineamento da perna. Isso porque simularia melhor a área do quadril do animal, e ainda estabiliza melhor a escultura **(Figura 4A)**. Divida o

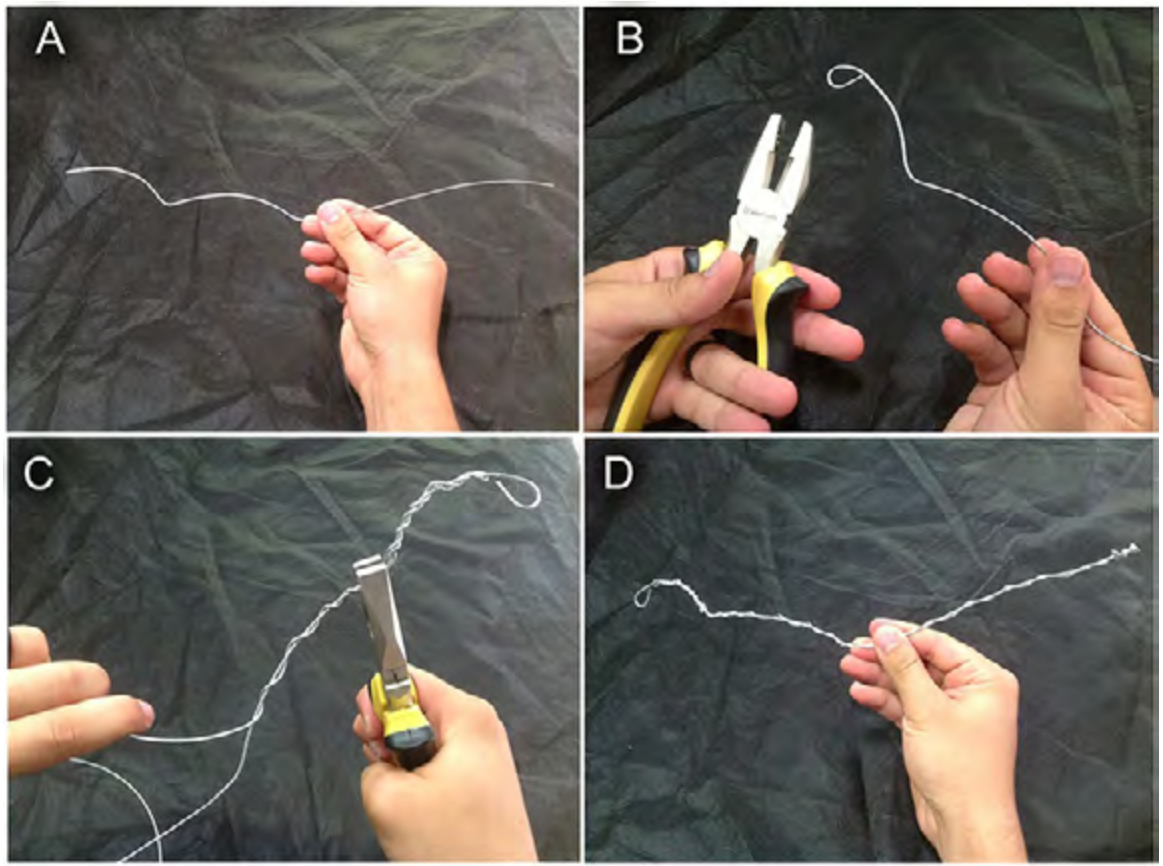


Figura 3. (A) corte do fio delineando o pescoço, a coluna e a cauda, (B) nó de segurança na ponta do pescoço, (C) enrolando outro fio no original para reforçar a estrutura, (D) camada dupla de arames retorcidos. Fotos: Aline M. Ghilardi.

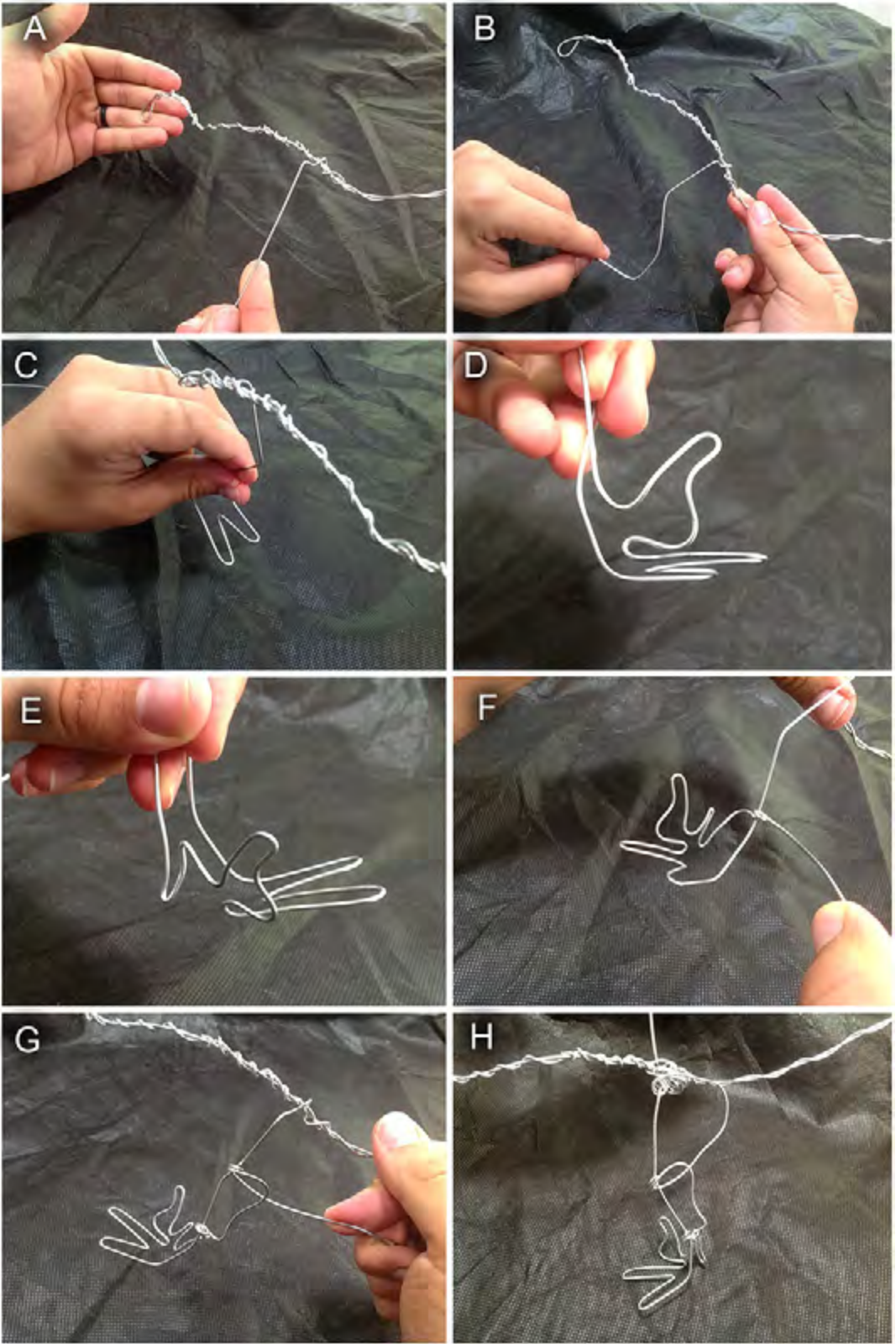


Figura 4. (A) o fio da perna, (B) o fio da perna segmentado em quatro partes, (C) os dois primeiros dígitos esquerdos do pé, (D) a garra retrátil, (E) o quarto dedo, (F) primeiro nó, (G) segundo nó, (H) terceiro nó. Fotos: Aline M. Ghilardi.

fio da perna em quatro segmentos em dobraduras, sendo a última da base a do pé, conforme a **figura 4B**.

Para fazer o pé, utilize o contorno do último segmento mencionado, e dobre-o em um plano ortogonal com o intuito de formar dois dígitos, que serão os dois primeiros dedos esquerdos **(Figura 4C)**. O terceiro dígito do raptor é retrátil e, portando, representado como uma garra em pé. Dobre-a para que se acomode no plano paralelo ao do restante da perna **(Figura 4D)**. O quarto e último dígito do pé é menor e ligeiramente voltado para trás, no mesmo plano que a garra retrátil e o restante da perna **(Figura 4E)**. A partir daí, amarre no local indicado na **figura 4F**, no que seria um plano paralelo ao dos dedos que se apoiarão ao chão. No plano da perna, delineie a primeira secção **(Figura 4G)** e termine com o contorno da "coxa" **(Figura 4H)**.

Repita o mesmo procedimento do outro lado. Atente para delinear as mesmas estruturas de maneira espelhada, principalmente os dígitos.

Amarre o excesso do fio na articulação da perna com a coluna. Uma boa quantidade de massa nesse ponto tornará mais eficiente o equilíbrio do Velociraptor metálico. Trata-se do "centro de massa" (C.M.) mencionado no início. Ao término dos dois membros anteriores, a escultura já deve mostrar-se sustentável somente pelos pés recém-esculpidos.

O procedimento para confeccionar os membros posteriores é semelhante ao aplicado anteriormente com as pernas. Corte um

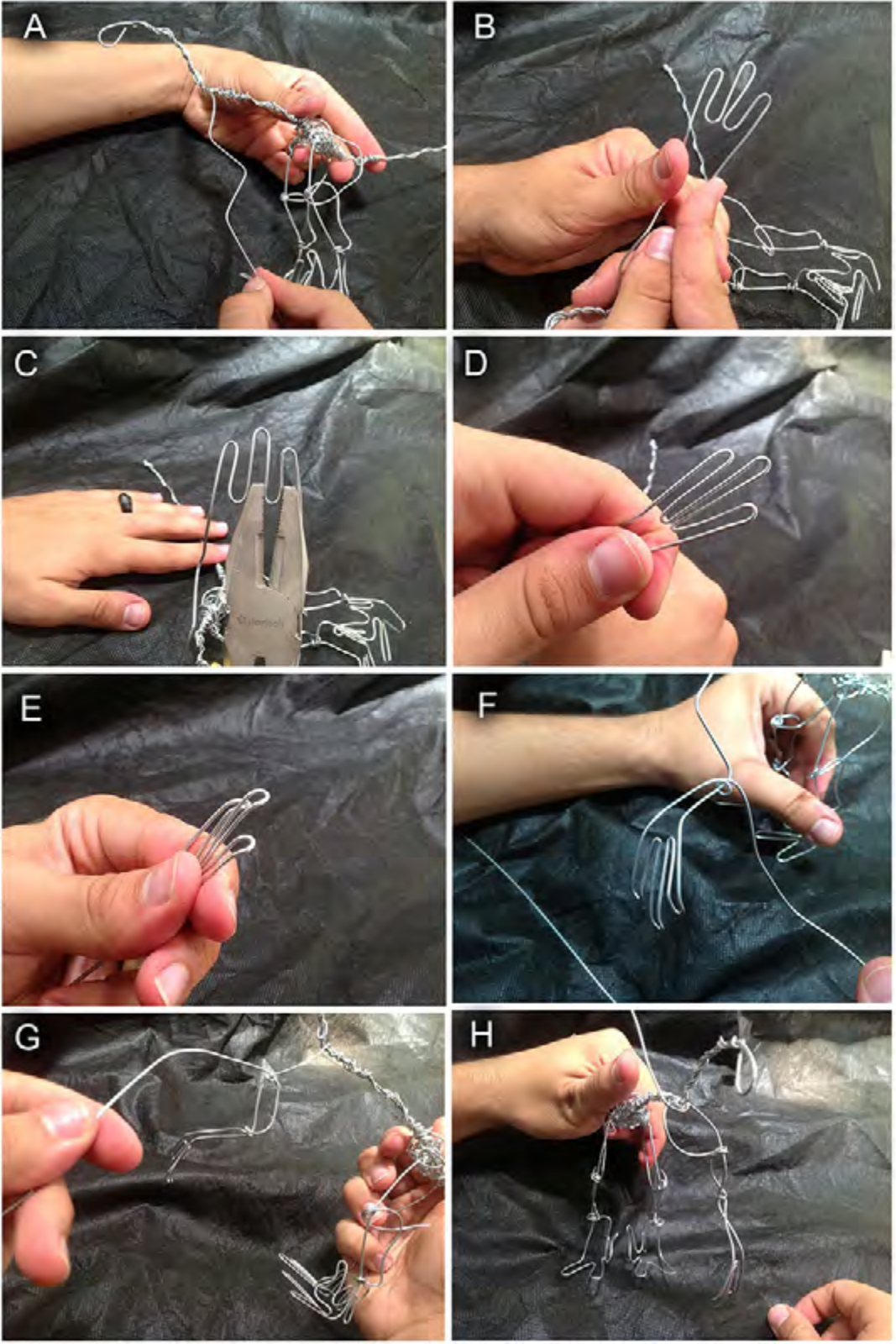


Figura 5. (A) fio do braço segmentado, (B) mão, (C) alicate ajustando a mão, (D) mão estreita, (E) garras, (F) primeiro nó, (G) Segundo nó, (H) peitoral. Fotos: Aline M. Ghilardi.

pedaço suficientemente grande de arame e amarre-o firmemente com uma das pontas no local um pouco atrás de onde foi previamente designado como início do pescoço. Desça o fio por alguns centímetros pelo que seria o tamanho do braço esquerdo do dinossauro. Da mesma maneira que anteriormente, atente à junção da perna com a estrutura principal da coluna, para que o fio não desça reto para baixo, e, sim que realize uma sutil e curta curva de 90º, e siga por 1cm, até que torsa 90º uma vez mais, e aí então seja o delineamento do braço. Isso contribuirá para o posicionamento da caixa torácica e para a estética da escultura. Divida o fio em quatro segmentos em dobraduras, sendo a última a mão **(Figura 5A)**.

Para fazer a mão, utilize o contorno do último segmento mencionado e dobre-o em um plano ortogonal com o intuito de formar três dígitos **(Figura 5B)**. O dígito do meio é ligeiramente mais comprido no Velociraptor. Utilize o alicate para evitar curvas indesejadas, tornando a pata mais fina e comprida **(Figuras 5C e 5D)**. Aplique a ferramenta para torcer levemente a ponta dos dedos para criar as garras **(Figura 5E)**. A partir daí, amarre no local indicado na **figura 5F**, no que seria o "antebraço". Dê um segundo nó, fechando o braço **(Figura 5G)**. Faça, então, um último nó, mais amplo, ortogonal ao restante do braço, para criar o peitoral do dinossauro **(Figura 5H)**

Repita o mesmo processo do outro lado. Atente para delinear as mesmas estruturas de maneira espelhada, principalmente os dígitos. Evite amarrar excessos de fio na articulação dos braços com a coluna. Uma quantidade de massa nesse ponto deslocará o centro de massa e desequilibrará o Velociraptor metálico. Mesmo poupando essa

região do peso excessivo, ao término desta parte, a escultura perderá seu equilíbrio naturalmente e não ficará mais em pé como no início **(Figura 6)**. Na próxima etapa, será adicionada mais massa à cauda para trazer, uma vez mais, equilíbrio para o sistema.

Figura 6. A escultura como deve apresentar-se ao término da Etapa 2. Mesmo poupando essa região do peso excessivo, ao término desta parte, a escultura como tal perderá seu equilíbrio naturalmente e não ficará mais em pé como no início. Na próxima etapa, adicionar mais massa à cauda e trazer uma vez mais equilíbrio para o sistema. Foto: Aline M. Ghilardi.

Etapa 3: Costelas, pescoço e cauda

É fundamental ter certeza de que a cauda está firme, pois é através dela que o dinossauro encontra seu equilíbrio. Para tal, corte um fio suficientemente grande e amarre-o ao centro de massa, contorça de maneira que esteja delineado o longo ísquio voltado para baixo **(Figura 7A)** e a partir dele torne a enrolar uma espiral de arame (como uma mola) desde o centro de massa no quadril até a ponta da cauda, diminuindo gradativamente **(Figuras 7B e 7C)**. No extremo, torsa a ponta do arame até que esteja totalmente agarrado **(Figura 7D)**. Caso haja um excesso de fio, use o alicate para cortá-lo.

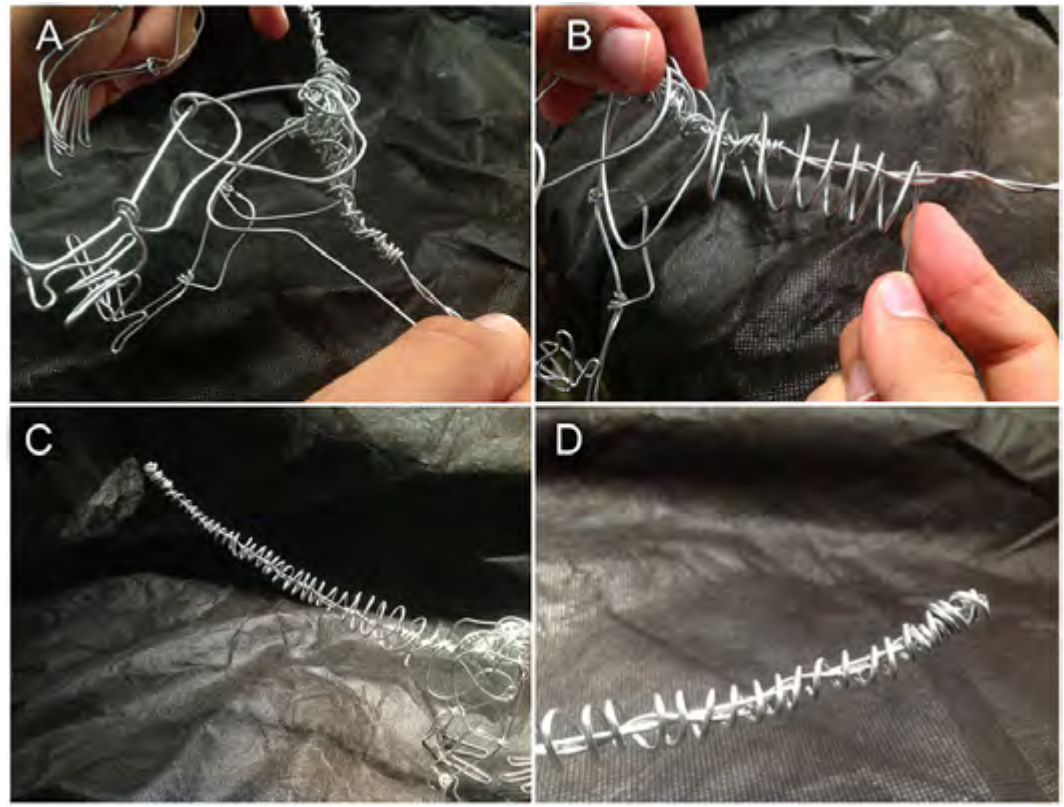


Figura 7. (A) ísquio, (B) espiral da cauda, (C) e (D) cauda ao término de sua confecção. Fotos: Aline M. Ghilardi.

Figura 8. Espiral do pescoço finalizada. Foto: Aline M. Ghilardi.

Figura 9. Espiral larga das costelas. Foto: Aline M. Ghilardi.

A massa total do arame localizado na cauda deverá ser equivalente ao total da massa do quadril até o crânio, tal qual é observado nos esqueletos de *Velociraptor*.

Realize outra espiral, embora mais fina, e amarre uma ponta à base do pescoço, no ponto do esterno, por onde se encaixam os "braços" na escultura. Leve em espiral até onde seriam as primeiras vértebras cervicais, à base de onde se criará a cabeça do animal **(Figura 8)**. Evite excesso de arame nessa parte do corpo para que não haja desequilíbrio na estrutura mecânica do dinossauro. Corte os excessos de arame com o alicate.

Por fim, realize uma última espiral na região do tórax, para representar as costelas. Essa mola deve ser consideravelmente mais larga que as outras. Amarre uma ponta no ponto onde começa o pescoço e a outra ao centro de massa, no quadril **(Figuras 9 e 10)**.

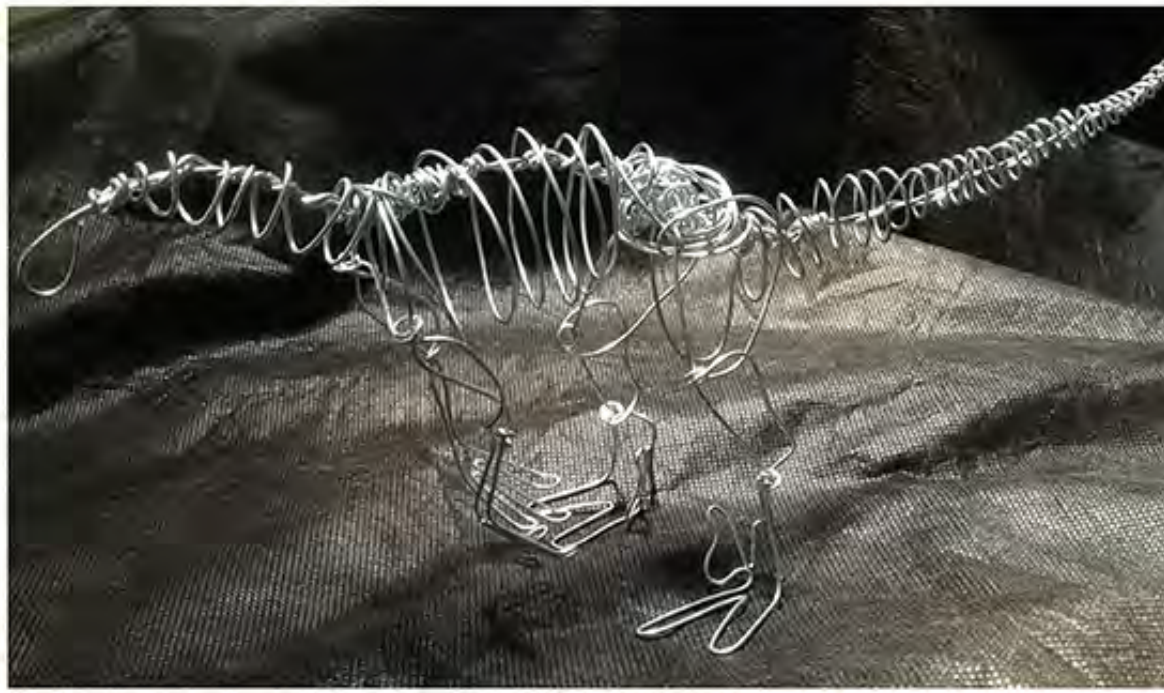


Figura 10. A escultura como deve apresentar-se ao término da Etapa 3. Nota-se que o modelo já está em equilíbrio mecânico. Foto: Aline M. Ghilardi.

Etapa 4: Crânio e mandíbula

Por fim, corte um fio e separe-o para fazer o crânio. Amarre uma das pontas deste último fio no gancho que havia sido separado na Etapa 1. Desarme-o e utilize-se dele para fixar o novo arame. Este agora será o crânio. Observando sua ilustração de referência, faça o contorno do crânio, utilizando do alicate para fazer a pequena crista do Velociraptor e a curva do focinho **(Figura 11A)**, retornando o fio para delinear o palato. Regresse até o ponto inicial e amarre firmemente, cortando o excesso com o alicate **(Figura 11B)**. Corte outro fio e amarre-o no mesmo ponto. A partir dele, contorne e desenhe a mandíbula, finalizando no mesmo lugar de partida **(Figuras 11C e D)**. Veja como a escultura deve apresentar-se ao final da Etapa 4 na **figura 12**.

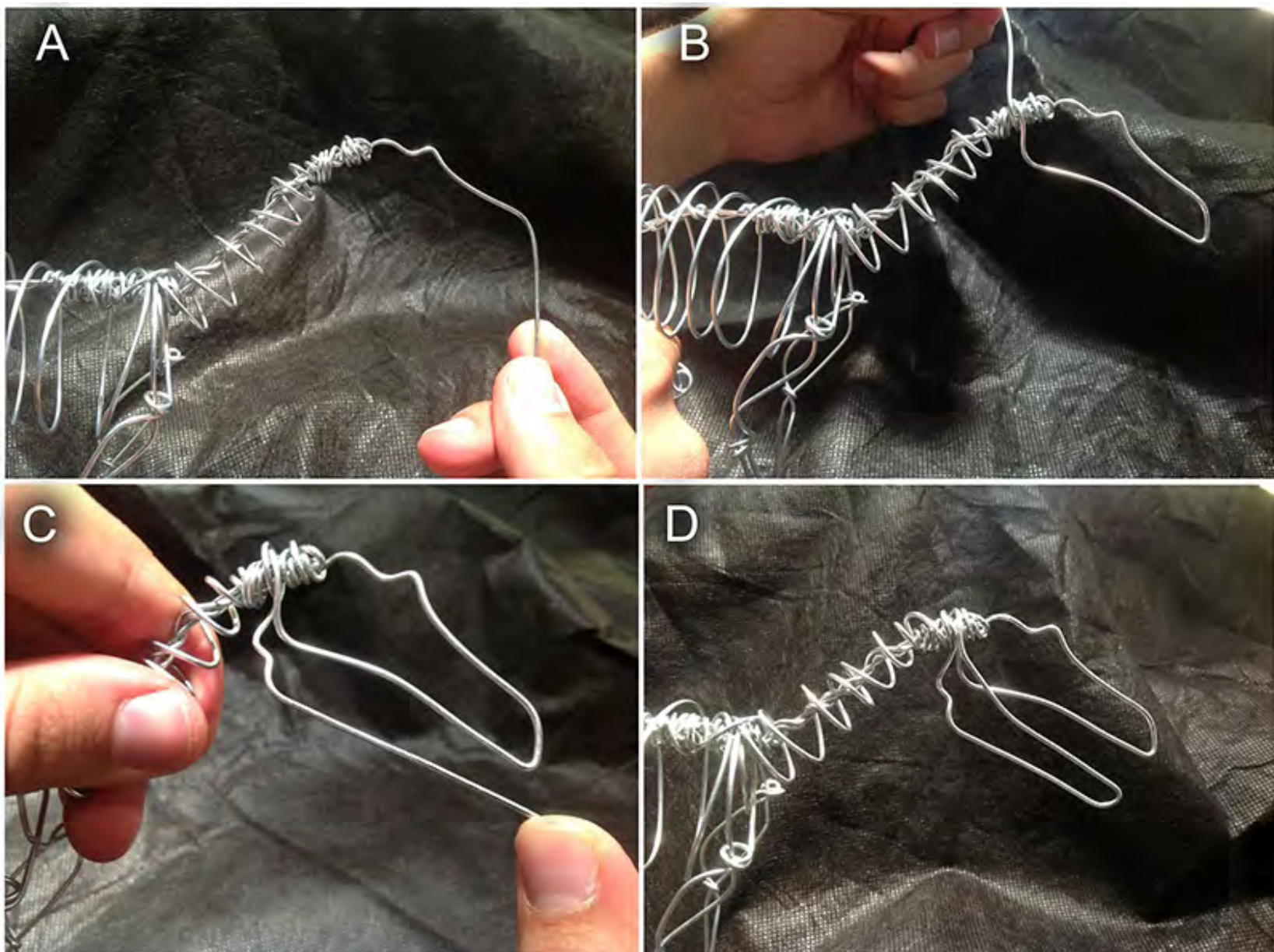


Figura 11.
Delineamento das diversas porções que compõem a cabeça: (A) e (B) crânio; (C), e (D) mandíbula.
Fotos: Aline M. Ghilardi.

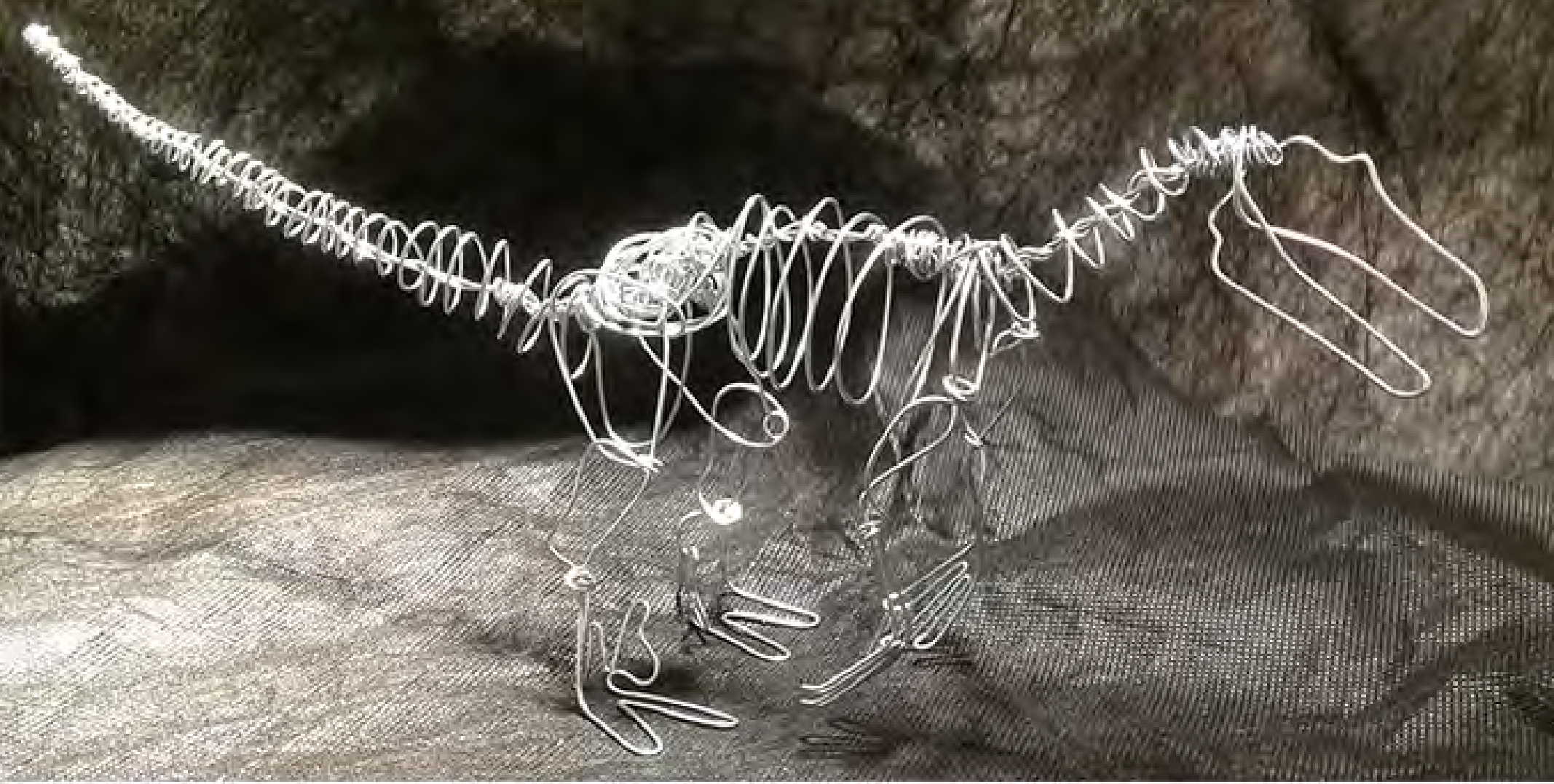


Figura 12. A escultura como deve apresentar-se ao término da Etapa 4. Foto de Aline M. Ghilardi.

Etapa 5: Ajustes

Se ao término do trabalho a escultura mostrar-se fiel à anatomia original do dinossauro, serão simuladas suas propriedades mecânicas também. O mais importante desta etapa é o ajuste para que não pareça um animal taxidermizado de um velho museu. O movimento dá vida ao material, mesmo que seja confeccionado a partir de objetos que não remontem o observador às formas orgânicas (pele, textura, cores naturais). Utilizam-se os nós localizados nos membros como eixos ajustáveis **(Figura 13A)**. Primeiramente, arruma-se a postura dos braços **(Figura 13B)**. Recolha também umas das pernas e incline levemente o corpo para que ele fique equilibrado em uma perna somente **(Figura 13C)**. Levante a cauda atingir o equilíbrio com a posição corporal. Levante a cabeça, como se o *Velociraptor* estivesse caminhando e repentinamente encontrasse um inseto. Ajustando-se para pular para o alto, surge a cena da **figura 13D**.

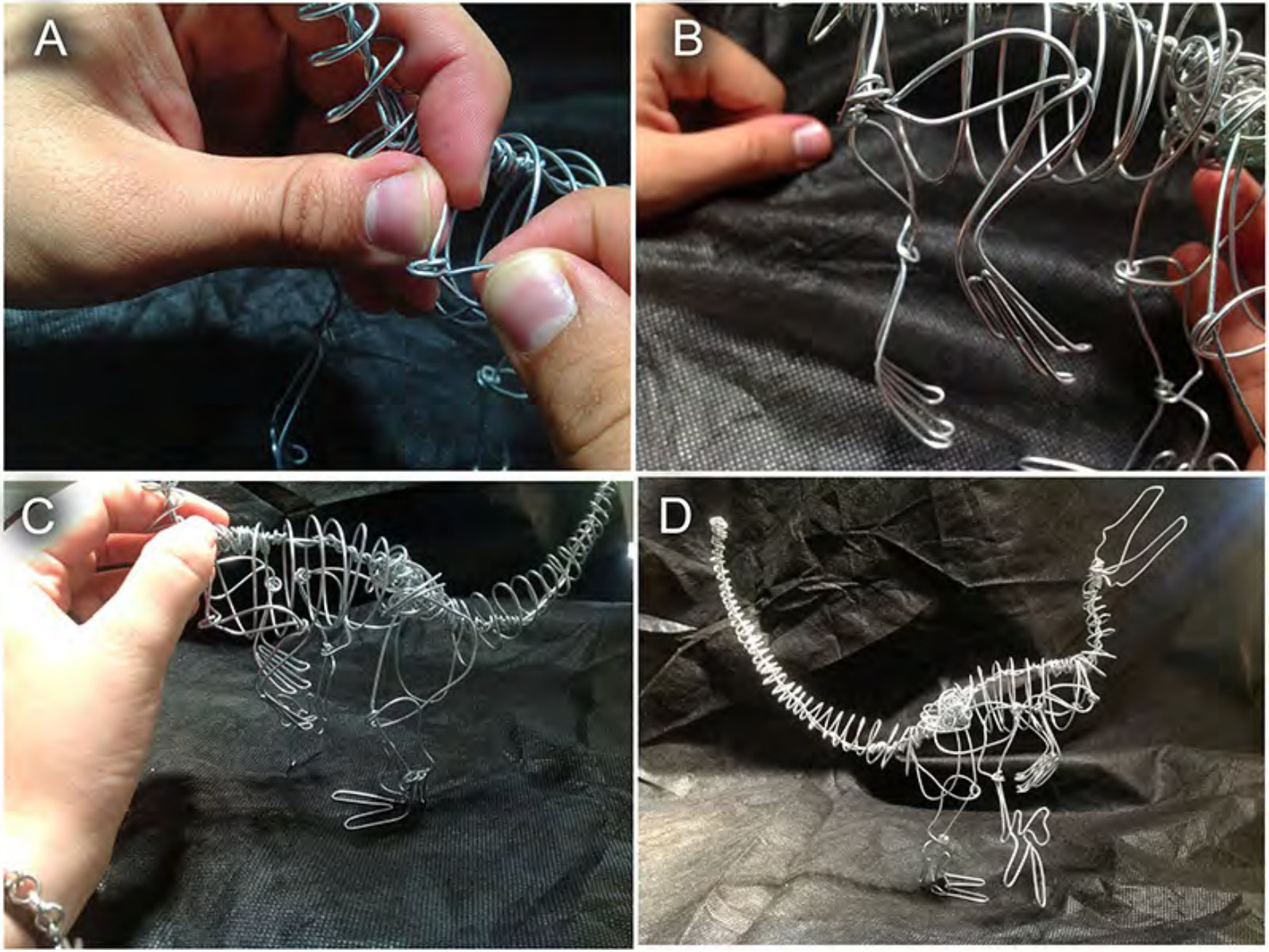
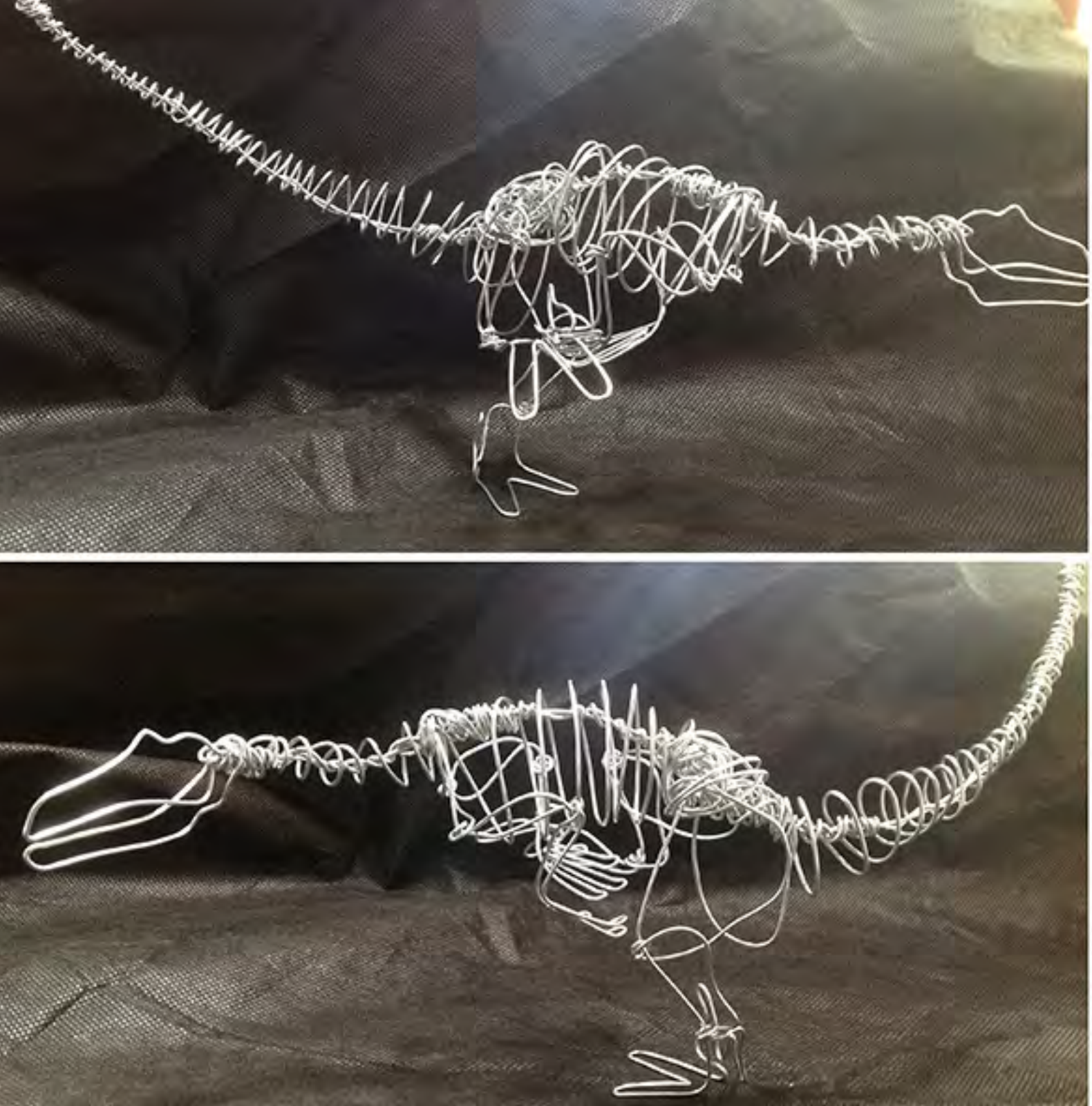


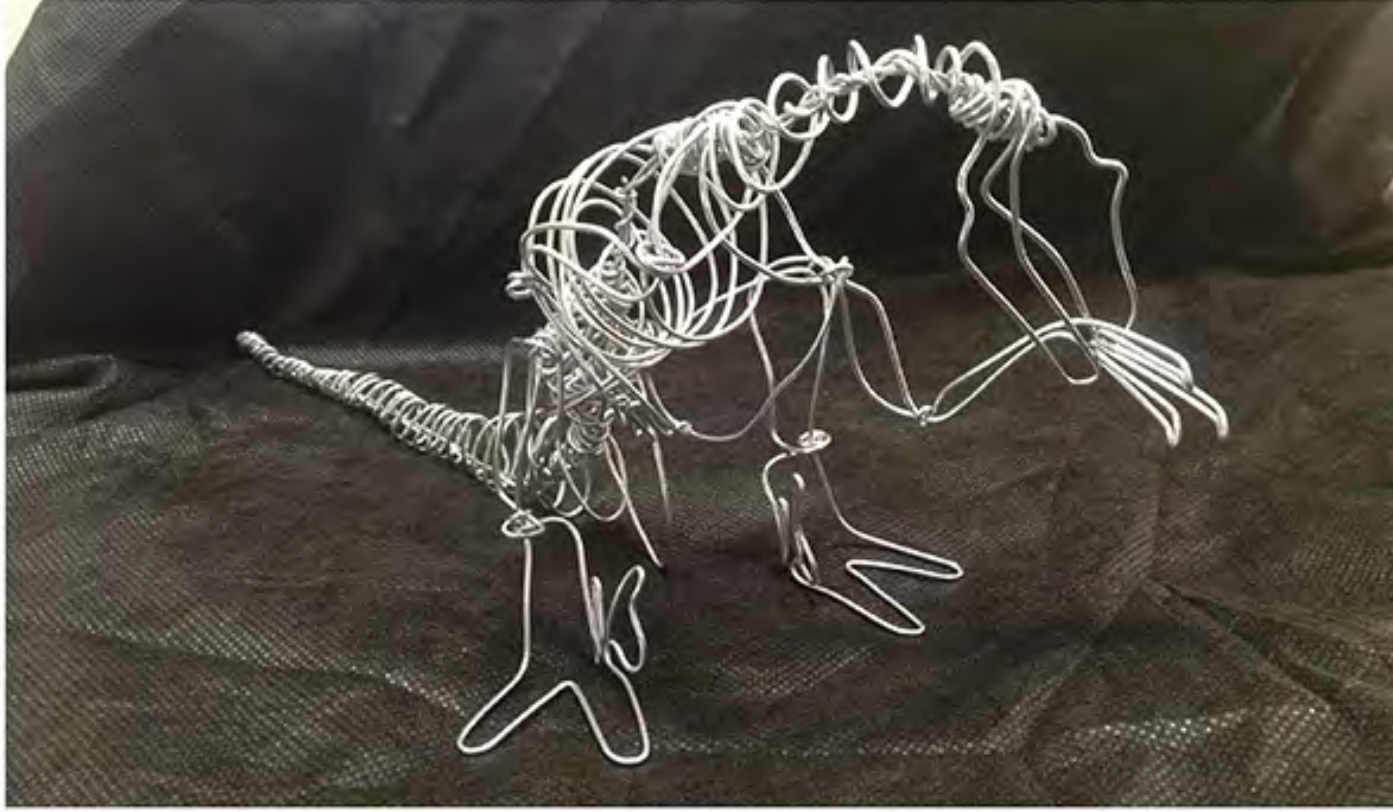
Figura 13. Delineamento das diversas porções que compõem a cabeça: (A) utilizam-se os nós para ajustar, (B) posição natural do braço, (C) ajuste da pata, (D) dinossauro em uma cena movimentada. Fotos: Aline M. Ghilardi.

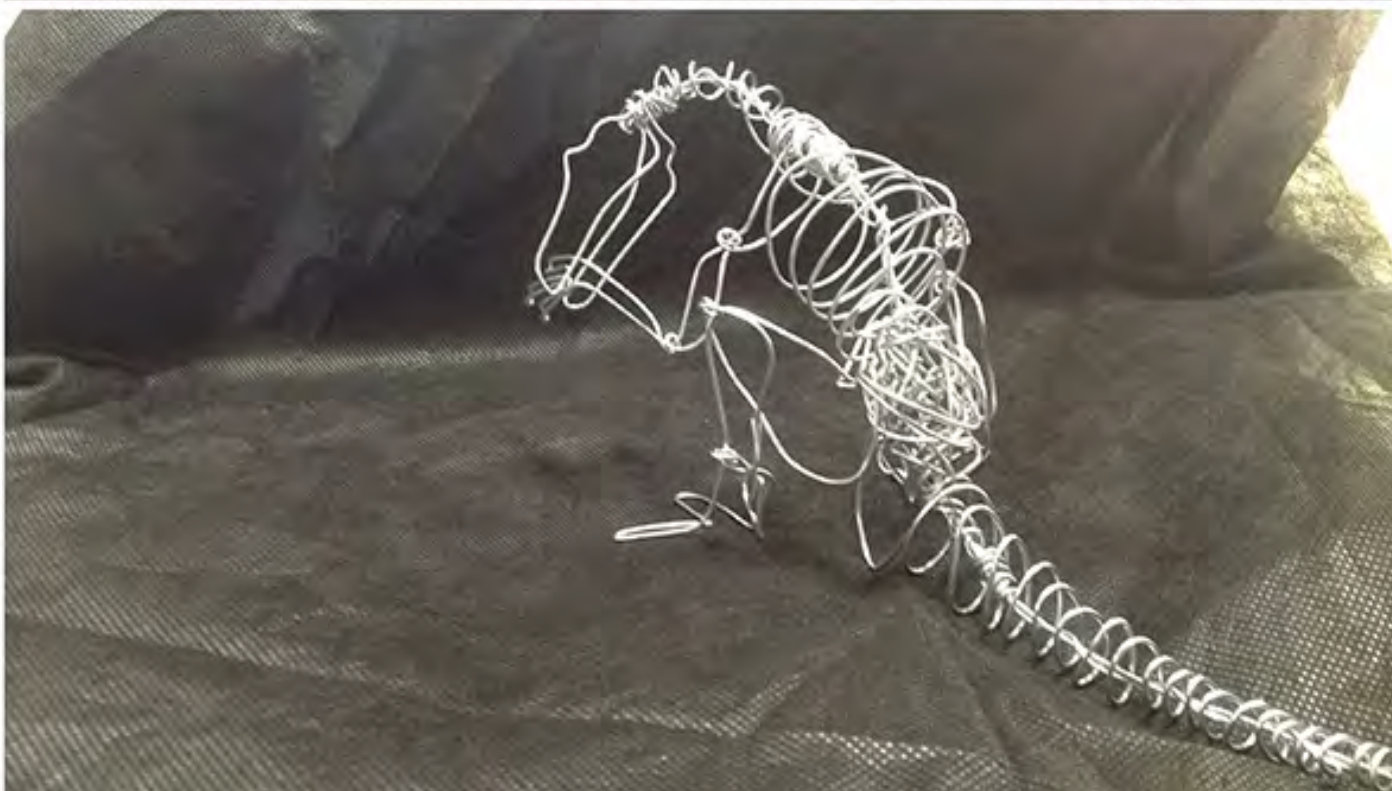


O ajuste da posição da escultura possibilitará a criação de diversas cenas. Cada cena pode ser alterada quantas vezes for necessário. Dois exemplos diferentes estão apresentados nas **Figuras 14 e 15**.

Figura 14. Exemplo de cena: dinossauro correndo. Fotos: Aline M. Ghilardi.

Figura 15. Exemplo de cena: *Velociraptor* beliscando insetos em sua posição sentado, apoiado sobre o ísquio (osso do quadril). Foto: Aline M. Ghilardi.





Considerações finais

Fique livre para escolher outros materiais e criaturas: latinhas de alumínio, pregos, parafusos, antenas de televisão, telas metálicas e todo material útil à confecção de esculturas podem ser livremente aplicados, desde que se respeite a anatomia original dos dinossauros.

Criatividade é o limite!

DINOSSAURO RECICLÁVEL

Veridiana Ribeiro
Gabrielli Gadens Marcon

OBJETIVO

Despertar o interesse sobre temas relacionados à paleontologia; estimular a criatividade, coordenação motora, atenção e concentração; incentivar a reciclagem de materiais. Esta atividade é uma adaptação de LOPES, F. M; HATA, C. M. Dinossauro de sucata (Coelurossauro). Disponível em http://www.katiachedid.com.br/files/atividades/2d6ec0a5d13431c261b1b71c3ae6cea6.pdf

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos iniciais e finais).

TEMPO DE EXECUÇÃO

Para a montagem do dinossauro são necessários aproximadamente 30 minutos; a aplicação de camadas de jornal com cola leva três dias; a pintura do dinossauro ocupa aproximadamente 30 minutos.

MATERIAL

Duas garrafas pet de 2 L; rolo de fita crepe; quatro caixas de papel de incenso vazias; uma caixa de fósforos vazia; seis caixas de chiclete vazias; papelão; canudos dobráveis; tesoura; cola; água; jornal; recipiente (para acomodar o jornal com cola); tinta e pincel.

PROCEDIMENTOS

PARTE 1. Elaboração da atividade:

1) Recorte as duas garrafas seguindo a medida de 11 cm a partir do gargalo **(Figura 1)**.
2) Junte as duas partes com fita crepe **(Figura 2)**.
3) Para fazer o pescoço e a cabeça do dinossauro, encaixe a caixa de fósforos, sem a gaveta, na ponta de uma caixa de incenso e prenda com fita crepe **(Figura 3)**.

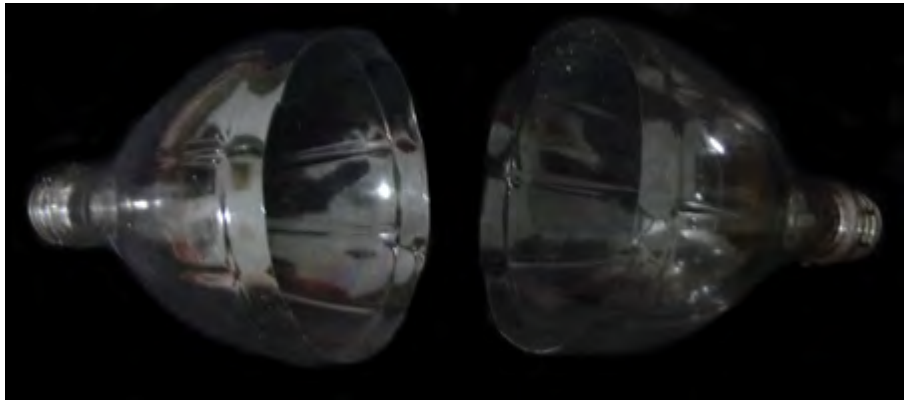


Figura 1. Garrafas pet cortadas.

Figura 2. Garrafas pet unidas por fita crepe.

4) Para construir os membros inferiores (pernas) e os pés do dinossauro, encha duas caixas de incenso com pedrinhas ou areia grossa. Depois, prenda com fita crepe três caixas de chiclete na base de cada uma das caixas de incenso **(Figura 4)**.

Figura 3 . Montagem da cabeça e pescoço do dinossauro.

Figura 4. Membros inferiores e pés do dinossauro.

5) Encaixe a caixa de incenso que representa o pescoço do dinossauro **(Figura 3)** em um dos gargalos da garrafa pet, na posição diagonal, e prenda com fita crepe. Encaixe outra caixa de incenso no outro gargalo, na posição horizontal, e prenda com fita crepe. Depois, prenda, nas laterais da garrafa (bem no meio), as outras caixas de incenso que representam as duas pernas do dinossauro **(Figura 4)**. Se necessário, coloque mais fita crepe para garantir a fixação da estrutura **(Figura 5)**.

6) Para fazer os membros superiores, corta-se dois canudos dobráveis na medida de 5cm, utilizando o ponto articulado (dobrável) do canudo. Para fazer as mãos do dinossauro, corta-se as medidas (3cm x 2cm x 1cm), no papelão **(Figura 6)**.

7) Dobre os canudos e prenda nas laterais da garrafa ligada ao pescoço. Nas pontas dos canudos, faça dois picotes para encaixar as garras e prenda com fita crepe **(Figura 7)**.

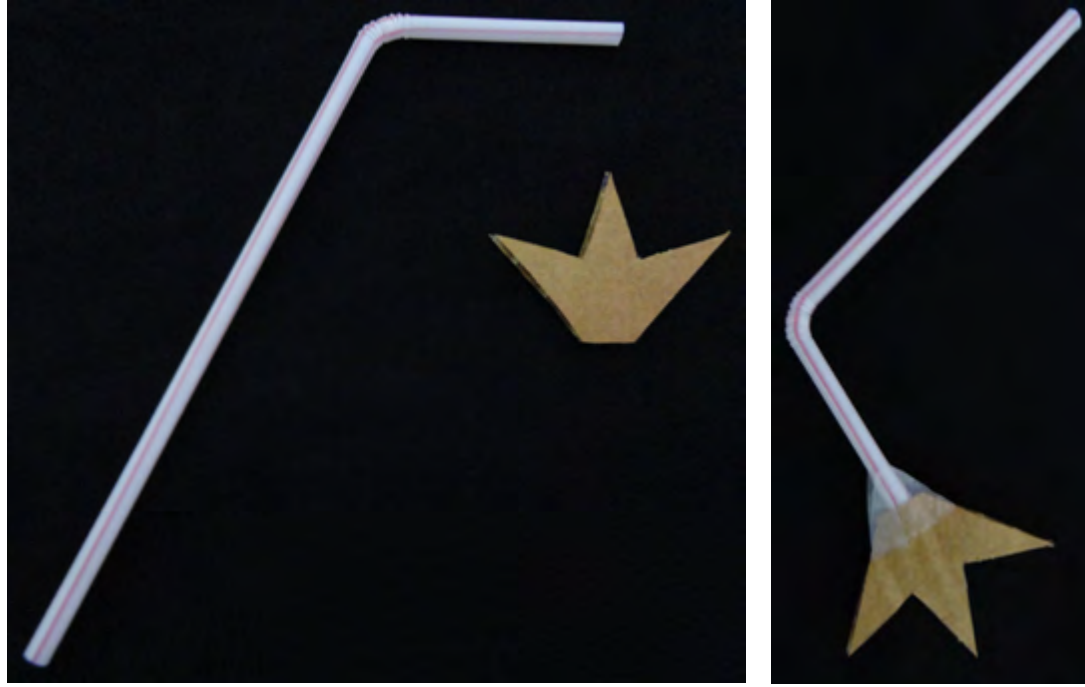


Figura 6. Montagem dos membros superiores e mãos do dinossauro com canudos e papelão.

Figura 5. Dinossauro montado.

Figura 7. Detalhe dos membros superiores e mãos do dinossauro.

8) Após concluído o procedimento de montagem, parte-se para a arte-finalização. Em uma bacia (ou outro recipiente), misture água e cola até a obtenção de uma mistura densa (leitosa); rasgue o jornal em tiras, de aproximadamente 10x5cm, e mergulhe-as na mistura. Deixe de molho durante um dia.

9) Recubra cuidadosamente todo o dinossauro com o jornal molhado e deixa secar. Este procedimento deve ser repetido durante três dias, até que o dinossauro fique bem firme **(Figura 8)**.

10) Após realizado todo o procedimento de montagem e revestimento com jornal, deixe o dinossauro secar por um dia e pinte **(Figuras 9 e 10)**.

Figura 8. Dinossauro revestido com jornal.

Figura 9. Exemplo de dinossauro arte-finalizado (acima), com detalhe do pescoço e cabeça (abaixo).

Figura 10. Dois dinossauros arte-finalizados em vista anterior.

PARTE 2. Procedimento em sala de aula

O dinossauro poderá ser confeccionado previamente pelo professor ou, em sala de aula, junto com os alunos. Uma vez concluído o dinossauro, o professor poderá expor o mesmo em sala de aula, desafiando os alunos para que descubram a qual grupo este dinossauro pertence.

Para isso, o professor deve solicitar aos alunos que listem as características anatômicas observadas no dinossauro (ex. postura bípede ou quadrúpede; número de dedos nas mãos e pés; pescoço curto ou longo, etc.).

Após a listagem das características, os alunos poderão ser divididos em equipes (até 5 alunos) que terão a tarefa de pesquisar sobre os dinossauros e suas características. Após a pesquisa, as equipes deverão fazer um resumo de suas descobertas e expor aos demais colegas.

Para finalizar, os resumos poderão ser compartilhados em um único texto integrativo, podendo este, ser impresso e organizado numa apostila para acesso de toda a escola.

REFERÊNCIA

LOPES, F. M. & HATA, C. M. Dinossauro de sucata (Coelurossauro). Disponível em http://www.katiachedid.com.br/filesatividades/2d6ec0a5d13431c261b1b71c3ae6cea6.pdf.

JOGO PALEOCOMBATE

Adriana Strapasson de Souza
Karine Lohnmann de Azevedo
Ana Emilia Q. de Figueiredo

O Paleocombate consiste em um jogo de cartas, inspirado no jogo "Super Trunfo" da Empresa Grow®, que relaciona diversos conteúdos e conceitos da Paleontologia, sendo o seu tema central a Tafonomia **(ver capítulo TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?).**

OBJETIVO

Este jogo é uma ferramenta didática dinâmica e interativa, que objetiva auxiliar o ensino-aprendizagem de conceitos paleontológicos, principalmente no que se refere às questões tafonômicas relacionadas à formação de um fóssil e o seu ambiente deposicional.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

MODALIDADE

Duas equipes (com um número mínimo de um jogador e máximo de cinco jogadores).

TEMPO DE EXECUÇÃO

Mínimo de 50 minutos.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O jogo Paleocombate exige dos seus jogadores raciocínio lógico integrador de diferentes temas da Paleontologia. Os alunos deverão relacionar conceitos de bioestratigrafia, paleoecologia e tafonomia,

de modo que estes conceitos devem ser abordados pelos professores em aula teórica anteriormente à aplicação do jogo em sala de aula. Recomenda-se a leitura prévia dos capítulos **OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO, A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS** e **TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?**

MATERIAL

Um conjunto de **24 cartas-fóssil** e **30 cartas-ambiente** deposicional. As cartas-fóssil apresentam um organismo fóssil, sua distribuição bioestratigráfica, seu modo de vida e algumas de suas características tafonômicas (como grau de articulação, grau de abrasão e grau de fragmentação). As cartas-ambiente deposicional informam características como a época geológica, o tipo de paleoambiente e a energia do meio.

REGRAS DO JOGO

Para iniciar o jogo devem ser formadas duas equipes (com um número mínimo de um jogador e máximo de cinco jogadores). Cada equipe recebe 12 cartas-fóssil por meio de distribuição aleatória do baralho. As cartas-ambiente deposicional devem ser previamente embaralhadas e colocadas, com a informação voltada para baixo, em uma pilha.

A cada rodada, primeiramente, deve ser revelada uma carta-ambiente deposicional **(Figura 1)**, que vai nortear a jogada das duas equipes. Após isso, cada equipe deve escolher uma das suas cartas-fóssil que possua características mais condizentes à sua preservação no paleoambiente em questão. A carta escolhida de uma equipe irá competir com a carta escolhida pela equipe adversária.

Para a escolha da carta-fóssil a ser utilizada na rodada, deve-se levar em conta os seguintes itens da carta-ambiente deposicional:

- A distribuição bioestratigráfica do fóssil deve condizer com o período geológico da carta-ambiente deposicional;
- As características do fóssil e o modo de vida do organismo (marinho, terrestre, etc.) devem condizer com o ambiente proposto pela carta-ambiente deposicional;

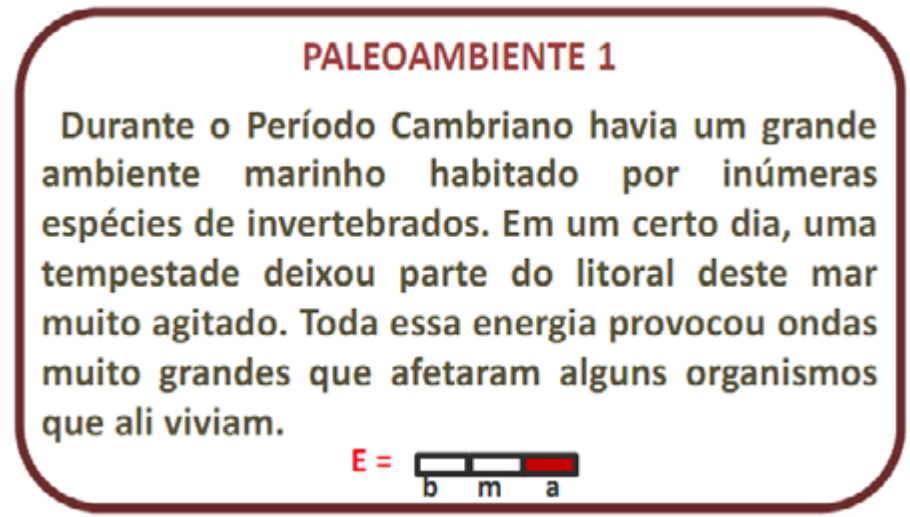


Figura 1. Exemplo de carta-ambiente deposicional.

- Os dados tafonômicos (características do fóssil, como associação ou elemento ósseo isolado, grau de abrasão, grau de fragmentação, grau de articulação, etc.) devem também condizer com determinados eventos catastróficos, com a energia do meio, entre outras características descritas na carta-ambiente deposicional.

Como comparar as cartas dos fósseis?

O fóssil escolhido para competir na rodada deverá, em primeiro lugar, ter existido durante o período geológico proposto pela carta do ambiente deposicional. Esta característica está indicada em uma barra vertical à direita da carta-fóssil, que contem a distribuição bioestratigráfica do grupo em questão (período Triássico na **figura 2**). Caso este item não seja obedecido, a equipe perde a rodada instantaneamente.

Em casos em que, por azar, a equipe não recebeu nenhuma carta-fóssil que possua a distribuição bioestratigráfica condizente com a carta-ambiente deposicional, outra carta qualquer deverá ser escolhida, mesmo que não apresentando o período correto. Existe grande chance de que esta equipe perca a rodada. Entretanto, se a outra equipe também errar, ou não tiver a carta-resposta correta, então, a rodada é automaticamente anulada e nenhuma equipe perde suas cartas. O jogo segue com uma nova carta-ambiente sendo revelada.

Na **figura 2**, o Modo de Vida do dicinodonte *Dinodontosaurus* está especificado como terrestre. O modo de vida do fóssil deve ser condizente com o ambiente proposto na carta-ambiente deposicional. Por exemplo, um organismo marinho não será encontrado fossilizado em um ambiente desértico. Atenção: entretanto, por vezes, um organismo terrestre, como um dicinodonte, pode ter seus ossos transportados para dentro de um rio, de modo que todas as possibilidades tafonômicas devem ser consideradas.

Em algumas cartas-ambiente deposicional podem aparecer eventos catastróficos **(Figura 3)**, entre outros fatores, de modo que as características do fóssil (grau de articulação) devem condizer com o proposto pelas cartas-ambiente deposicional. Por exemplo, se ocorreu um rápido soterramento, causado por um evento catastrófico, a carta-fóssil deve tratar de uma associação fossilífera, ou, pelo menos vários indivíduos, e nunca apenas um elemento ósseo isolado.

Figura 2. Exemplo de carta-fóssil mostrando todos os itens que devem ser considerados e que devem ser condizentes com a carta-ambiente deposicional.

A Energia do meio deve ser inferida, com base na carta-fóssil, primeiramente partir do grau de articulação, e, em seguida, no grau de abrasão e grau de fragmentação dos fósseis. Assim, se o ambiente proposto possuía alta energia, o fóssil que apresentar os maiores valores para estas características tafonômicas ganha. Esses valores são representados na forma de barras numeradas de "0 a 3" nas cartas-fóssil e a energia do meio é representada como barras nomeadas como "b" (baixa), "m" (moderada) e "a" (alta) nas cartas-

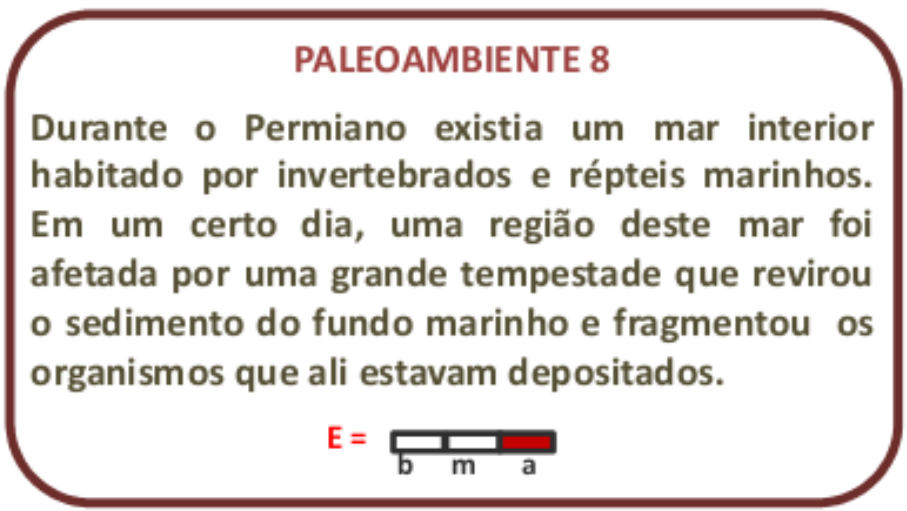


Figura 3. Exemplo de carta-ambiente deposicional ilustrando um evento catastrófico.

ambiente deposicional. Abaixo **(Figura 4)**, estão as relações que devem ser observadas entre a energia do meio e as características tafonômicas representadas pelas barras numeradas das cartas-fósseis.

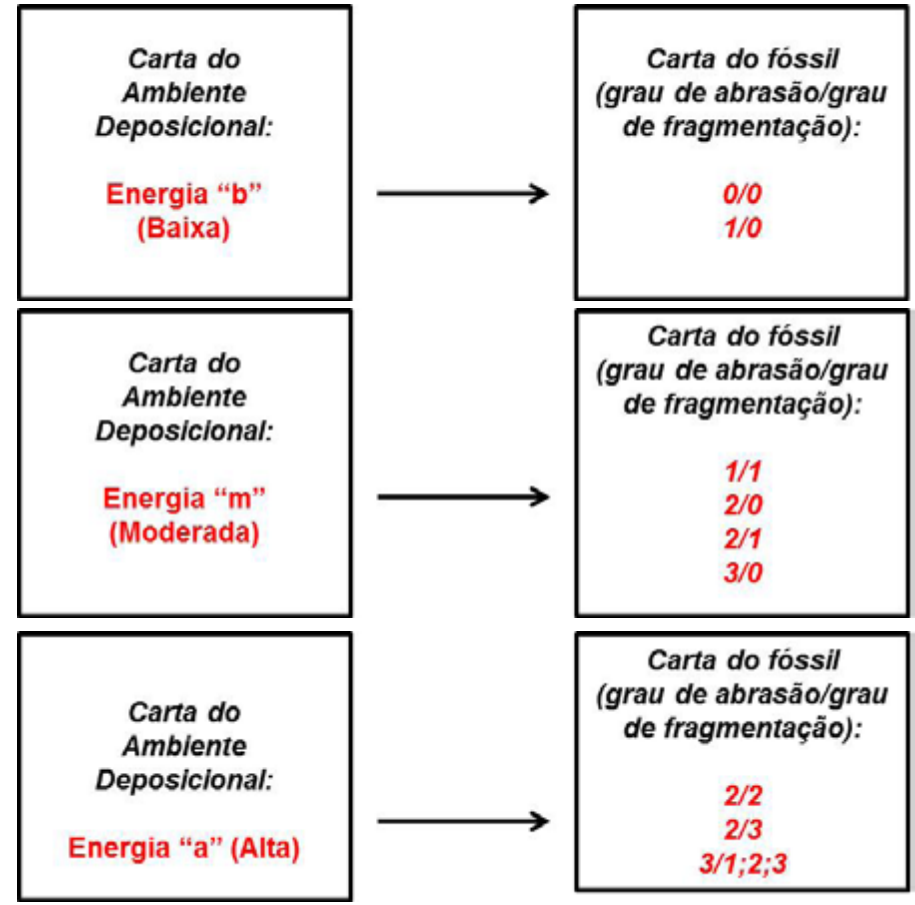


Figura 4. Relação entre energia do meio (cartas-ambiente deposicional) e características tafonômicas (grau de articulação, grau de abrasão, grau de fragmentação) das cartas-fóssil.

Fim do jogo

O grupo que apresentar a carta-fóssil com as características mais favoráveis para a preservação no ambiente deposicional proposto pela carta-ambiente deposicional ganha a rodada, somando um ponto e recebendo a carta-fóssil do adversário. Esta poderá ser utilizada em outras rodadas.

Vence o jogo o grupo que primeiro somar 10 pontos.

AMBIENTES DE FOSSILIZAÇÃO

Cristina Bertoni Machado

Não é fácil se tornar um fóssil! Neste jogo, uma versão menos complicada do Jogo Tafonogame, busca-se fazer com que crianças entendam os processos que ocorrem desde a morte do organismo até sua efetiva fossilização.

OBJETIVO

É possibilitar às crianças um entendimento sobre os processos físicos e biológicos de que atuam na formação de um fóssil.

PÚBLICO – ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos iniciais).

MODALIDADE

Atividade em grupo; quatro grupos de quatro alunos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

90 minutos.

MATERIAL

Cartolina; giz de cera e/ou lápis de cor e cartões de fossilização **(Figura 1)**.

PROCEDIMENTO

1) Separe a turma em quatro grupos de quatro alunos e peça para que cada grupo escolha um ambiente deposicional, como um lago, uma planície, uma floresta, ou um rio.

2) Cada elemento do grupo deverá escolher um animal: ave, peixe, mamífero terrestre ou réptil. A escolha pode compreender animais vertebrados que vivem nos ecossistemas atuais ou vertebrados fósseis. Neste caso, seria interessante pedir que os alunos pesquisem o tipo de animal extinto que gostariam de ser no jogo.

3) Entregue uma cartolina, um conjunto de giz de cera e os cartões de fossilização para cada um dos grupos. Peça que eles desenhem o ambiente que escolheram (lago, planície, floresta, rio, fundo do mar), colocando a vegetação e os animais que vivem nestes locais.

4) Peça que as crianças representem, com movimentos e vocalizações, os animais que existem em cada ambiente. Por exemplo: no lago podem ter peixes, sapos, patos, etc. O grupo pode interagir entre si dentro do ambiente escolhido.

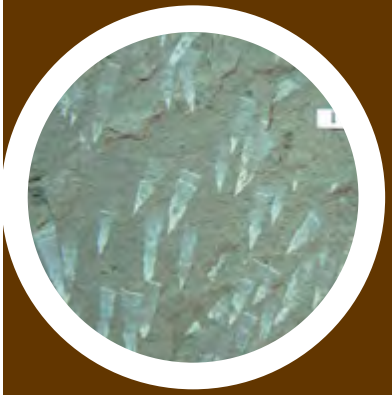
5) Faça quatro conjuntos de cartões (cada conjunto contém 28 cartões) para cada grupo. Assim, cada aluno participante deverá ter acesso a sete cartões dos tipos a seguir **(Figura 1)**.

6) "Congele" os participantes, gritando **ESTÁTUA!** Agora peça que cada um olhe seus cartões de fossilização e separe o evento que pode acontecer com o seu animal, dentro do ambiente escolhido. Ex: ambiente de lago / aluno peixe: cartões de fossilização relacionados a ele **– TRANSPORTADO POR CORRENTES DE ÁGUA – COMIDO POR CARNICEIROS – ENGOLIDO POR UM CROCODILO – DESARTICULADO EM VÁRIAS PARTES – SOTERRADO – VOCÊ SE TORNOU UM FÓSSIL!!!**

7) Vence aquele que tiver mais cartões de fossilização relacionados ao seu animal, no seu ambiente de fossilização.

8) Quando o jogo terminar, observe quais os animais foram os melhor preservados e em qual ambiente. Discuta com eles se isto reflete o esperado.

Figura 1. Exemplos de cartões de fossilização.



41

IDENTIFICANDO ASSINATURAS TAFONÔMICAS

Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano
Marina Bento Soares

OBJETIVO

Identificar as assinaturas tafonômicas em concentrações fossilíferas de ambiente marinho, relacionando-as com distintas interpretações paleoambientais.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

MODALIDADE

Individual ou em dupla.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Leitura do capítulo **TAFONOMIA DE INVERTEBRADOS: O ENIGMA DAS CONCHAS.**

MATERIAL

Um conjunto de **10 cartas amarelas** apresentando assinaturas tafonômicas de concentrações fossilíferas em ambiente marinho; um conjunto de **10 cartões com fotografias** de distintas concentrações fossilíferas marinhas; um conjunto de **10 cartas contendo as interpretações ambientais** das assinaturas tafonômicas mais evidentes em cada concentração fossilífera.

PROCEDIMENTO

Você recebeu três conjuntos de cartas, contendo 10 cartas cada. As cartas amarelas, numeradas de 1 a 10, apresentam assinaturas tafonômicas observadas em concentrações fossilíferas de ambiente marinho; as cartas contendo as fotografias de fósseis (sem numeração) ilustram as 10 assinaturas tafonômicas apresentadas nas cartas amarelas. As cartas azuis (A até J) correspondem às Interpretações paleoambientais das assinaturas tafonômicas listadas nas cartas amarelas e ilustradas nas cartas com as fotografias **(Figura 1)**. Associe corretamente as cartas. Cada associação deve conter uma carta amarela, uma carta com fotografia de fósseis e uma carta azul.

REFERÊNCIAS

BRETT, C. E. & BAIRD, G .C. 1986. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. Palaios 1: 207-227.

SPEYER, S.E. & BRETT, C.E. 1988. Taphofacies models for epeiric sea environments: middle Paleozoic examples. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 63:225-262.

Aquiat velessit illorem aut adionsequis nulparc ipsandent int

Figura 1. Exemplos de carta de cada conjunto. A carta amarela (5) apresenta uma assinatura tafonômica; a fotografia (Carta VII) ilustra outra assinatura tafonômica; a carta azul (I) traz uma interpretação ambiental. As três cartas abaixo não têm correspondência entre si.

5. Biválvios ou braquiópodes preservados com as conchas articuladas, mas abertas.

I. Ambiente caracterizado por correntes oscilatórias (ação de ondas).

DECIFRANDO AS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS

42

Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano

OBJETIVO

Identificar as etapas de formação das concentrações fossilíferas em ambiente marinho.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio.

TEMPO DE EXECUÇÃO

50 minutos.

MATERIAL

Um conjunto de cartões com os desenhos das etapas de formação de sete diferentes concentrações fossilíferas **(Figura 1)**; um conjunto de cartões com as interpretações dos processos e ambientes relacionados com a origem das sete concentrações fossilíferas **(Figura 2)**.

Figura 1. Exemplos de cartões com os desenhos das etapas de formação das concentrações fossilíferas. Modificado de Speyer & Brett (1991).

RESPOSTA 1 – Devido às baixas taxas de sedimentação, até mesmo os organismos sésseis desta concentração conseguem sobreviver ao soterramento, e a porção inferior da colônia de corais (na parte central da figura) morre mas ainda fica preservada em sua posição de vida.

Figura 2. Exemplo de cartão com interpretação dos processos e ambientes relacionados com a origem das concentrações fossilíferas.

PROCEDIMENTO

1) Recortar os dois conjuntos de cartões através das linhas pontilhadas, e entregá-los para cada grupo de alunos.
2) Solicitar que os alunos organizem os cartões com os desenhos em 7 grupos diferentes, que irão representar as etapas da história de formação de cada uma das 7 concentrações fossilíferas. Cada um destes conjuntos poderá ser formado por um até três cartões, ou seja, de uma até três etapas para a história de cada concentração fossilífera.
3) Após a organização dos cartões com os desenhos, os alunos devem correlacionar cada concentração fossilífera com o cartão cuja descrição representa a melhor análise das assinaturas tafonômicas e da interpretação dos processos e ambientes relacionados com a sua origem.

REFERÊNCIA

SPEYER, S.E. & BRETT, C.E. 1991. Taphonomic controls: background and episodic processes in fossil assemblage preservation. In: Allison, P.A.; Briggs, D.E.G. (eds.) Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record. New York: Plenum Press, p. 501-545.

A SEQUÊNCIA DE DESARTICULAÇÃO DE UM VERTEBRADO

Cristina Bertoni-Machado

OBJETIVO

Compreender a sequência de desarticulação em um vertebrado, a partir da anatomia de esqueletos de diferentes tetrápodes que viveram no período Triássico.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos iniciais).

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O aluno deve ter familiaridade com a anatomia do esqueleto de um vertebrado, e condições de identificar os diferentes ossos do corpo. Recomenda-se ao professor a trabalhar previamente com os alunos o capítulo **TAFONOMIA DE VERTEBRADOS: O ENIGMA DOS OSSOS.**

MATERIAL

Desenhos de esqueletos de tretrápodes (rincossauro, dinossauro, discinodonte, cinodonte e rauissúquio) impressos em folha A4 **(Figura 1)**; lápis de cor (seis cores diferentes).

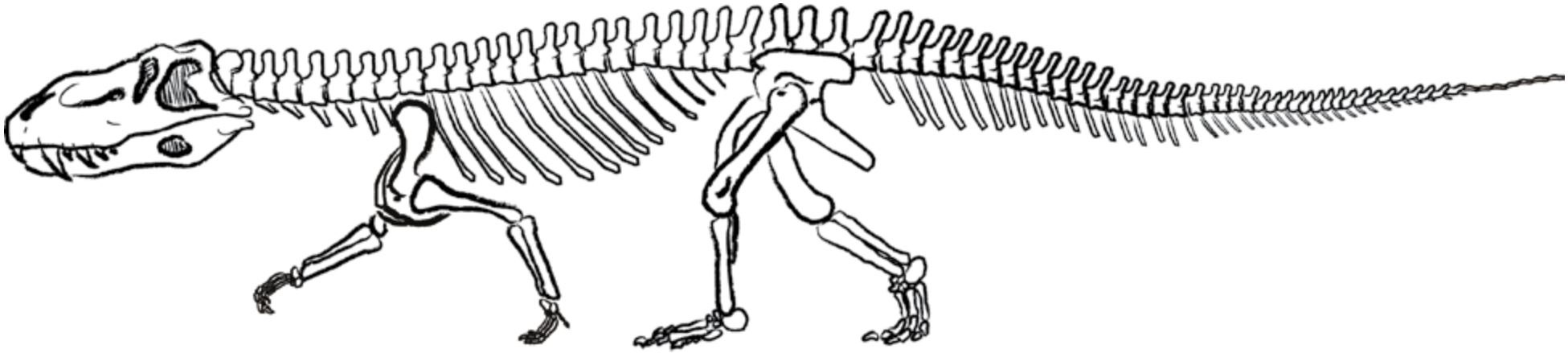


Figura 1. Esqueleto de arcossauro rauissúquio. Desenho: Voltaire Dutra P. Neto.

PROCEDIMENTO

1) Colorir, com seis cores diferentes, os conjuntos de ossos que se desarticulam conforme cada etapa da sequencia de desarticulação proposta por Toots (1965), que segue a seguinte ordem:

1º) Desconexão do crânio da coluna vertebral;
2º) Desencaixe da mandíbula;
3º) Desconexão das cinturas pélvica e escapular;
4º) Desarticulação dos membros em ossos isolados;
5º) Desencaixe das costelas;
6º) Desarticulação da coluna vertebral.

2) Fazer uma legenda indicando a etapa de desarticulação representada por cada cor. Exemplo: azul= etapa 1; verde = etapa 2, etc.

REFERÊNCIA

TOOTS, H. 1965. Sequence of disarticulation in mammalian skeletons. Contributions to Biology, v.4, n.1, p.37-39.

INTEMPERISMO EM OSSOS

Cristina Bertoni-Machado

Como visto no capítulo **TAFONOMIA DE VERTEBRADOS: O ENIGMA DOS OSSOS**, os ossos que ficam expostos na superfície sofrem com o intemperismo, o processo físico-químico que afeta a estrutura óssea, fazendo com que estes sejam danificados ou até mesmo totalmente destruídos antes de serem soterrados. A proposta desta atividade é acompanhar, ao longo de seis meses, alguns ossos expostos no ambiente e, ao fim do período, observar o que aconteceu com eles.

OBJETIVO

Tentar reproduzir, em menor escala, os efeitos do intemperismo sobre os ossos.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Grupos de quatro alunos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Dois trimestres.

MATERIAL

Alicate; 12 metros de arame; 12 estacas de madeira de 40 cm de altura cada uma; ossos diversos de vertebrados.

Figura 1. Esqueleto desarticulado de galinha. Fonte: http://www.skullsunlimited.com/record_species.php?id=3809

PROCEDIMENTO

No pátio da escola, construir três cercados de arame de 1m^2 cada, num lugar que fique exposto à chuva e ao sol e que, de preferência, apresente grama ou solo. Não pode ser uma área coberta por cimento.

Obter ossos isolados de diferentes vertebrados, como peixe, galinha e boi, devidamente limpos e sem restos de carne e gordura, Exemplo, costelas, ossos longos, como fêmur e úmero, vértebras, e, se possível, crânios **(Figura 1)**.

No cercado 1, colocar as costelas dos diferentes animais.

No cercado 2, colocar os fêmures e/ou úmeros e, por fim, no cercado 3, os crânios. Deixar os ossos dentro destes cercados, expostos à intempérie, por no mínimo, 3 meses. Após este período, observar se houve alterações na superfície dos ossos. Fazer a mesma observação quando completar quatro meses, 5 meses e 6 meses. Tirar fotografias dos ossos em cada uma das etapas (etapa 1 = 1º dia; etapa 2 = 45 dias; etapa 3 = 3 meses, etapa 4 = 5 meses e, por fim, etapa 5 = 6 meses).

Anotar todas as características possíveis de observar em cada um dos ossos nestes períodos. Fazer um pequeno relatório, descrevendo as mudanças que ocorrem nos ossos ao longo do tempo.

TAFONOMIA EXPERIMENTAL: TRANSPORTE

Cristina Bertoni-Machado

OBJETIVO

Através de uma atividade experimental, em pequena escala, simular o potencial de transporte hidráulico dos diferentes tipos de ossos.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio.

MODALIDADE

Grupos de cinco alunos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

60 minutos.

MATERIAL

Lona preta; mangueira; sabão em pó; massa de modelar; latas de refrigerante cheias de areia; pedaços de cano PVC de 10, 15 e 20 cm, com as aberturas fechadas, mas sem areia dentro; tampinhas de refrigerante e lacres de latinhas de refrigerante. **Atividade** impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

1) Encher as latinhas com areia e fechar a abertura com massa de modelar, para que a areia não escape.
2) Tampar as bordas dos canos com massa de modelar apenas para a água não passar por dentro deles.
3) Esticar a lona no pátio da escola e colocar um pouco de sabão em pó sobre a lona, para que esta fique mais escorregadia.

4) Dispor os materiais (latinhas com areia, canos de PVC, tampinhas e lacres de latinhas), uns ao lado dos outros numa margem da lona e, com um jato forte de mangueira, ver quais são transportados para mais longe.

Identificar os materiais pertencentes a cada um dos Grupos de Voorhies (ver tabela ao lado adaptada de Voorhies, 1969) e responder o que se pede:

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1) Classificar os objetos como alóctones ou autóctones.

2) Por que uns objetos foram mais transportados que outros?

3) Qual a relação deste experimento com o transporte de ossos no ambiente natural? Fazer uma comparação com base nos Grupos de Voorhies.

4) Por que, para as reconstituições paleoambientais, é importante o entendimento de que um fóssil foi transportado?

GRUPO	ELEMENTOS
I **Muito transportado;** **Alóctone**	falanges, ulnas, rádios, esterno, tarsais, carpais e vértebras
II **Transportado;** **Alóctone**	úmero, fêmur, costelas
III **Menos transportado;** **Autóctone**	crânio, mandíbula e dentes

REFERÊNCIA

VOORHIES, M.R. 1969. Taphonomy and population dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska. University of Wyoming, Contributions to Geology, Special Paper no. 1, 69 p.

TAFONOGAME:
O JOGO DA FOSSILIZAÇÃO

Flávio Augusto Pretto
Voltaire Dutra Paes Neto
Andressa Paim
Cristina Bertoni-Machado

Tafonogame: o jogo da fossilização foi elaborado com o intuito de ilustrar os processos tafonômicos de uma maneira complementar à explanação teórica em sala de aula. A proposta consiste em um jogo de tabuleiro, no qual cada jogador assume o papel de um vertebrado extinto, percorrendo os processos bioestratinômicos e diagenéticos envolvidos na fossilização.

OBJETIVO

Demonstrar o longo processo de formação de um fóssil e os diversos fatores destrutivos que podem ser enfrentados pelos restos orgânicos durante a fossilização, evidenciando tanto a raridade implícita em cada espécime fóssil, quanto a relevância de cada exemplar como registro da história da vida.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

TEMPO EXECUÇÃO

30 minutos, em média, por partida.

MODALIDADE

Cinco participantes.

MATERIAL

Cinco **peões coloridos**; cada um representando um vertebrado fóssil **(Figura 1)**; **tabuleiro** do jogo **(Figura 2)**; **cinco peças de ossos extras**; **cinco esqueletos** contendo cinco partes cada **(Figura 3)**; **Glossário de Termos Tafonômicos**; dado de seis faces; tesoura.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

É recomendável a leitura prévia dos capítulos **TAFONOMIA: O QUE ESSES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI** e **TAFONOMIA DE VERTEBRADOS: O ENIGMA DOS OSSOS.** Além disso, os conceitos mais diretamente abordados no jogo podem ser consultados no Glossário de Termos Tafonômicos.

REGRAS DO JOGO

1) A turma deve ser dividida em grupos de cinco estudantes.
2) Cada jogador deve escolher um peão e as peças que ilustram o esqueleto do seu animal vertebrado (esqueleto contendo cinco partes).
3) Cada jogador deverá lançar o dado. Para começar o jogo, será necessário definir o "tipo de morte" que cada animal sofreu. Para isso, lança-se um dado: com um resultado par, o jogador inicia na casa "Morte Natural"; um resultado ímpar o faz começar na casa "Morte Catastrófica". Aquele que tirar o maior número iniciará o jogo.
4) Se começar na casa "Morte Catastrófica", o jogador tem direito a receber uma carta de ossos extra.
5) O jogo segue em sentido horário.
6) O jogo só termina quando todos completarem o trajeto ou perderem os seus ossos.
7) O vencedor será o jogador que conseguir completar o caminho com mais ossos "preservados". Os jogadores que perderem todos seus ossos ao longo do trajeto "perdem" o jogo, pois os esqueletos de seus vertebrados não "fossilizam". Há duas outras maneiras de se "perder" o jogo: sofrendo diagênese destrutiva (onde todos os ossos do jogador são destruídos); ou em uma situação em que o esqueleto não sofra soterramento (já que o soterramento é fundamental para a formação de um fóssil).

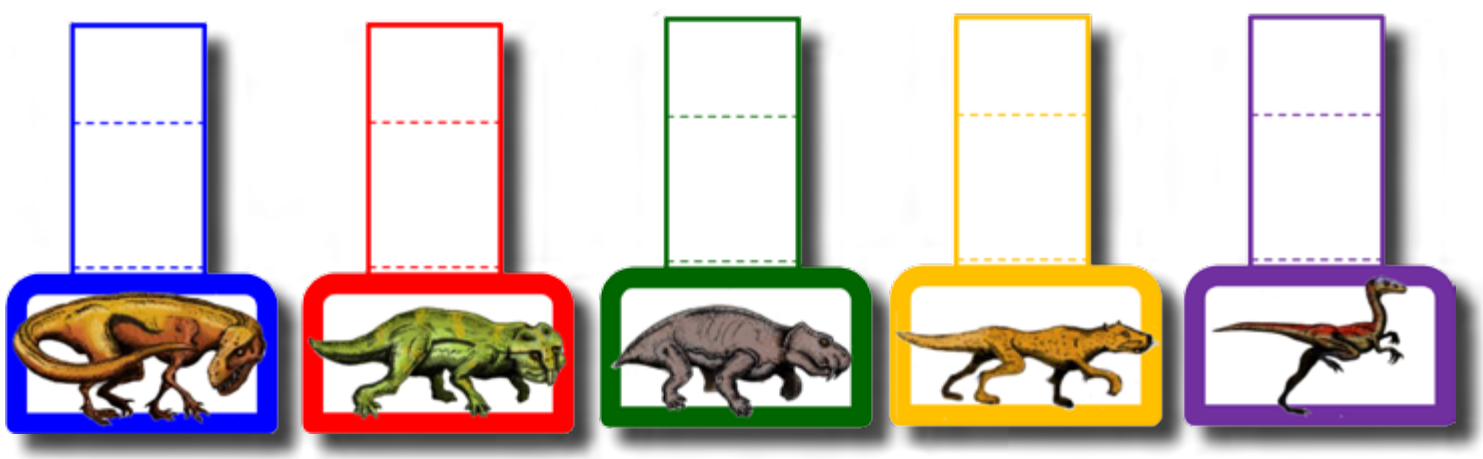


Figura 1. Peões coloridos do jogo.

Figura 2. Tabuleiro do Tafonogame.

Figura 3. Exemplos de peças do jogo.

ASSINATURAS TAFONÔMICAS EM VEGETAIS

Guilherme Arsego Roesler
Roberto Iannuzzi

OBJETIVO

Promover a familiarização das assinaturas tafonômicas relevantes para a Paleobotânica e aplicar estes conceitos como ferramenta para inferir o grau de transporte sofrido dos restos vegetais.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes de Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual ou grupos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MATERIAL

Restos vegetais provenientes de serapilheiras. **Atividade** impressa em folha A4 com a **Tabela 1**.

PROCEDIMENTO

Nesta atividade o professor deve solicitar aos alunos que coletem amostras de serapilheira (**Figura 1**), de preferência de vários órgãos vegetais distintos (caules, folhas, frutos, raízes) e com "aspecto" diferenciado.

Figura 1. Vista geral de uma serapilheira.

Tabela 1. Principais assinaturas tafonômicas encontradas em restos vegetais.

Tipos de resto		Grau de preservação		Disposição Espacial		Conexão das partes	
		Inteiro	fragmentado	vertical	horizontal	conectadas	não-conectadas
Folha	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
Ramo; Caule	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
Estróbilo; Pinha; Flor; Fruto	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
Raiz; Rizoma	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

1) Coletar amostras de vegetais em uma serapilheira.
2) Selecionar alguns restos vegetais e separá-los nas seguintes categorias: folhas, ramos/caules, estróbilo/pinha/flor/fruto, raiz/rizoma. Devem ser selecionados pelos menos cinco espécimes de cada categoria, os quais devem ser numerados de 1 a 5.
3) Preencher a **tabela 1**, marcando com um X as assinaturas tafonômicas observadas (Grau de Preservação, Disposição Espacial, Conexão das Partes) em cada um dos restos selecionados.

Responda

1) Qual das categorias de restos vegetais observadas apresentou maior percentagem de dano? Qual seria a explicação para isso?
2) Qual das categorias de restos vegetais observadas apresentou maior percentagem de conexão entre as partes? Qual seria a explicação para isso?
3) Sobre a disposição espacial dos restos, estes se encontravam, na sua maioria, dispostos horizontal ou verticalmente?
4) Havia restos enterrados parcialmente ou todos estavam dispostos uns sobre os outros?
5) Com base nas assinaturas tafonômicas observadas, é possível dizer se o tempo decorrido para a formação da serapilheira foi curto (um dia) ou longo (de semanas a meses)? Justifique sua resposta.

REFERÊNCIAS

SPICER, R. A.1991. Plant Taphonomic Processes. In: P.A. ALLISON & D.E.G BRIGGS, D.E.G. (eds.) Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record. New York: Plenum Press, p. 71 - 113.
TAYLOR, T. N.; TAYLOR, E. L. & KRINGS, M. 2009. Paleobotany, The Biology and Evolution of Fossil Plants. 2nd ed., Academic Press Elsevier, Amsterdam.

MICROFÓSSEIS E SEUS PALEOAMBIENTES

Geise de Santana dos Anjos Zerfass

OBJETIVO

Relacionar os microfósseis com seus respectivos ambientes, com base nas características ecológicas dos mesmos.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MATERIAL

Figuras de três blocos-diagrama e de amostras fósseis; **quadro** para identificação dos microfósseis.

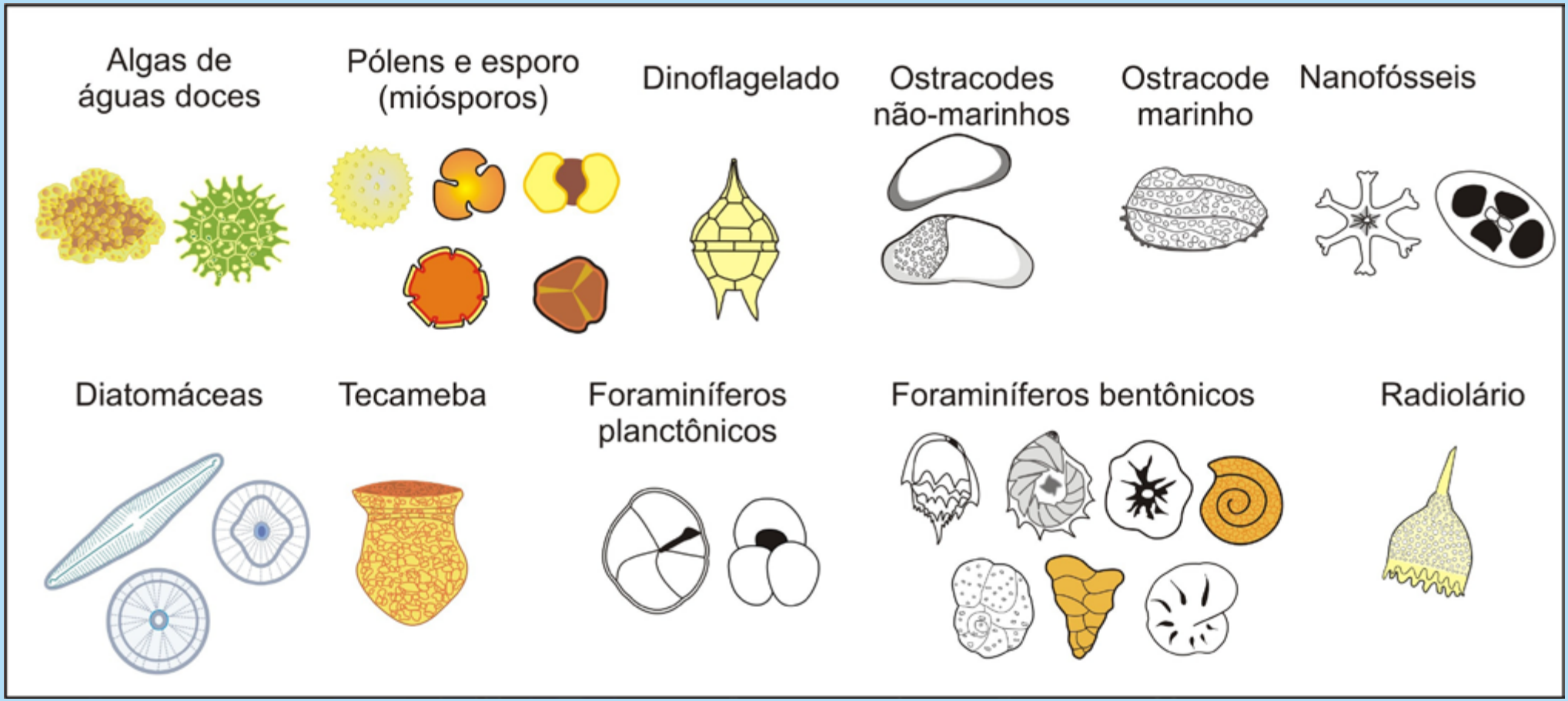
PROCEDIMENTO

1) Observar as figuras dos três blocos-diagrama que representam diferentes paleoambientes, com seus respectivos depósitos sedimentares. Os números indicam pontos onde foram coletadas amostras contendo microfósseis. As amostras estão ampliadas (indicado pela lupa) para que os microfósseis possam ser identificados.

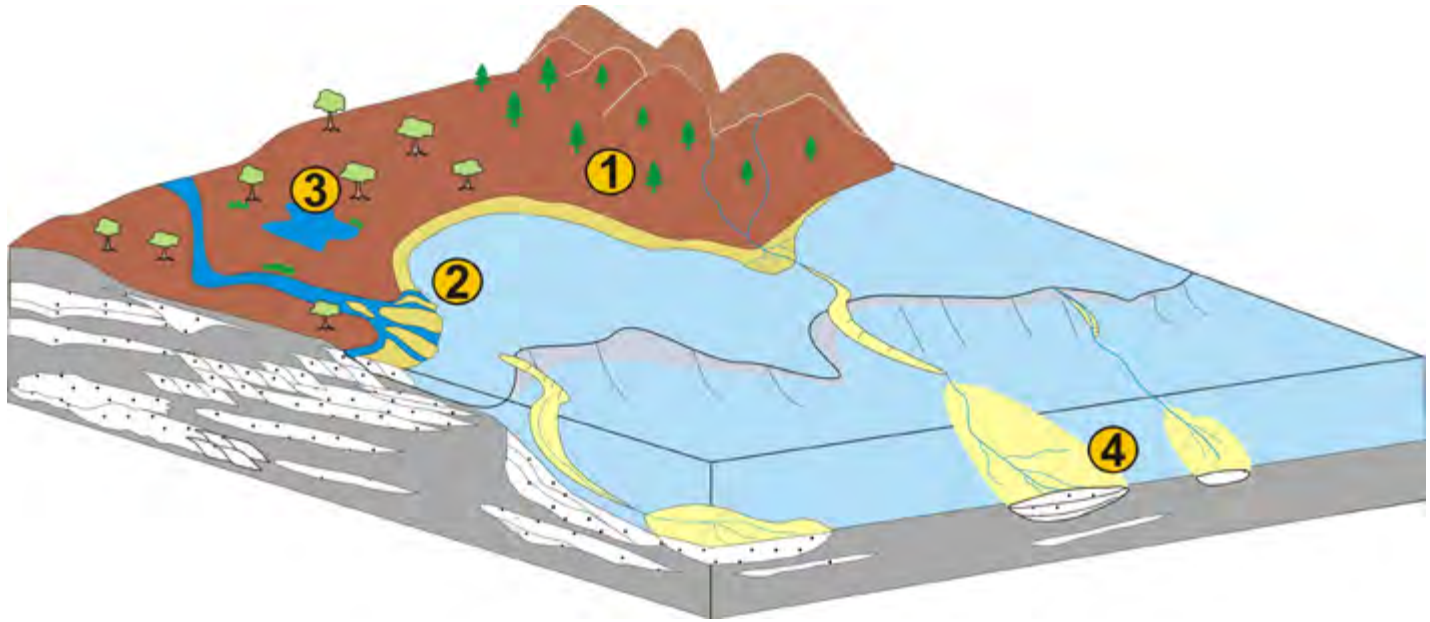
2) Relacionar cada amostra de microfósseis com seu respectivo ambiente, utilizando o quadro abaixo para identificação dos organismos.

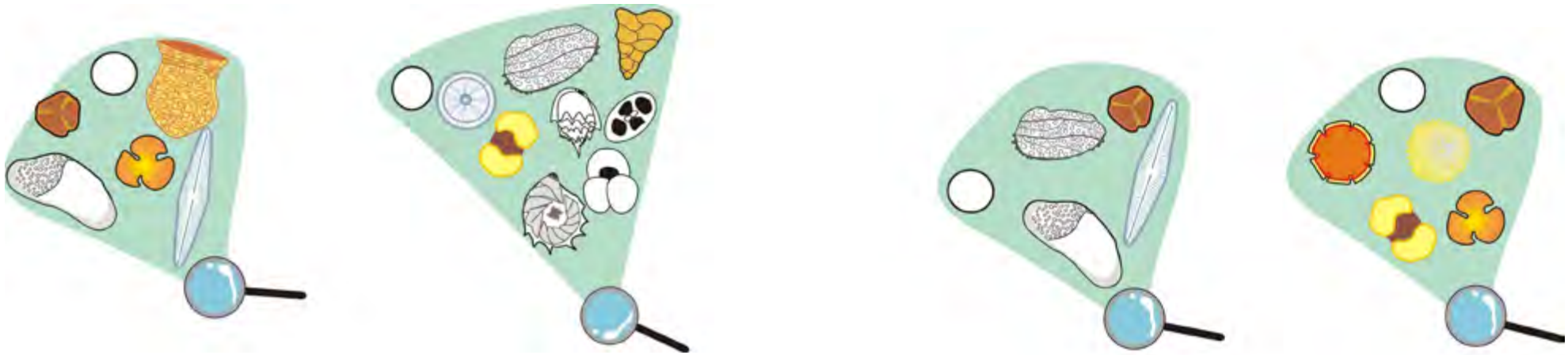
3) Escrever dentro da lente da lupa de cada amostra, o número correspondente ao ponto onde aquela associação de microfósseis foi encontrada.

Quadro para identificação dos microfósseis

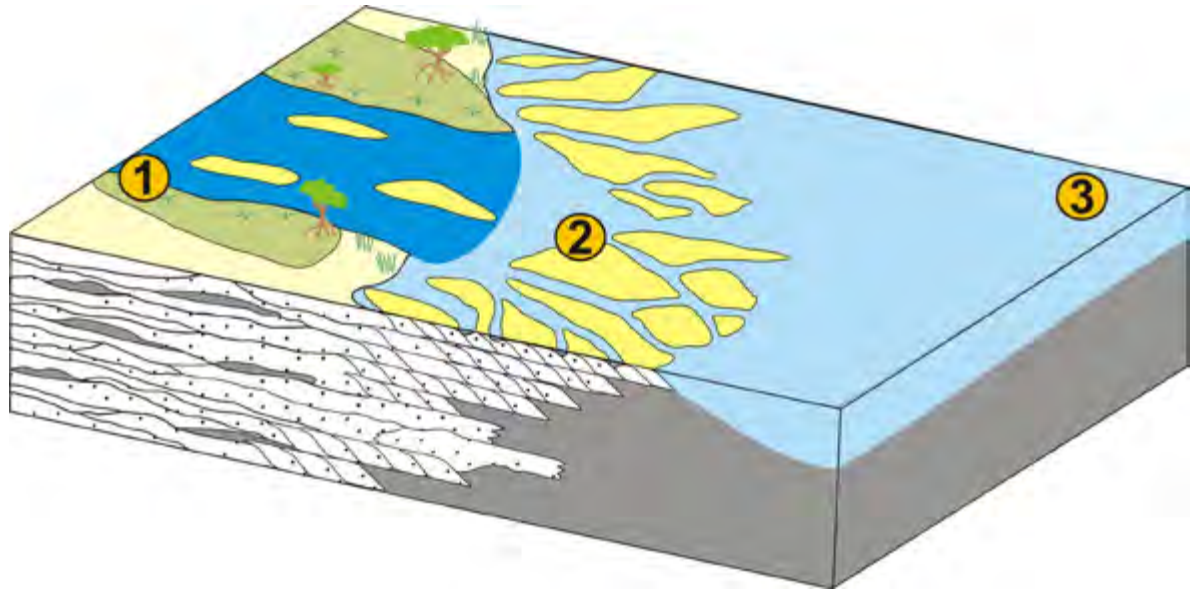


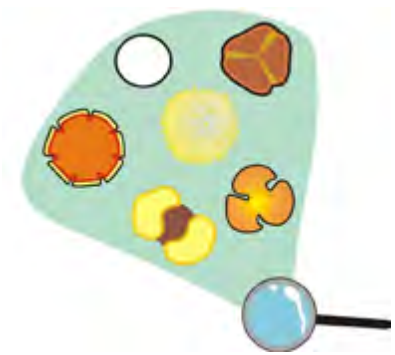
Blocodiagrama 1



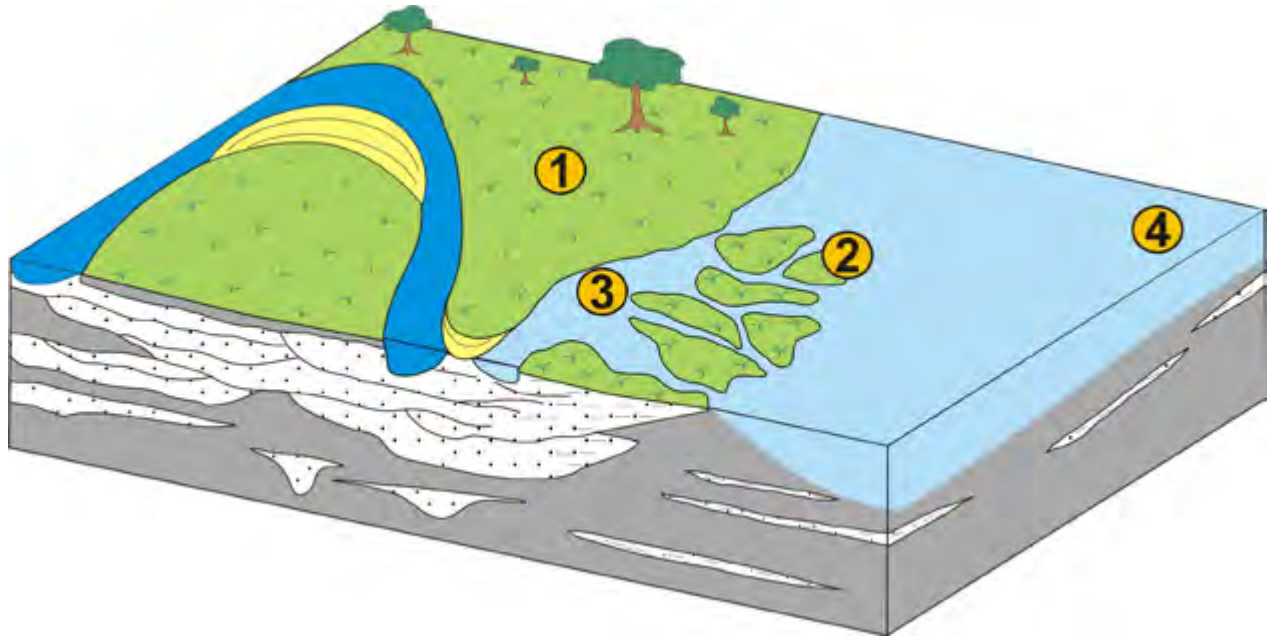


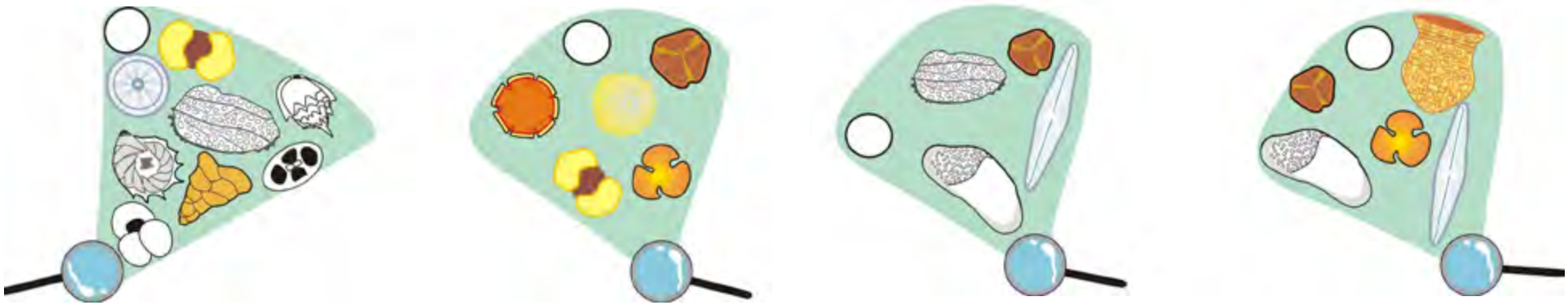
Blocodiagrama 2

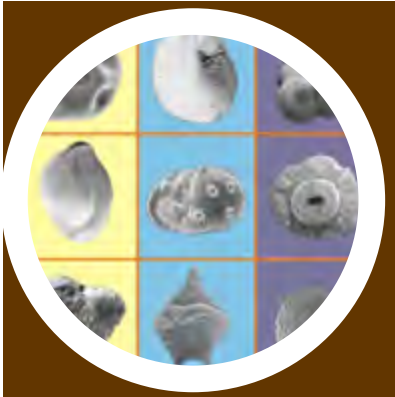




Blocodiagrama 3







MICROFÓSSEIS REVELANDO PALEOAMBIENTES

Geise de Santana dos Anjos Zerfass

OBJETIVO

Relacionar os microfósseis a seus respectivos ambientes, com base em suas características ecológicas e levando em consideração as suas associações.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MATERIAL

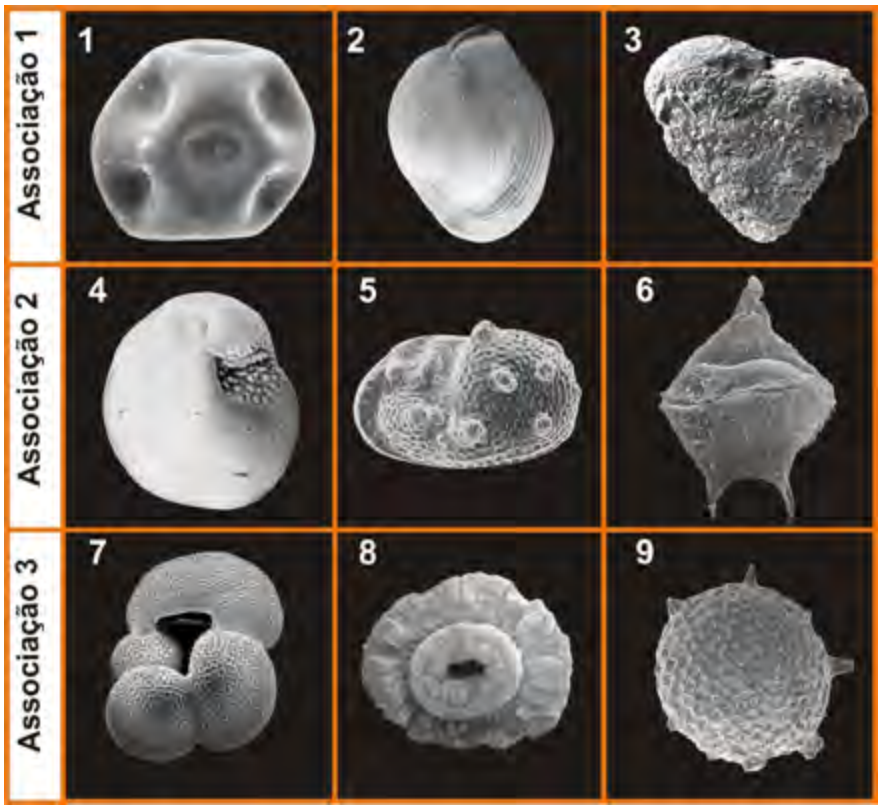
Quadro com fotografias ampliadas de microfósseis **(quadro 1)**; **quadro de ambientes** onde microfósseis podem ser encontrados **(quadro 2)**; tesoura; cola.

PROCEDIMENTO

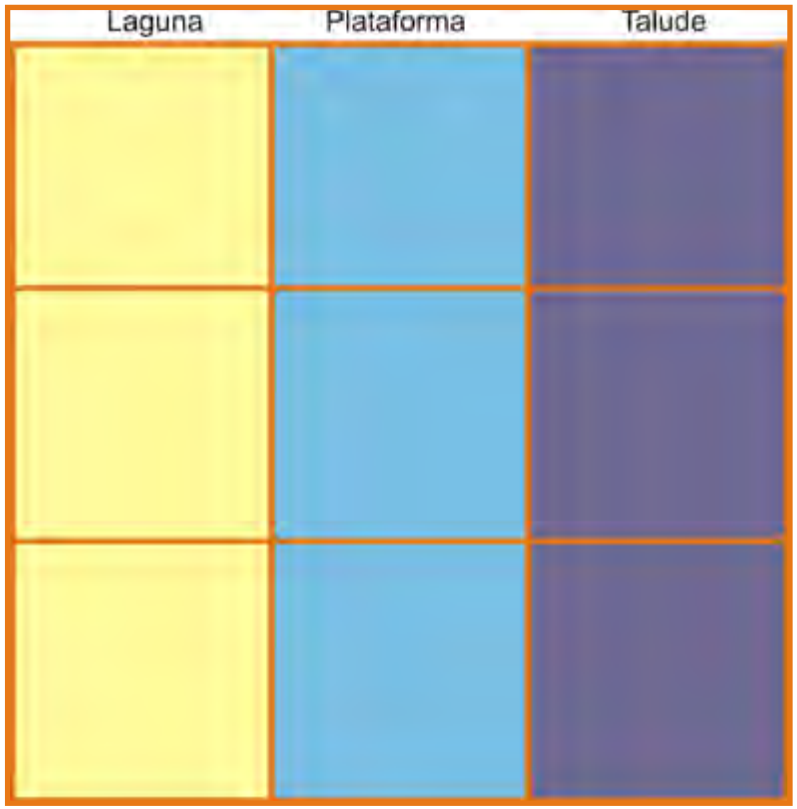
1) Recortar os microfósseis do **quadro 1** e colar nos campos do **quadro 2**, relacionando-os corretamente aos seus ambientes de vida.

2) Justificar a relação obtida entre as associações de microfósseis e os ambientes inferidos para estas.

Quadro 1. Fotografias mostrando três associações de diferentes microfósseis.



Quadro 2. Ambientes onde microfósseis podem ser encontrados.



Legenda

1. Pólen
2. Foraminífero bentônico (calcário porcelanoso)
3. Foraminífero aglutinante
4. Foraminífero bentônico (calcário hialino)
6. Dinoflagelado
7. Foraminífero planctônico
8. Nanofóssil
9. Radiolário

JOGO PALEONTOLÓGICA

Gabriel Oliveira Rocha
Filipe de Castro Seixas
Adriano Oliveira Fahel
Diego Sales Argollo
Simone Souza de Moraes

PaleontoLógica é um jogo de tabuleiro desenvolvido para estimular o uso de conhecimentos de Paleoecologia e de raciocínio interpretativo para descobrir dois paleoambientes e suas condições físico-químicas a partir das características ecológicas de sua biota.

O tabuleiro representa o campus de Ondina da Universidade Federal da Bahia do qual foram destacados os Institutos de Biologia, Geociências e Química e a Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, porém o mesmo pode ser adaptado para o espaço escolar, possibilitando a realização de outras atividades como, por exemplo, gincanas.

OBJETIVO

O objetivo do jogo é descobrir como são os paleoambientes e descrever suas condições físico-químicas através das características dos organismos. Para isso, as equipes deverão percorrer o tabuleiro em busca de pistas sobre a fauna, a flora e os microorganismos, inter-relacionar as informações coletadas e estruturar uma resposta objetiva que reconstitua os paleoambientes com o máximo de características possíveis. Desse modo, o jogo estimula os participantes a desenvolver habilidades argumentativas; a trabalhar em equipe; a relacionar as características dos seres vivos com as condições de seu ambiente; e, principalmente, a entender como é feita a reconstrução de um paleoambiente. A perspectiva é contribuir com o ensino de Biologia, relacionando conceitos de Ecologia e Paleontologia em sala de aula.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (9º ano) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Mínimo de duas equipes com pelo menos três e, no máximo, oito integrantes. Não há limite para o número de equipes a serem formadas.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O recurso possibilita discutir em sala de aula conhecimentos de Ecologia e Paleoecologia mesmo que estes ainda não tenham sido abordados. Todavia, para tornar a discussão final da atividade mais proveitosa, recomenda-se que os temas (a) características do ambiente marinho, como topografia, fatores abióticos, fauna e flora **(ver capítulo A PALEOECOLOGIA ATRAVÉS DOS MICROFÓSSEIS)**; (b) os principais grupos de procariontes, protozoários e animais; e (c) conceitos básicos de Paleontologia, tais como fósseis, processos de fossilização e paleoambientes **(ver capítulos FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO e TAFONOMIA: O QUE TODOS ESTES FÓSSEIS ESTÃO FAZENDO AQUI?)** tenham sido apresentados anteriormente aos estudantes, ainda que de forma breve.

MATERIAL

Além de um mediador (um monitor ou o professor) para conduzir a atividade e sanar dúvidas das equipes em relação à atividade, são necessários, para cada equipe, os materiais elencados abaixo:

Um **tabuleiro colorido** **(Figura 1)** de tamanho 60x50cm; dois **Paleotermos** **(Figura 2)** (glossários com termos da Paleontologia e da Biologia presentes no jogo); um **gabarito e 22 cartas** **(Figura 3)** referentes ao primeiro paleoambiente; **um gabarito e 22 cartas** **(Figura 4)** referentes ao segundo paleoambiente; dois dados de seis lados; um pino para representar o grupo no próprio tabuleiro; papel e caneta para um representante de cada grupo (que será responsável por registrar as informações coletadas e redigir a resposta final após a discussão do grupo).

REGRAS DO JOGO

Preparação

1) As equipes serão compostas por 3 a 8 integrantes.
2) O moderador (professor ou monitor) escolherá um dos dois paleoambientes para ser interpretado na rodada. Posteriormente, cada equipe receberá o material do jogo (exceto o gabarito).
3) O moderador deverá embaralhar as "Cartas informativas" e colocá-las ao lado do tabuleiro. Das seis cartas informativas de cada paleoambiente, três possuem dicas de especialistas, então as equipes deverão se dirigir aos institutos indicados nelas para a obtenção destas pistas. Já as demais cartas possuem apenas informações que deverão ser interpretadas com a ajuda dos Paleotermos e discussão em grupo.
4) O moderador distribuirá as 16 cartas respostas do "Especialista" nos seus respectivos institutos (conforme sua cor) com a face voltada para baixo. Nestas pilhas estarão cartas com dicas que auxiliam na reconstrução do paleoambiente, mas também há cartas

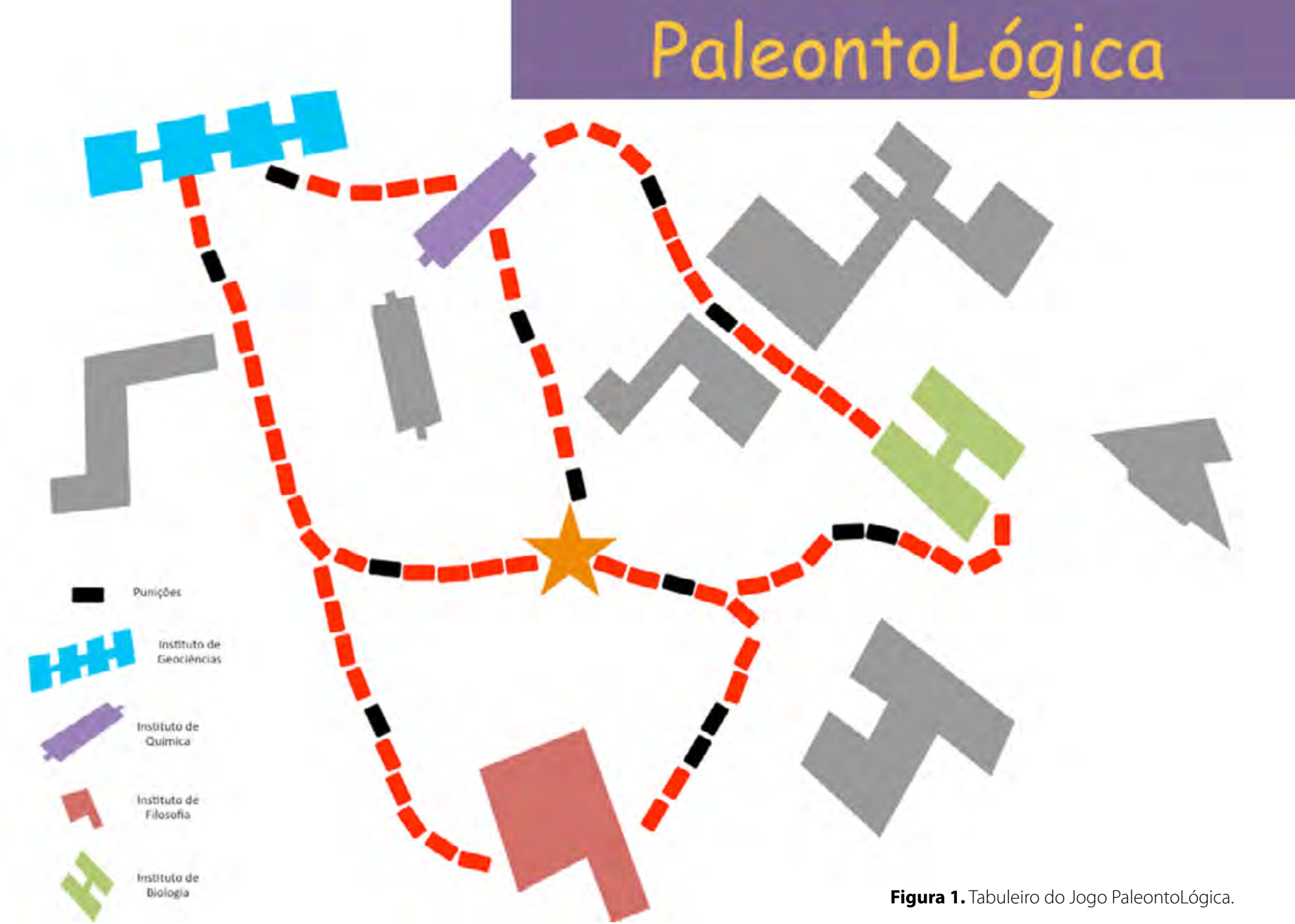


Figura 1. Tabuleiro do Jogo PaleontoLógica.

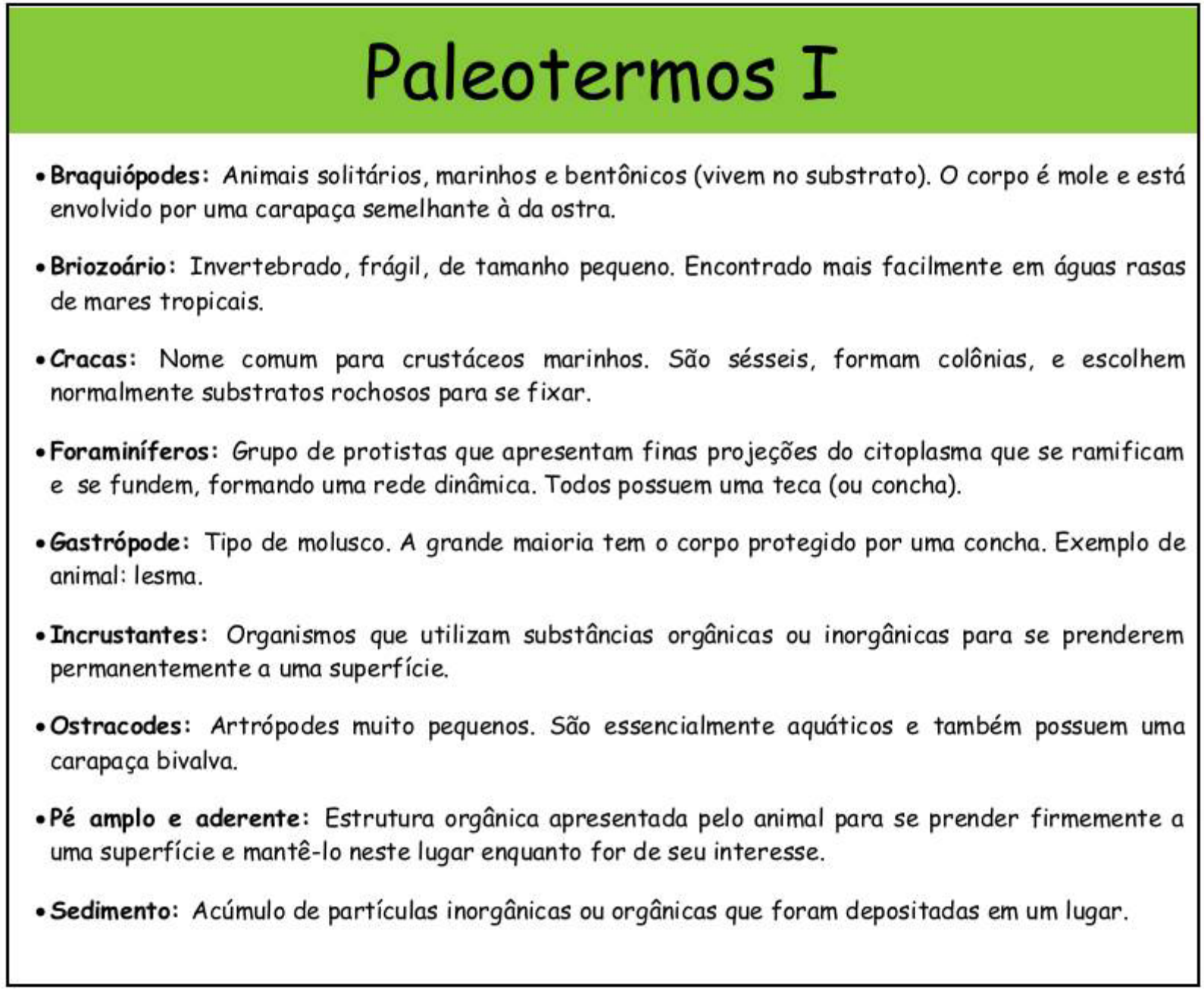


Figura 2. Exemplo de Paleotermos do Jogo PaleontoLógica.

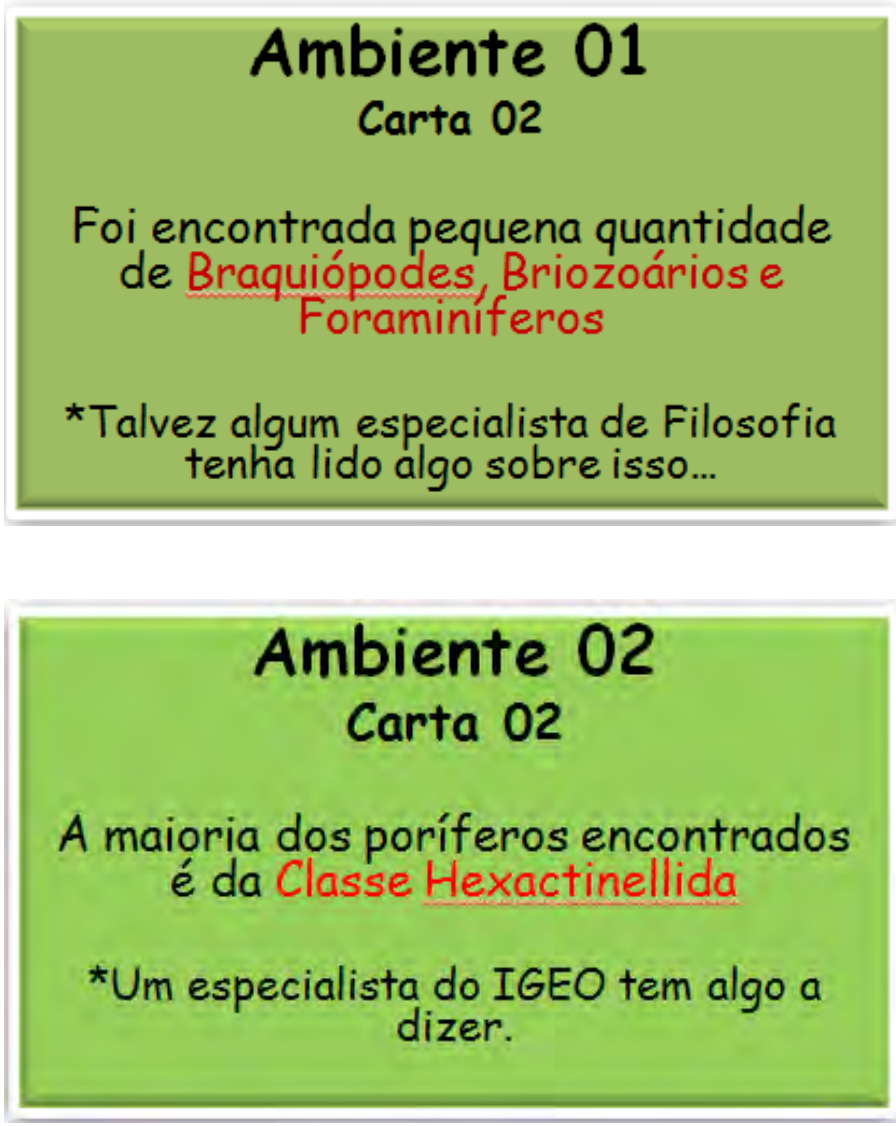


Figura 3. Exemplos de cartas dos Paleoambientes do Jogo PaleontoLógica.

"Embromation", cuja função é atrasar as equipes; e cartas "Forca" que contêm informações importantes, mas a obtenção da resposta exige algum tempo, por isso caberá à equipe decidir se irá resolver a charada.

5) Todas as equipes jogarão ao mesmo tempo e um representante de cada grupo anotará as pistas no papel. Para isso, os pinos que representam as equipes deverão ser posicionados na estrela colorida no centro do tabuleiro e a movimentação destes será feita de acordo com os números sorteados no dado, porém cada equipe poderá escolher separadamente para qual instituto deseja ir primeiro e qual o caminho que irá percorrer.

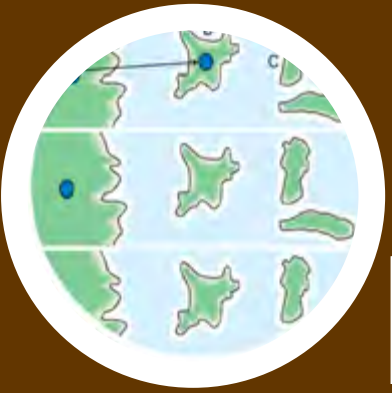
6) Antes de iniciar o jogo, o moderador informará o tempo máximo para a interpretação de cada paleoambiente, incluindo a elaboração da resposta da equipe, e estabelecerá as punições (Ex: ficar um minuto preso na casa; ficar sem um integrante por três minutos, etc.) que serão aplicadas sempre que o pino parar em uma das casas pretas do tabuleiro. Todavia, se houver apenas um moderador para mais do que três equipes, a dinâmica do jogo no tabuleiro poderá ser suprimida. Neste caso, em voz alta e na sequência numérica, o moderador fará a leitura das cartas informativas para todas as equipes e informará as dicas dos especialistas. Caso haja mediadores disponíveis, mas o tempo disponível para o jogo for curto (menor que 30 minutos), é possível otimizar a partida, permitindo às equipes ir diretamente para o instituto buscar a dica do especialista quando isto for indicado pela carta informativa. Para ambas as situações, desaconselha-se a utilização das cartas "Forca".

Durante o Jogo

1) Ao sinal do moderador, cada equipe pegará a primeira carta informativa e, após leitura, discutirá a informação contida nela ou percorrerá o tabuleiro em direção aos institutos para conseguir dicas dos especialistas. Uma a uma, todas as cartas do especialista devem ser retiradas. Estes passos se repetirão até que a última das seis cartas informativas seja utilizada.
2) Quando uma equipe retirar a carta "Forca" e desejar realizar a atividade, o moderador deverá se dirigir até o grupo e realizá-la em silêncio. A equipe terá quatro chances para acertar a palavra oculta na forca. Desse modo, o primeiro componente dirá uma letra que ele acredita que componha a palavra. Se ele acertar, outro componente tentará uma nova letra, e assim por diante, até a quarta tentativa. Em caso de erro, o moderador desenhará o corpo do "enforcado" começando pela cabeça, seguida pelo tronco, dois braços e, por fim, as duas pernas. Assim que a equipe achar que já sabe a resposta, ela poderá ganhar tempo dizendo-a diretamente, porém, se errar, o corpo será desenhado completo, encerrando as tentativas para esta carta. Dessa maneira, a equipe deverá continuar o jogo sem esta informação. Se mais de uma equipe retirar a carta "Forca" ao mesmo tempo, o moderador irá realizar a atividade com a equipe que primeiro solicitar.
3) Quando as seis cartas informativas forem finalizadas, a equipe deverá discutir as informações compiladas e elaborar um gabarito com as características físico-químicas do paleoambiente, além de outras que julgar pertinente.
4) Concluída a interpretação do primeiro ambiente, e caso haja tempo para continuar o jogo, o moderador organizará as 22 cartas do segundo paleoambiente e a equipe repetirá os passos listados acima para interpretá-lo.

Finalizando o Jogo

1) O moderador recolherá as respostas e se encarregará de analisar, juntamente com as equipes, o grau de verossimilhança entre as interpretações delas e o gabarito do paleoambiente;
2) A equipe vencedora será aquela que realizar as interpretações mais completas e corretas.



51

PALEOBIOGEOGRAFIA E ESPECIAÇÃO

Marina Bento Soares

OBJETIVO

Esclarecer a história paleobiogeográfica de uma família de lagartos colonizadora de ilhas, através da elaboração e análise de cladogramas.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

TEMPO DE EXECUÇÃO

50 minutos.

MODALIDADE

Individual.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

INTRODUÇÃO

Ilhas, devido ao seu isolamento geográfico, propiciam o fenômeno da especiação, pois, através do tempo, as populações colonizadoras tornam-se geneticamente divergentes da população progenitora devido à mutação e/ou deriva genética e seleção natural.

Ilhas vulcânicas são, particularmente, bons laboratórios para o estudo da evolução porque elas podem ser datadas com precisão através de datação radiométrica, e porque elas se iniciaram como massas de rocha emersas dos oceanos, desprovidas de vida. A sucessão ecológica em uma ilha vulcânica ocorre primeiro com os

organismos pioneiros que, gradualmente, alteram o ambiente até que uma comunidade clímax estável é estabelecida.
Anfíbios, répteis, mamíferos e, mesmo artrópodes, chegam, em geral, nas ilhas sobre balsas de vegetação (rafting). Estas balsas naturais são frequentemente carregadas para o mar quando os altos níveis dos rios causam desmoronamento nas suas margens. As balsas carregam tanto plantas quanto animais agarrados à vegetação. Colonização por organismos aéreos como insetos e aves ocorre normalmente durante tempestades. Em quaisquer dos casos, há alguns princípios para a colonização de ilhas: 1) Quanto mais próxima uma ilha estiver de outra massa de terra, maior a probabilidade de sua colonização; 2) Quanto mais antiga uma ilha for, maior a probabilidade de ter sido colonizada; 3) Quanto maior uma ilha, maior a probabilidade do estabelecimento de diferentes espécies (Texto adaptado de Filson, R. Island Biogeography and Evolution: solving a phylogenetic puzzle with molecular genetics, disponível em http://www.accessexcellence.org/AE/AEPC/WWC/1995/simulation_island.php)

PRODEDIMENTO

A **figura 1** mostra diferentes populações de uma família hipotética de lagartos (Lagartidae) que colonizou ilhas vulcânicas (B, C, D) em uma área geográfica ao longo dos últimos 500.00 anos. Parte-se do princípio que os primeiros lagartos (Lagartus rombicus) chegaram à primeira ilha a partir do continente (A), a bordo de balsas de vegetação.
Datações radiométricas indicam que a ilha B foi formada há 700.000 anos, a ilha C, há 600.000 anos, e a ilha D, há 550.000 anos.

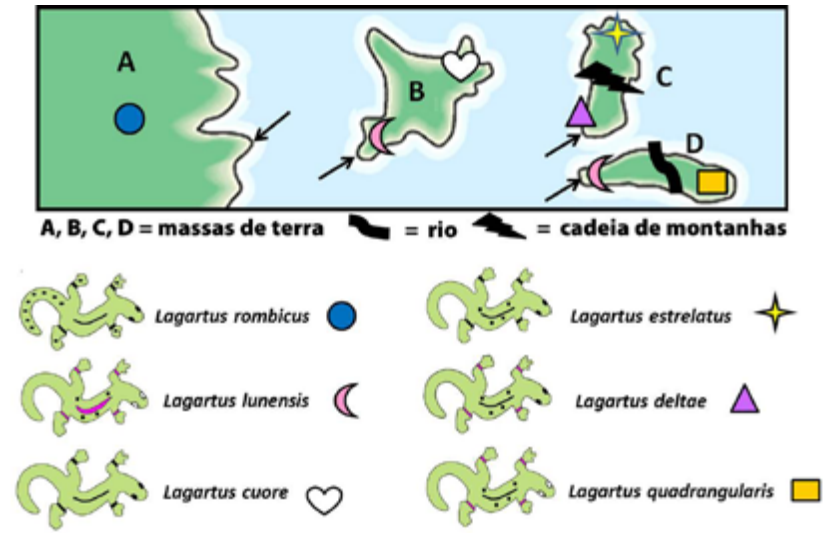


Figura 1. Distribuição paleobiogeográfica dos membros da família Lagartidae.

Parte 1. Filogenia baseada na distância geográfica

1) Usando a **figura 1**, medir a distância em quilômetros de cada ilha (B, C, D) em relação ao continente (A). Medir do ponto indicado pela seta no continente, até a margem mais próxima de cada ilha em relação ao continente (marcadas pelas setas). Conversão: cada 1 cm equivale a 100 Km.

2) Qual foi, provavelmente, a ordem de colonização das ilhas, iniciada pela espécie Lagartus rombicus? Justifique sua resposta com base nos princípios básicos para a colonização de ilhas (ver texto introdutório).

3) Com base na sequência de colonização das ilhas inferida por você, desenhe um cladograma de área hipotético. Nos termos do cladograma, coloque os nomes (letras) das massas de terra (continente e ilhas). Denomine o cladograma de área de Cladograma 1.

4) Com base no seu cladograma de área e nas informações fornecidas pela figura 1, faça um novo cladograma para as espécies do gênero Lagartus, substituindo o nome das massas de terra (A, B, C, D) pelo nome das espécies. Denomine este segundo cladograma de Cladograma 2.

Parte 2. Filogenia baseada na morfologia

Abaixo é mostrada uma matriz de caracteres baseada em dados morfológicos das populações e subpopulações de lagartos (0 = estado primitivo; 1 = estado derivado).

Caracteres	*Lagartus rombicus*	*Lagartus deltae*	*Lagartus lunenis*	*Lagartus cuore*	*Lagartus quadranguiaris*	*Lagartus estrelatus*
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	1	0	1	0
3	0	1	1	0	1	1
4	0	1	1	1	1	1
5	0	0	1	0	0	0

5) Construa o cladograma que representa as relações de parentesco entre as espécies de lagartos. Denomine este cladograma de Cladograma 3.

6) Compare o seu Cladograma 2, obtido a partir do cladograma de área (Cladograma 1), com o seu Cladograma 3, obtido a partir dos dados morfológicos. A hipótese filogenética apresentada no Cladograma 2 se manteve consistente com a do Cladograma 3? Explique.

7) Com base no Cladograma 3, elabore uma nova hipótese para explicar a dispersão dos lagartos do gênero Lagartus aos longo das ilhas A, B e C. Utilize também as informações fornecidas pela figura 1. Para isso, nas figuras a seguir, você vai contar a sua história em 9 tempos (T 1 a T9). A figura relativa ao T1 já está feita como exemplo. Usar os símbolos que representam cada espécie de lagarto (conforme figura 1) e indicar os eventos de dispersão por meio de setas. Observe que em T4 surge uma cadeia de montanhas na ilha C e, em T7, surge um rio na ilha D.

8) Quantos eventos de especiação ocorreram ao longo da história de colonização das ilhas? Em que tempos (T1 a T9) eles ocorreram?

9) Para cada tempo assinalados na questão 8, indique se o evento que desencadeou o processo de especiação foi dispersão ou vicariância. Em caso de vicariância, apontar o tipo de barreira geográfica que se estabeleceu.

A
B
C
D
T1
T2
T3
T4
T5
T6
T7
T8
T9

52

CONSTRUINDO CLADOGRAMAS DE ÁREA

Marina Bento Soares
Voltaire Dutra Paes Neto

Esta atividade visa a uma familiarização com a metodologia básica para construção de Cladogramas de Área. Esta metodologia é empregada na (Paleo)Bigeografia Cladística, que se baseia em: (1) construir cladogramas de grupos monofiléticos (naturais) que ocorram em pelo menos três áreas geográficas diferentes; (2) substituir os nomes dos táxons terminais pelos nomes das áreas em que estes ocorrem, obtendo cladogramas de área; (3) sugerir processos para explicar o padrão biogeográfico observado no grupo. Para maiores informações, ver textos de Gallo & Figueiredo (2010) e Morrone (1997).

OBJETIVO

Apropriação da metodologia básica envolvida na construção de Cladogramas de Área.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MODALIDADE

Individual.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

PARTE 1

1) Um paleontólogo, estudando as características de quatro espécies (Táxons 1 a 4) de vertebrados fósseis de uma família hipotética, denominada Família I, obteve a seguinte matriz de dados baseada em caracteres morfológicos:
Desenhe o cladograma que representa as relações de parentesco entre os táxons da Família I.

2) Estes quatro táxons da Família I foram registrados em um conjunto de quatro ilhas de origem vulcânica (A, B, C, D), conforme o quadro abaixo.

	ESTADOS DOS CARACTERES				
CARACTERES	Grupo externo	Táxon 1	Táxon 2	Táxon 3	Táxon 4
1	0	1	1	1	1
2	0	0	1	1	1
3	0	0	0	1	1

Com base no seu cladograma filogenético, desenhe um cladograma de área que represente a história geológica da referida região. Para isso, você vai assumir que cada evento de fragmentação é correspondente a um evento de especiação (cladogênese, bifurcação). Assim, o número de nós do seu cladograma vai corresponder ao número de eventos de fragmentação das ilhas. Nos termos do cladograma, ao invés de escrever os nomes dos táxons, como em um cladograma baseado em dados morfológicos, você vai escrever os nomes das ilhas (A, B, C, D). Parta do princípio de que as quatro ilhas eram, originalmente, partes de uma massa de terra maior, a qual foi fragmentada devido a uma série de eventos tectônicos.

	ÁREA GEOGRÁFICA			
	A	B	C	D
Família I	Táxon 1	Táxon 2	Táxon 3	Táxon 4

3) De acordo com o seu cladograma de área, reconstrua, na forma de um desenho, a história geológica das quatro ilhas em 6 tempos (T1 a T6), ilustrando os eventos de fragmentação ocorridos. Para fazer o desenho, siga o exemplo abaixo **(Figura 1)**, referente ao Tempo 1, que mostra o primeiro evento de fragmentação da área original, formando as área A e B.

4) A história paleobiogeográfica da Família I pode ser explicada por dispersão ou vicariância?

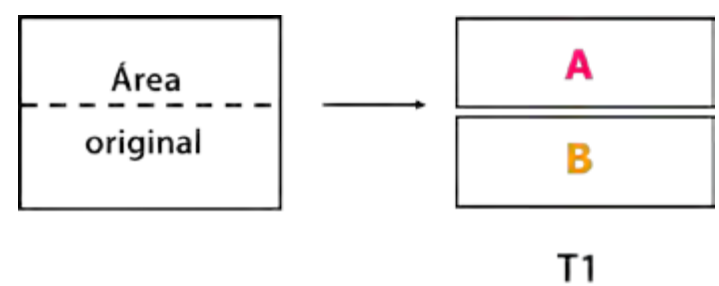


Figura 1. Fragmentação de área geográfica original, no tempo 1 (T1), em duas partes: A e B.

PARTE 2

Agora você vai aplicar a paleobiogeografia cladística em um caso real, o da Família Carcharodontosauridae. Esta família de dinossauros terópodes está inserida dentro do Clado Allosauroidea, um grupo monofilético de grandes carnívoros que viveram durante a Era Mesozoica. Fósseis de carcarodontosaurídeos são registrados em rochas do período Cretáceo.

Acrocanthosaurus viveu na América do Norte, *Carcharodontosaurus* era um táxon endêmico da África, e *Giganotosaurus* só foi registrado na América do Sul.

Estudos paleobiogeográficos e filogenéticos revelaram que a fragmentação do supercontinente Pangea deve ter tido um papel fundamental na geração do padrão de especiação observado nos carcarodontosaurídeos. Assume-se que o ancestral hipotético do grupo era um alossauro amplamente distribuído pelo Pangea, antes da fragmentação deste supercontinente **(Figura 2)**.

Na **figura 3** está o cladograma que mostra as relações de parentesco (filogenéticas) entre três táxons de carcarodontosaurídeos, *Acrocanthosaurus*, *Carcharadontosaurus* e *Giganotosaurus*, construído com base em características morfológicas dos esqueletos.

Figura 2. Mapa paleogeográfico mostrando o supercontinente Pangea, no período Triássico (220 milhões de anos atrás). AF = África; AN = América do Norte; AS = América do Sul. Modificado de: Paes Neto, 2013.

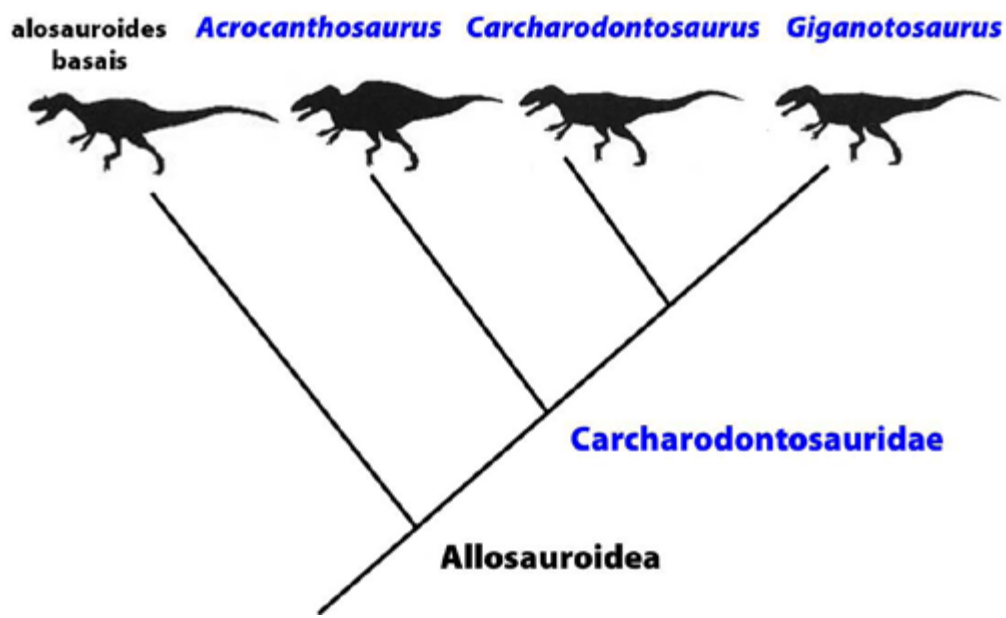


Figura 3. Relações filogenéticas de Allosauroidea, com ênfase na família Carcharodontosauridae. Modificado de Sereno, 1999.

1) Construa um cladograma de área que reflita a fragmentação do Pangea, substituindo o nome dos táxons no Cladograma da **figura 1** pelos nomes das massas de terra (África, América do Sul e América do Norte). Ao invés de alosauroides basais, escreva "Pangea".

2) Compare o seu cladograma de área com os mapas abaixo **(Figuras 4 e 5)**, que mostram a sequência de eventos de fragmentação do Pangea no Jurássico e no Cretáceo, verificando se a hipótese paleobiogeográfica do seu cladograma de área está coerente com a história paleogeográfica da Pangea. Justifique sua resposta.

Figura 4. Mapa paleogeográfico do Jurássico (150 milhões de anos atrás), mostrando a separação entre a América do Norte e o Gondwana (América do Sul, África, Austrália, Antártica e Índia). Legendas: AF = África; NA = América do Norte; AS = América do Sul. Mapa modificado de Paes Neto, 2013.

Figura 5. Mapa paleogeográfico do Cretáceo (90 milhões de anos atrás), mostrando a separação entre a América do Sul e a África. Legendas: AF = África; NA = América do Norte; AS = América do Sul. Mapa modificado de Paes Neto, 2013.

Responda

A história paleobiogeográfica dos carcarodontosaurídeos constitui um exemplo de especiação por Dispersão ou por Vicariância? Justifique sua resposta.

REFERÊNCIAS

GALLO V. & FIGUEIREDO, F. 2010. Paleobiogeografia. In: I.S. Carvalho (ed.), Paleontologia v. 1, 3ª ed., Rio de Janeiro: Interciência, p.351-368.

MORRONE, R. 1997. Biogeografía Cladística: conceptos básicos. Disponível em: http://www.academia.edu/1041652/Biogeografia_cladistica_Conceptos_basicos.

PAES NETO, V. D. 2013. Marcas de Insetos em vertebrados do Triássico do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Porto Alegre, Trabalho de Conclusão (Graduação), 99p.

SERENO, P. 1999.The evolution of dinosaurs. Science 284(5423):2137-2147.

OS DINOSSAUROS E A PANBIOGEOGRAFIA

Sérgio Dias da Silva

OBJETIVO

Elucidar a história paleobiogeográfica de três grupos de dinossauros no Jurássico, demonstrando se as suas distribuições geográficas podem ser explicadas pelos mesmos eventos históricos.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio e Superior (Graduação).

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

30 minutos.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Recomenda-se a leitura dos capítulos **PALEOBIOGEOGRAFIA: A DINÂMICA DA TERRA E DA VIDA** e **SIM, NÓS TEMOS DINOSSAUROS ... E MUITOS!**

PROCEDIMENTO

Esta atividade é baseada em ocorrências de três grupos de dinossauros, Allosauroidea, Carnosauria e Maniraptora. Os mapas da **figura 1** mostram a distribuição de cada um desses três grupos na Terra durante o Período Jurássico.

Com base na observação destes mapas, seguir os seguintes passos:

Figura 1. Mapas com a distribuição geográfica dos Allosauroidea, Carnosauria e Maniraptora durante o Jurássico, com base na ocorrência de fósseis.

1) No mapa grande do supercontinente Pangea **(Figura 2)** reproduzir, em três cores diferentes, os pontos referentes à ocorrência dos Allosauroidea, Carnosauria e Maniraptora.

2) Ligar os pontos, ou seja, marcar os traços individuais de cada grupo.

3) Verificar quais linhas coincidem (se sobrepõem, pelo menos de forma parcial, no mínimo em dois grupos) e traçar no mapa do Pangea, com caneta de cor diferente das já usadas, uma linha com os traços generalizados que representam a distribuição coincidente dos três grupos. Lembre-se que é imprescindível usar o princípio da menor distância para critério de união entre dois pontos.

Responder

1) A distribuição dos três grupos é contínua ou disjunta?

2) Em um ou outro caso, qual a possível explicação? Levar em conta dispersão e/ou vicariância para explicar o padrão encontrado.

Figura 2. Mapa do supercontinente Pangea. Modificado de http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pangea_continents_and_oceans.

DOENÇAS NOS FÓSSEIS E NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO

Jorge Ferigolo
Patrícia Rodrigues Braunn

A seguir apresentamos algumas atividades que contribuem para a discussão e aprofundamento dos conceitos propostos no capítulo **PALEOPATOLOGIA: ENTENDENDO AS DOENÇAS NOS FÓSSEIS E NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO.** Um dos principais objetivos deste trabalho é apresentar aos professores e alunos da Educação Básica, aspectos da ciência poucas vezes divulgados no cotidiano escolar, contribuindo para a melhoria da qualidade do ensino na área de Ciências da Natureza e, estimulando a difusão e popularização do conhecimento técnico-científico.

Por tratar-se de uma área tipicamente interdisciplinar, além de apresentar achados bastante interessantes para a Ciência, a paleopatologia oferece várias oportunidades de abordagem de conteúdos significativos para os alunos da Educação Básica, tanto aqueles trabalhados em Ciências no Ensino Fundamental e Biologia no Ensino Médio, quanto os de outras áreas, como História e Geografia.

54.1

BINGO PALEOPATOLÓGICO

Jorge Ferigolo
Patrícia Rodrigues Braunn

OBJETIVO

Identificar alterações ósseas e dentárias, relacionando-as às doenças que provavelmente as causaram.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Dez a quinze minutos em cada rodada do jogo.

MATERIAL

Cartela do bingo em papel A4 confeccionada pelos alunos **(Figura 1)**; fichas de papel ou plásticas para a marcação da cartela; **cartas com alterações ósseas ou dentárias (Figura 2)**.

PROCEDIMENTO

Em grupos de quatro alunos, cada jogador deverá confeccionar sua cartela do bingo em uma folha A4, dobrando-a, ao meio, três vezes consecutivas. Cada folha terá oito quadrados, os quais deverão ser preenchidos pelo aluno com oito doenças que ele mesmo escolheu a partir da Lista de Plaleopatogias e seus sinais:

LISTA DE PALEOPATOLOGIAS E SEUS SINAIS

1. Alterações senis
2. Anemia
3. Artrose
4. Cáries
5. Fratura
6. Hérnia de Schmorl
7. Hipoplasia de esmalte
8. Lesão periapical
9. Linhas de Harris
10. Osteomielite
11. Osteoporose
12. Periodontite

Ao terminar a elaboração de sua cartela, cada participante deverá confeccionar oito pequenas fichas de papel para marcar as doenças sorteadas presentes em sua cartela. Fichas plásticas de jogos de bingo também poderão ser utilizadas. O professor deverá imprimir e recortar as cartas com as alterações ósseas e dentárias para sorteio do bingo. Durante o jogo, uma carta deverá ser sorteada de cada vez e a alteração óssea/dentária deverá ser lida em voz alta para os alunos, que marcarão em suas cartelas a respectiva doença quando esta estiver presente. Cada equipe deverá discutir em voz baixa a resposta correta e procurá-la em uma de suas cartelas. Vence a equipe que preencher uma de suas cartelas primeiramente. O grupo deverá então ler as doenças da cartela e verificar com o restante da turma se a cartela foi corretamente marcada.

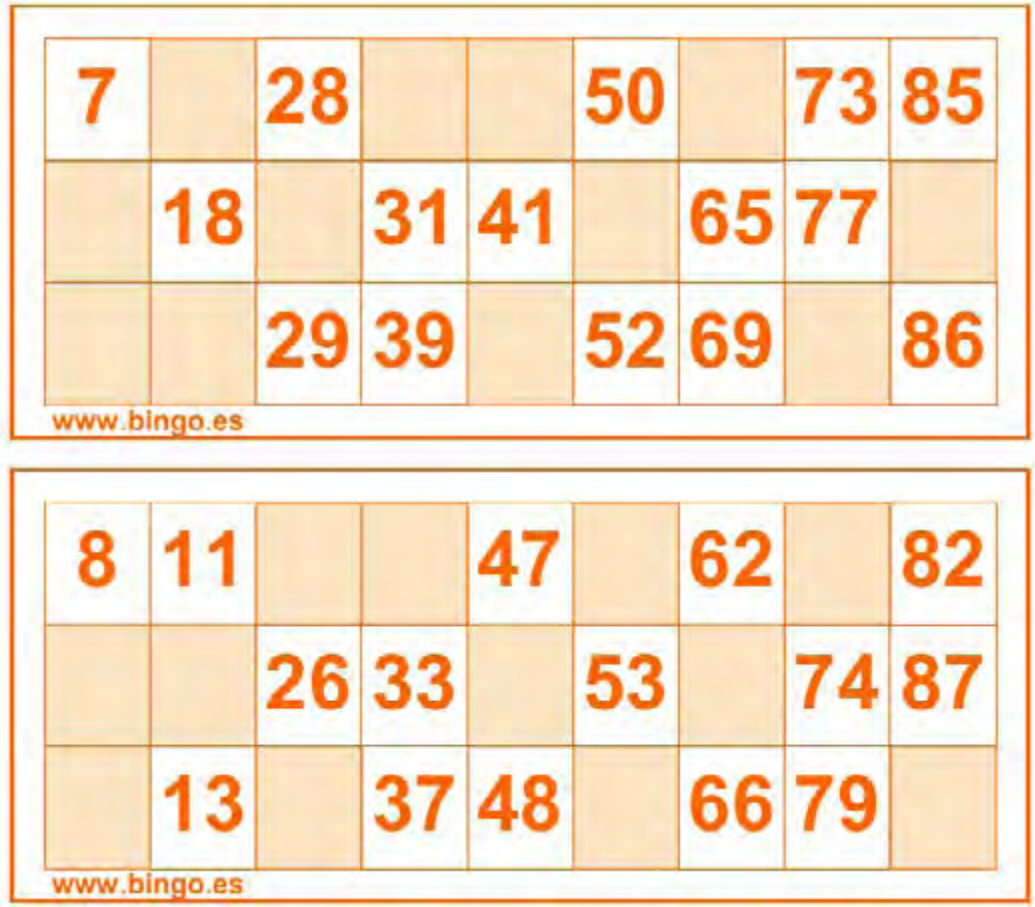


Figura 1. Modelo de cartela de bingo. Fonte: http://www.bingo.es/cartones-bingo/.

Figura 2. Exemplos de cartas com alterações ósseas ou dentárias.

54.2

JOGO DE MEMÓRIA PALEOPATOLÓGICO

Jorge Ferigolo
Patrícia Rodrigues Braunn

OBJETIVO

Identificar alterações ósseas e dentárias, relacionando-as às doenças que provavelmente as causaram através de interpretação de imagens.

PÚBLICO-ALVO

Alunos do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Dez a quinze minutos em cada rodada do jogo.

MODALIDADE

Atividade em grupo.

MATERIAL

São **48 cartas**, das quais 24 possuem fotografias de algumas paleopatologias estudadas no capítulo **PALEOPATOLOGIA: INVESTIGANDO AS DOENÇAS NOS FÓSSEIS E NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO** e 24 cartas com os nomes impressos das respectivas paleopatologias **(Figura 1)**. As cartas devem ser impressas em papel couchê e recortadas.

PROCEDIMENTO

Os alunos deverão formarão grupos de dois a quatro participantes, devendo cada equipe receber um conjunto impresso de cartas contendo fotografias de alterações ósseas e dentárias.

As cartas devem ser distribuídas sobre a mesa voltadas para baixo.

Após estipulado o critério para ordem de jogadas entre os participantes, inicia-se o jogo, sendo que cada aluno, na sua vez, vira duas cartas. Se as cartas formarem um par, ele jogará novamente; caso contrário, a jogada será do próximo aluno.

Toda vez que acertar o par, as cartas ficam com o jogador, sendo o vencedor aquele que estiver com o maior número de cartas consigo ao final do jogo.

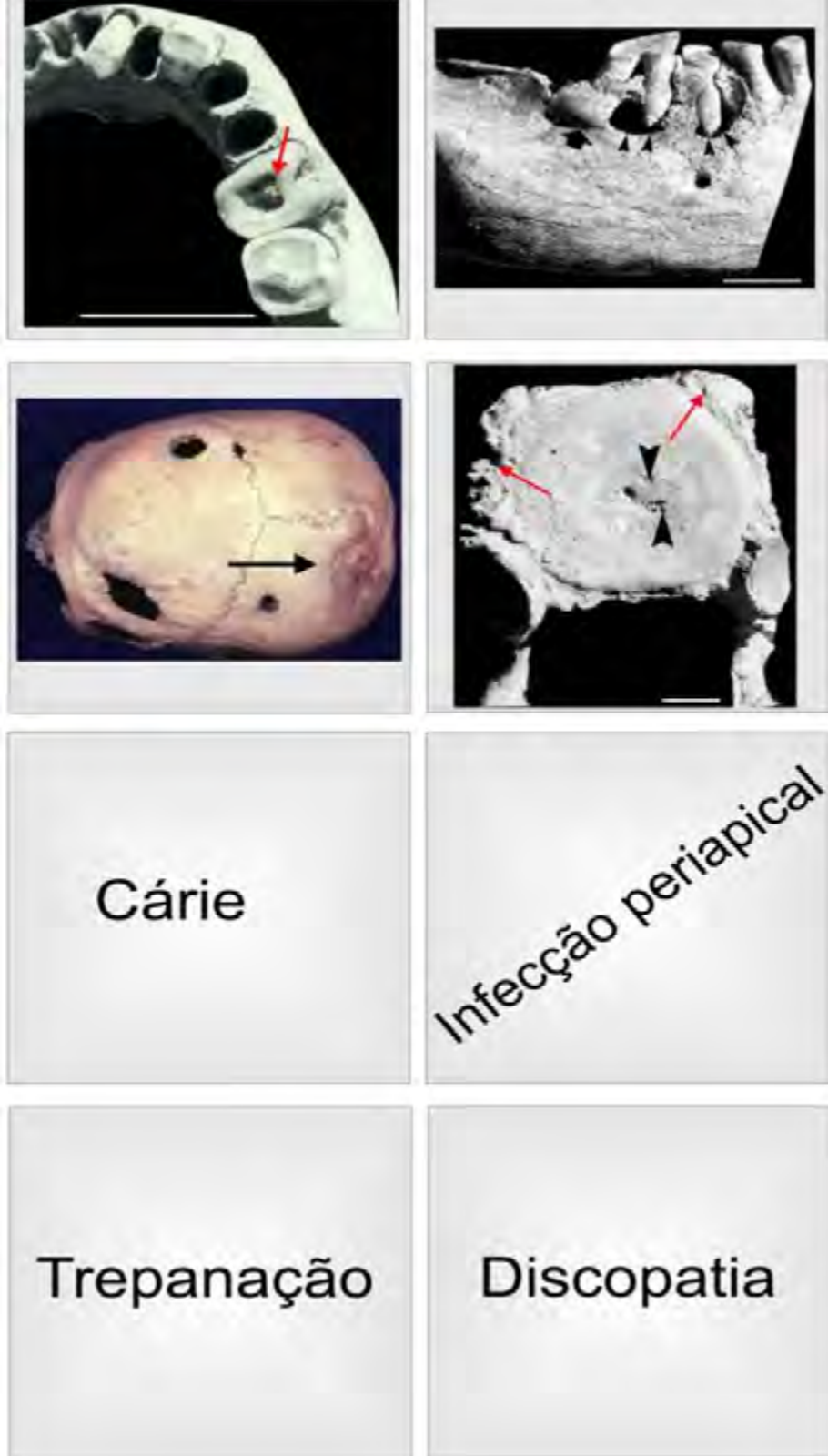
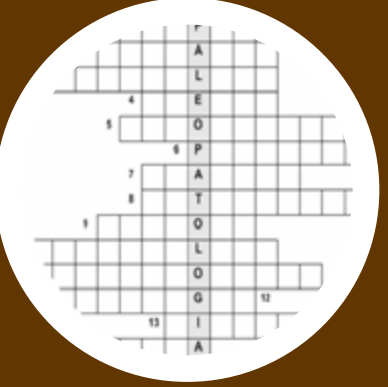


Figura 1. Exemplos de cartas do Jogo de Memória Paleopatológico.



54.3

CRUZADINHA PALEOPATOLÓGICA

Jorge Ferigolo
Patrícia Rodrigues Braunn

OBJETIVO

Responder a questões aplicando conceitos de paleopatologia.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

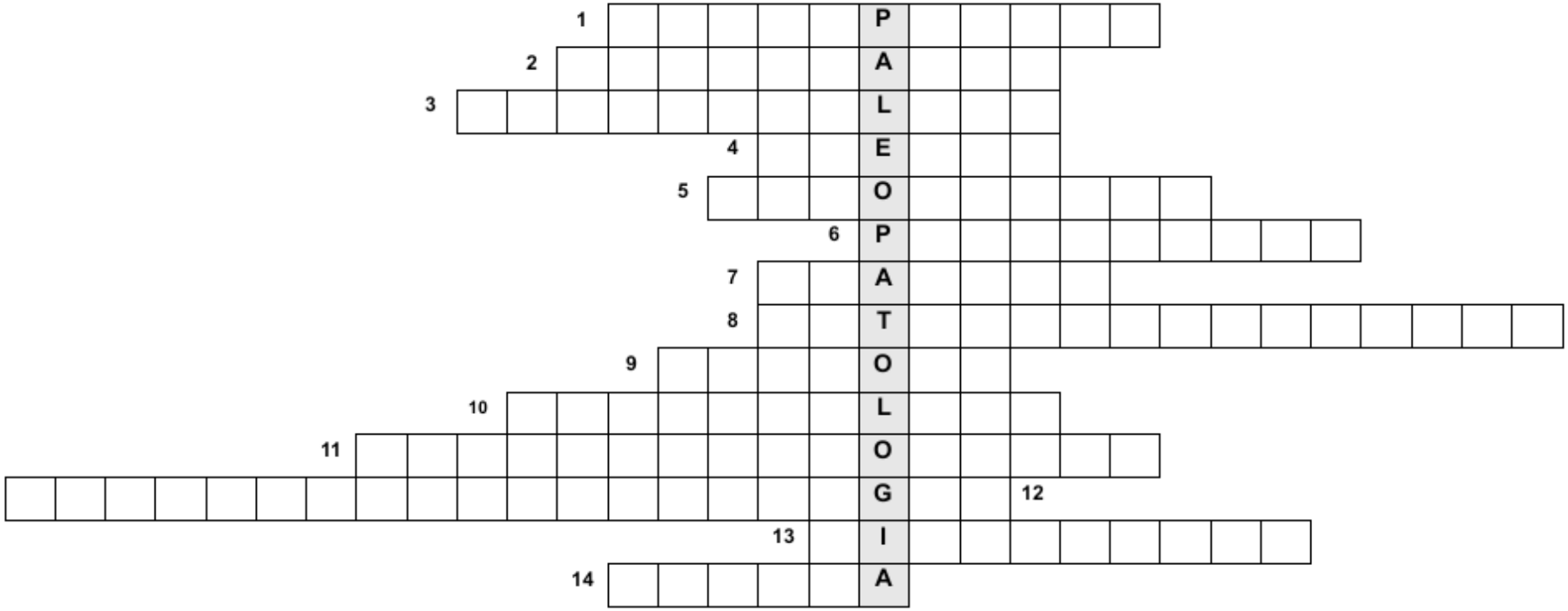
Dez a quinze minutos em cada rodada do jogo.

MATERIAL

Atividade impressa em folha A4.

PROCEDIMENTO

O professor deverá imprimir a folha da cruzadinha para que os alunos a preencham, individualmente ou em grupos, com base no capítulo **PALEOPATOLOGIA: INVESTIGANDO AS DOENÇAS NOS FÓSSEIS E NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO.**



Lista de definições a serem preenchidas na cruzadinha

1. Doença que atinge os ossos, tornando-os mais sujeitos a fraturas.
2. Alteração de um disco intervertebral, conhecido como "bico de papagaio", comum nas regiões cervical e lombar da coluna, geralmente associada à sobrecarga.
3. Infecção óssea.
4. Doença causada por deficiência de ferro que torna porosos os ossos do teto craniano ou interior da órbita.
5. Estrutura que se forma após uma fratura, auxiliando na consolidação da mesma.
6. Um dos principais aspectos do osso com osteoporose.
7. Resultado de um trauma sobre um osso.
8. Alterações ósseas que se manifestam a partir de certa idade, em todos os indivíduos.
9. Doença que afeta as articulações, comumente associada à sobrecarga sobre as mesmas e à idade avançada.
10. Infecção muito antiga na história da humanidade, cuja forma pulmonar é a mais comum, podendo afetar também o aparelho urinário e os ossos. A forma pulmonar, quando não tratada, pode se estender até a coluna vertebral, com grande destruição das vértebras.
11. Pesquisador que estuda as doenças nos fósseis.
12. Processo devido a quaisquer alterações ocorridas após a morte do indivíduo.
13. Alteração dentária devida a qualquer estresse ambiental sofrido pelo indivíduo.
14. Anomalia ocorrida nas vértebras.

54.4

CAÇA-PALAVRAS PALEOPATOLÓGICO

Jorge Ferigolo
Patrícia Rodrigues Braunn

OBJETIVO

Compreender os conceitos apresentados no capítulo **PALEOPATOLOGIA: INVESTIGANDO AS DOENÇAS NOS FÓSSEIS E NO HOMEM PRÉ-HISTÓRICO.**

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual ou em dupla.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Dez a quinze minutos em cada rodada do jogo.

MATERIAL

Folha impressa com a **atividade** Caça-palavras Paleopatológico **(Figura 1)**.

PROCEDIMENTO

O caça-palavras deverá ser impresso para cada aluno, podendo ser realizado em duplas. Os alunos deverão encontrar no caça-palavras os termos que estão grifados no texto a seguir.

PALEOPATOLOGISTA é o cientista que estuda as doenças do passado com base na análise de ossos, invertebrados, plantas, fios de cabelo, múmias, documentos e até fezes. Um dos ramos mais interessantes da paleopatologia relaciona-se à **ARQUEOLOGIA**, e é o que estuda os sinais de doenças nas obras de arte, desde as inscrições em cavernas, até as pinturas e inscrições egípcias e de outras culturas. Na arte egípcia é muito comum encontrar-se pequenas estátuas ou inscrições representando pessoas com várias doenças, desde anomalias congênitas, casos de paralisia por **POLIOMIELITE**, e até infecções graves como a **TUBERCULOSE**, e a **VARÍOLA**. A tuberculose é uma infecção muito antiga na história da humanidade, e, sua forma óssea é comum desde o **ANTIGO EGITO**, onde é encontrada inclusive em inscrições e em estatuetas. Alguns desses são os casos mais antigos registrados para as respectivas doenças, de modo que são do maior interesse para a História da Medicina e das infecções.

Figura 1. Caça-palavras Paleopatológico.

D	C	E	T	F	H	R	Q	P	F	S	E	L	X	F	A	B	C	D	X	D	E	F
G	J	C	B	I	P	O	L	I	O	M	I	E	L	I	T	E	C	U	I	G	H	I
L	Q	R	A	J	S	P	R	Q	A	L	O	Í	R	A	V	Q	U	A	S	L	K	J
M	P	E	C	O	Z	Y	X	Q	R	S	T	U	V	A	B	C	D	N	D	M	N	O
R	F	Ç	F	P	B	F	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	T	H	R	Q	S
S	S	Á	H	U	S	P	R	Q	A	L	O	T	R	D	V	Q	U	I	T	S	T	Í
C	P	O	I	A	J	O	T	B	D	E	M	T	B	D	E	P	T	G	K	C	B	F
D	J	S	E	F	A	M	Q	B	R	C	S	D	T	E	U	F	V	O	V	D	E	I
I	P	T	J	G	Z	O	T	U	B	E	R	C	U	L	O	S	E	E	Q	I	H	L
J	P	E	K	L	X	E	G	H	J	I	K	L	M	N	O	P	Q	G	R	J	K	I
O	P	O	N	M	Y	I	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	I	O	O	N	S
P	A	M	L	Ú	Z	A	G	O	O	N	M	T	B	D	E	P	T	T	N	P	Q	R
U	P	I	O	M	A	T	G	H	J	I	K	L	M	N	O	P	Q	O	M	U	T	S
V	R	E	P	I	X	O	G	O	O	N	M	T	B	D	E	P	T	P	A	V	X	Z
C	G	L	Q	A	R	P	P	A	D	R	F	A	R	Q	U	A	A	Q	C	C	B	A
D	X	I	R	S	E	F	G	H	J	I	K	L	M	N	O	P	Q	T	B	D	E	F
I	C	T	S	G	A	V	B	F	A	R	A	Ó	S	A	S	R	T	N	T	I	H	G
J	J	E	T	M	P	A	L	E	O	P	A	T	O	L	O	G	I	S	T	A	L	M
P	Q	R	I	N	A	R	Q	U	E	O	L	O	G	I	A	X	T	M	A	P	O	N
I	P	F	U	S	E	F	G	H	J	I	K	L	M	N	O	P	Q	T	G	I	D	S

JOGO PALEODETETIVE

Jacqueline Peixoto Neves, Luciana Maria Lunardi Campos
Marcello Guimarães Simões

O Jogo PaleoDetetive, aqui apresentado, é uma versão revisada do apresentado por Neves *et al*. (2008), constituindo um jogo de tabuleiro criado com a perspectiva de atuar como recurso didático complementar no ensino de conceitos paleontológicos.

OBJETIVO

Além de material didático, é um recurso que objetiva a aproximação de alunos de ensino fundamental e médio à realidade da Paleontologia e dos profissionais da área, transmitindo importantes conceitos das Ciências Naturais. Os alunos irão ampliar e consolidar conceitos sobre o processo de fossilização, origem da vida e extinções.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Três jogadores no total ou três equipes de jogadores, com no máximo cinco jogadores cada.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Raciocínio lógico e conceitos, tais como (a) fóssil, (b) fossilização, (c) extinção e (d) origem da vida na Terra devem ter sido apresentados anteriormente aos estudantes, mesmo que de forma breve. A atividade deve ser apresentada como aula prática, após exposição teórica sobre os tópicos acima mencionados. Ver capítulos:

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA, FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO E EXTINÇÃO, A OUTRA FACE DA EVOLUÇÃO.

MATERIAL

Três cartões de instruções de casos **(Figura 1)**; três cartões de respostas de casos; 27 cartas-pista numeradas de 1 a 9, para cada caso **(Figura 2)**: caso 1, caso 2 e caso 3; um **tabuleiro colorido (Figura 3)**, em tamanho 50x50 cm, que deve ser impresso em papel de alta gramatura para dar estabilidade; um dado simples, de 6 lados; três peões de diferentes cores, que representarão os jogadores no tabuleiro; papel e lápis para cada jogador (ou o representante de cada grupo de jogadores) para anotar informações adquiridas nas pistas recebidas nos locais visitados.

REGRAS DO JOGO

As cartas-pista devem ser separadas em três grupos: verdes, laranjas e azuis. As cartas-pista de cada cor devem ser colocadas sobre o tabuleiro, viradas para baixo, na seguinte ordem:

Carta 1 – Biblioteca Virtual; Carta 2 – Museu de Paleontologia; Carta 3 – Laboratório de Paleontologia; Carta 4 – Afloramento fossilífero (pedreira); Carta 5 – Biblioteca; Carta 6 – Instituto de Geologia; Carta 7 – Museu de História Natural; Carta 8 - Afloramento fossilífero (leito de rio); Carta 9 - Biblioteca virtual.

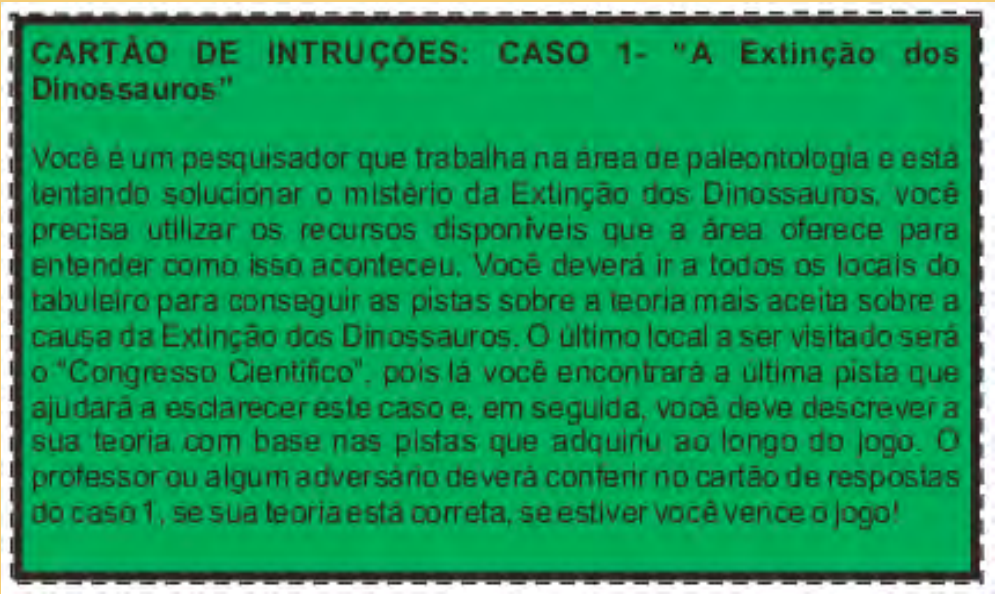


Figura 1. Exemplo de cartão de instruções.

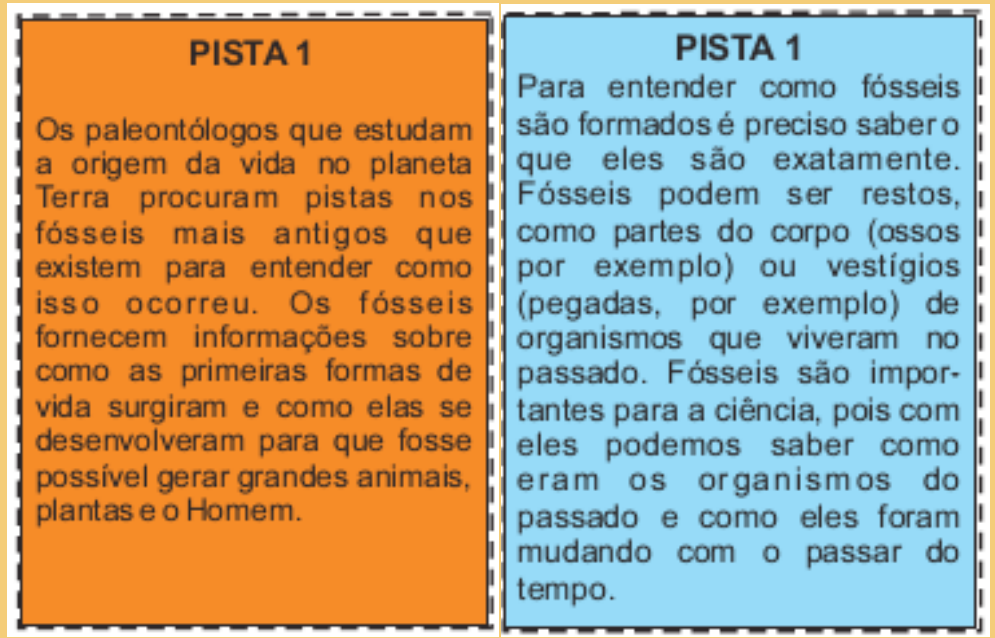


Figura 2. Exemplos de cartas-pista.

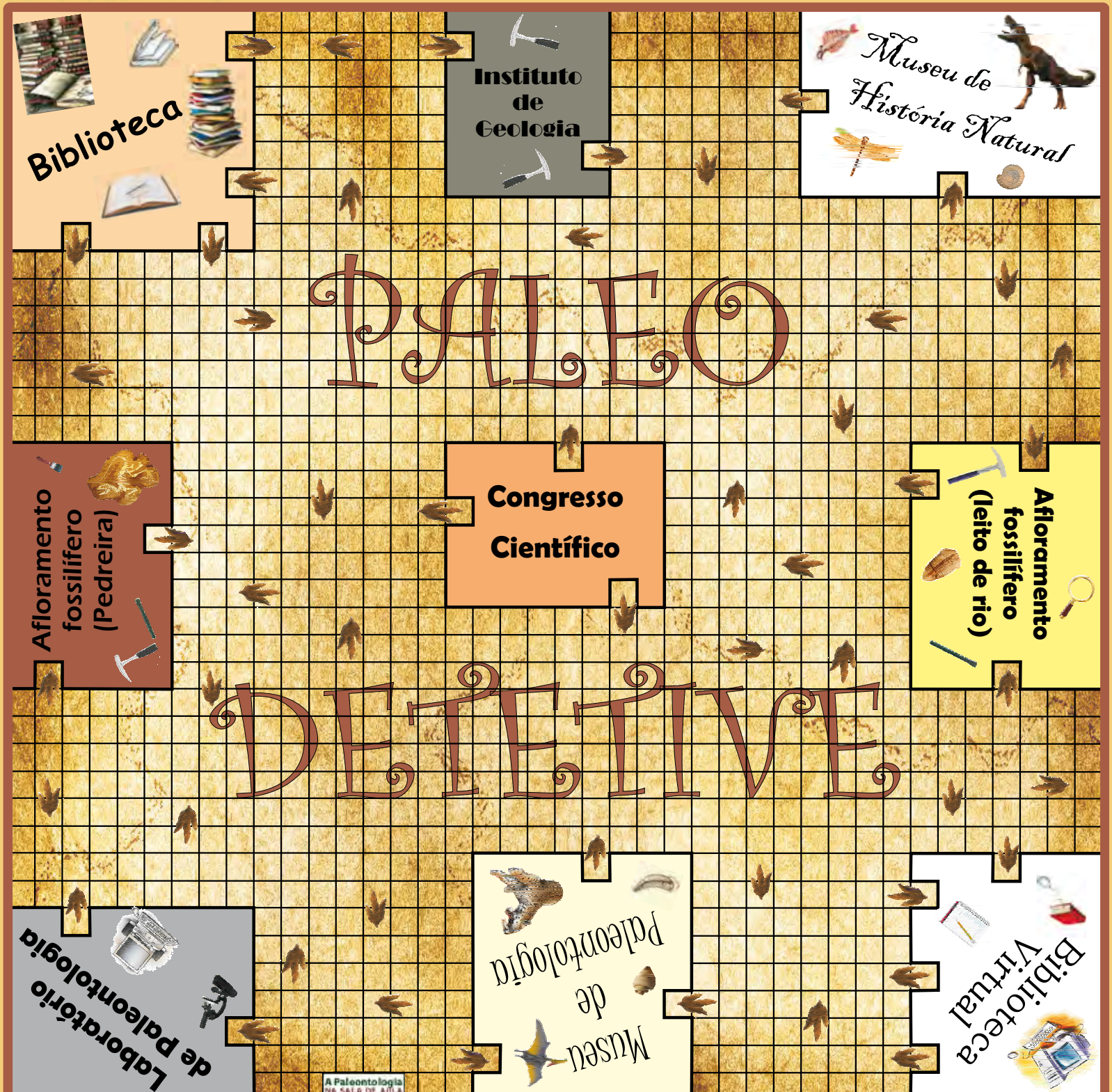


Figura 3.
Tabuleiro do Jogo PaleoDetetive.

Os cartões de resposta dos casos devem ficar voltados para baixo, ao lado do tabuleiro.

Cada jogador ou equipe deve escolher um dos três casos que deseja solucionar (cartões de instruções de casos). Os casos podem, também, ser sorteados.

Os temas são: "A Extinção dos Dinossauros"; "A Origem da Vida na Terra" e "Como um Fóssil é Formado?"

Após a distribuição dos casos entre os jogadores, ou equipes, cada um retira seu respectivo cartão de instruções (casos 1, 2 ou 3) para saber qual será seu objetivo no jogo. Em seguida, os jogadores deverão lançar o dado para saber quem iniciará a partida. Aquele que tirar o maior número começa e assim por diante.

Todos os jogadores devem partir da "Biblioteca Virtual", onde retiram a primeira carta-pista do seu caso. Em seguida, o jogador deve sortear com o dado, o número de casas para andar no tabuleiro. Cada quadrado do tabuleiro corresponde a uma casa que pode ser atravessada em qualquer sentido, porém se o jogador passar por uma pegada poderá andar mais rápido, até duas casas de uma única vez. Mas atenção, a direção das pegadas deve ser respeitada!

O tabuleiro possui nove locais que os jogadores devem visitar para conseguir pistas. A ordem de visita aos locais deve ficar a critério de cada jogador, mas para chegar ao final, ele deve passar em todos os 8 locais antes de chegar ao "Congresso Científico", necessariamente o último local a ser visitado. Após ler a carta-pista de cada local visitado, o jogador (ou equipe) deve fazer suas anotações e a carta deverá ser devolvida.

No "Congresso Científico" (centro do tabuleiro) o jogador conseguirá a última pista (carta-pista 9) e, logo em seguida, deverá apresentar a teoria de resolução de seu caso com base nas pistas que adquiriu ao longo do jogo e nas suas anotações. Importante: dois jogadores não poderão estar no mesmo local ao mesmo tempo!

Haverá um cartão-resposta para cada caso, que ficará com o professor ou com algum dos adversários, que deverão ler a primeira parte do cartão e, em seguida, pedir que o jogador apresente sua teoria. O professor ou o jogador adversário deve conferir se a resposta está correta.

O jogador (ou equipe) que primeiro apresentar sua teoria corretamente, vence o jogo! O ideal é que o jogo continue até que os outros jogadores cheguem ao final e concluam seus objetivos.

REFERÊNCIA

NEVES, J. P.; CAMPOS, L. M L. & SIMÕES, M.G. 2008. Jogos como recurso didático para o ensino de conceitos paleontológicos básicos aos estudantes do ensino fundamental. Terr@Plural, 2:103-114.

DESCOBRINDO O PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

56

Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano
Deusana Maria da Costa Machado
Aline Rocha de Souza Ferreira de Castro

OBJETIVO

Conhecer o Patrimônio Paleontológico Brasileiro através da criação de cartazes e maquetes.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e de Ensino Médio.

MODALIDADE

Grupos de quatro alunos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Cinco horas no total, que podem ser divididas em duas etapas: duas horas de pesquisa e três horas para a confecção dos cartazes e maquetes em sala de aula.

MATERIAL

Gibis, revistas, jornais, livros e sites da internet, cartolina, canetas coloridas, tintas, pincéis, placas de isopor, papéis coloridos, linhas para costura, lã, algodão, massa de modelar, durepóxi, cola branca, tesoura, areia, terra, conchas, ossos de galinha, folhas, flores, pequenos caules e qualquer tipo de material que possa ser adaptado para representar rochas e fósseis.

PROCEDIMENTO

1) Com a turma separada em grupos, realizar uma pesquisa sobre o patrimônio paleontológico brasileiro (onde ocorrem os afloramentos fossilíferos e quais são os fósseis encontrados) em gibis, revistas, jornais, livros, sites e bibliografia indicada no capítulo **PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO** (como os artigos sobre sítios paleontológicos nos livros da SIGEP - http://sigep.cprm.gov.br/sitios.htm).

2) Cada grupo deve escolher um sítio paleontológico que é considerado patrimônio, para montar um cartaz com ilustrações e breves explicações sobre o resultado da sua pesquisa, ou criar maquetes com esculturas em origami, gesso ou durepóxi reproduzindo os fósseis e afloramentos fossilíferos. Para representar as rochas podem ser utilizadas areia e terra junto com a cola branca, além do gesso. Para simular os fósseis, utilizar materiais como conchas, ossos de galinha, folhas, flores e pequenos caules. Eles podem ser colados diretamente nos cartazes e maquetes ou podem servir para a confecção de moldes através do uso de massa de modelar, sendo preenchidos posteriormente com gesso. Veja dois exemplos de como "criar" fósseis para os cartazes e maquetes: "A formação de um fóssil" e "Fabricando um Fóssil" em http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/escola/cadernos/caderno6.pdf e "Dobre Trilobitas" em http://www.casadaciencia.ufrj.br/Exposicao/caminhos/files/manual.pdf .

3) Durante a confecção dos cartazes e maquetes, discutir com os alunos as seguintes questões:

a) Qual a importância dos fósseis e afloramentos fossilíferos brasileiros?
b) Quais são os tipos de patrimônio paleontológico (in situ ou ex situ) representados no seu cartaz ou maquete?
c) Elabore propostas de conservação para o afloramento fossilífero abordado no seu cartaz ou maquete.

4) Organizar na escola uma exposição dos cartazes e maquetes confeccionados pela turma, que também podem ser expostos durante os eventos de feiras de ciências e artes.

57

DEBATE SOBRE O PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano
Deusana Maria da Costa Machado
Aline Rocha de Souza Ferreira de Castro

OBJETIVO

Realizar um debate sobre as questões envolvendo o patrimônio paleontológico da Bacia do Araripe, localizada na região nordeste do Brasil.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Médio.

MODALIDADE

Grupos de quatro alunos.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Seis horas no total, que podem ser divididas em duas etapas: três horas de pesquisa como trabalho de casa e três horas de debate em sala de aula.

MATERIAL

Artigos sobre a Bacia do Araripe no site da Sigep (http://sigep.cprm.gov.br/sitio005/sitio005.pdf e http://sigep.cprm.gov.br/sitio006/sitio006.pdf); filme sobre o Geoparque Araripe (Galerias – Vídeos – Geoparque Araripe; http://www.geoparkararipe.org.br) **(Figura 1)**.

Figura 1. Cena do filme Geoparque Araripe. Fonte: http://www.geoparkararipe.org.br.

PROCEDIMENTO

1) Solicitar que os alunos façam a leitura dos dois artigos sobre a Bacia do Araripe e assistam ao vídeo explicativo do Geoparque Araripe em casa, na biblioteca ou sala de informática da escola. Após estas atividades e a leitura do capítulo **PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO**, cada aluno deve redigir um resumo individual de até cinco páginas sobre a conservação *in situ* e *ex situ* do patrimônio paleontológico da Bacia do Araripe, citando os exemplos observados nos artigos e no filme.

2) Em sala de aula, dividir a turma em grupos para realizar um debate sobre a importância e os tipos de patrimônio paleontológico da Bacia do Araripe, utilizando os conceitos abordados no capítulo **PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO.** Cada grupo deve escolher um tópico para discussão durante o debate, baseado em questões que acharam mais interessantes durante a realização da pesquisa com os artigos e o filme.

3) Realizar primeiro um debate interno em cada grupo, a fim de formular a pergunta relacionada ao tópico escolhido por seus integrantes, a qual será depois apresentada ao restante da turma durante o debate.

4) No debate, cada grupo irá fazer a sua pergunta para turma toda, e esperar a resposta dos outros grupos. Depois, a resposta do grupo será revelada e discutida com a turma, com mediação do professor. Os grupos que acertarem a resposta irão ganhar 1 ponto cada, e o grupo que acumular o maior número de pontos no final, vencerá o debate.

PESQUISA SOBRE O PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano
Deusana Maria da Costa Machado
Aline Rocha de Souza Ferreira de Castro

OBJETIVO

Realizar uma pesquisa sobre o patrimônio paleontológico, através da aplicação de um questionário.

PÚBLICO-ALVO

Estudantes do Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio.

MODALIDADE

Individual.

TEMPO DE EXECUÇÃO

Quatro horas, sendo duas horas de aplicação do questionário e duas horas de apresentação dos resultados em sala de aula.

MATERIAL

Cópias do **questionário** "Pesquisa sobre o Patrimônio Paleontológico" **(Figura 1)**.

PROCEDIMENTO

Solicitar aos alunos a leitura dos capítulos **PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO, INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA PALEONTOLOGIA, FÓSSEIS E PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO** e **OS FÓSSEIS E O TEMPO GEOLÓGICO.**

1) Após a leitura dos capítulos, os alunos irão realizar uma pesquisa sobre o patrimônio paleontológico com pelo menos dez pessoas,

que podem ser membros da sua família, vizinhos ou colegas de fora da escola, de qualquer idade. Para tal eles irão fazer as perguntas do questionário abaixo para os entrevistados e preencher as lacunas com as respostas correspondentes.

2) Após realizar as entrevistas, os alunos irão analisar os questionários de dois modos: (a) de forma qualitativa, apenas resumindo seus resultados em um pequeno texto; e/ou (b) de forma quantitativa, calculando as percentagens das respostas objetivas (Sim/Não) do questionário.

3) Os resultados de cada aluno serão apresentados em sala de aula, onde eles poderão compartilhar suas opiniões sobre as respostas do questionário com toda a turma, através da mediação do professor.

Pesquisa sobre o patrimônio paleontológico:

Nº do questionário:_____

Cidade: _____ Data:_____ Entrevistador: _____

Nome do entrevistado: _____

Idade: _____ Sexo: M F Religião: SIM NÃO Se sim, qual? _____

Escolaridade: Não alfabetizado Ensino Fundamental Ensino Médio Ensino Superior Completo Incompleto

1) O que você pensa quando ouve a palavra **patrimônio**? _____

_____

Circule abaixo o que você acha que pode ser considerado patrimônio (pode ser mais de uma palavra):

herança – casa – dinheiro – estudo – algo importante para: Ciência – História – Artes

2) Qual seria o principal patrimônio de sua cidade? Muitas pessoas gostam, utilizam ou se preocupam com a manutenção dele? _____

3) Você já visitou algum Museu? SIM NÃO Se sim, quantas vezes?_____

Você lembra do nome do Museu que você visitou? _____

Você lembra dos objetos que haviam no Museu?_____

4) Você já ouviu falar ou teve aulas de Geologia e/ou Paleontologia em sua escola ou faculdade? SIM NÃO

Você sabe quais são os objetos de estudo de cada uma destas disciplinas?_____

5) Você sabe o que é um fóssil? SIM NÃO Se sim, pode explicar e dar algum exemplo?_____

_____

6) Você sabe como os fósseis são formados? SIM NÃO Se sim, poderia explicar? _____

_____

7) Você sabe quais fósseis podem ser encontrados no seu município ou estado? SIM NÃO Se sim, quais?_____

_____

8) Você acha que as rochas e fósseis do seu município ou estado podem ser consideradas Patrimônio?

Rochas: SIM NÃO Justifique sua resposta:_____

Fósseis: SIM NÃO Justifique sua resposta:_____

9) Você conhece algum museu na sua cidade que tenha rochas e fósseis em exposição? SIM NÃO

Se sim, qual o nome do museu? _____

10) Você sabe qual é a idade do planeta Terra? SIM NÃO Se sim, aproximadamente quantos anos?_____

Figura 1. Modelo do questionário Pesquisa sobre o Patrimônio Paleontológico.

AUTORES

ADRIANA DE SOUZA TRAJANO – Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Roraima (UERR).

ADRIANA STRAPASSON DE SOUZA – Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

ADRIANO OLIVEIRA FAHEL – Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

ALEXANDER W. A. KELLNER – Professor Titular do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Redator da Coluna Caçadores de Fósseis, Ciência Hoje on line: http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/cacadores-de-fosseis.

ALINE ROCHA DE SOUZA FERREIRA DE CASTRO – Museóloga do Museu da Geodiversidade da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

ANA EMILIA QUEZADO DE FIGUEIREDO – Professora Assistente do Curso de Licenciatura em Educação do Campo: Ciências da Natureza Campus Amílcar Ferreira Sobral (CAFS) Universidade Federal do Piauí (UFPI).

ANA LUIZA RAMOS ILHA – Mestre em Geociências pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

ANDRÉIA CARDOSO PACHECO EVALDT – Professora do Centro de Ciências Naturais e Exatas (CCNE) da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Canoas, RS.

ANDRESSA PAIM – Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

VOLTE AO SUMÁRIO

BRUNO LUDOVICO DIHL HORN – Geólogo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Superintendência Regional de Recife, PE; Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

CARLOS EDUARDO LUCAS VIEIRA – Pesquisador do Instituto Tecnológico de Micropaleontologia - ITT FOSSIL da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), RS.

CESAR LEANDRO SCHULTZ – Professor Titular do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

CRISTINA BERTONI MACHADO – Professora da Faculdade de Engenharia, Faculdade de Tecnologia TECBrasil, RS.

CRISTINA SILVEIRA VEGA – Professora Adjunta do Departamento de Geologia do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

DEMÉTRIO DIAS NICOLAIDIS – Pesquisador do Instituto Tecnológico de Micropaleontologia – ITT FOSSIL da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), RS.

DEUSANA MARIA DA COSTA MACHADO – Professora Associada do Departamento de Ciências Naturais do Instituto de Biociências (CCBS), da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO).

DIEGO SALES ARGOLLO – Aluno do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

ELISEU VIEIRA DIAS – Professor Adjunto do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Cascavel, PR.

ESTHER REGINA DE SOUZA PINHEIRO – Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

FABIANO DE SOUZA GOMES – Curso de Ciências Biológicas, UFRGS.

FÁBIO ALVES RODRIGUES – Professor de Ciências e Biologia da Secretaria de Educação do Município de Cachoeirinha, RS.

FERNANDO ANTONIO SEDOR – Coordenador Científico e Curador do Museu de Ciências Naturais do Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná (MCN-SCB-UFPR).

FELIPE LIMA PINHEIRO – Professor Adjunto do Laboratório de Paleobiologia da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), Campus São Gabriel, RS.

FILIPE DE CASTRO SEIXAS – Aluno do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Bahia (UFBA), BA.

FLÁVIO AUGUSTO PRETTO – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

GABRIEL OLIVEIRA ROCHA – Aluno do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

GABRIELLI TERESA GADENS MARCON – Professora Adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Colegiado de Ciências Biológicas da Unidade Universitária Litoral Norte, Osório, RS.

GEISE DE SANTANA DOS ANJOS ZERFASS – Bioestratígrafa do Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello, Gerência de Bioestratigrafia e Paleoecologia Aplicada da Petrobras.

GERSON FAUTH – Pesquisador Coordenador do Instituto Tecnológico de Micropaleontologia – ITT FOSSIL da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), RS.

GUILHERME ARSEGO ROESLER – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

ISABELA DEGANI SCHMIDT – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

HEITOR ROBERTO FRANCISCHINI FILHO – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

HELDER DE PAULA SILVA – Preparador de Fósseis do Laboratório de Sistemática e Tafonomia de Vertebrados Fósseis do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

JACQUELINE PEIXOTO NEVES – Pesquisadora, Pós-doc do Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências-UNESP, Campus de Botucatu, SP.

JESSICA PONTES SILVA – Preparadora de Fósseis (bolsista) do Laboratório de Sistemática e Tafonomia de Vertebrados Fósseis do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

JORGE FERIGOLO – Pesquisador da Seção de Paleontologia do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZBRS).

JOSÉ EDUARDO TEIXEIRA FALCON – Aluno do Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

JOSÉ RICARDO INACIO RIBEIRO – Professor Adjunto do Laboratório de Estudos da Biodiversidade do Pampa, da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus de São Gabriel, RS.

JULIANE MARQUES DE SOUZA – Professora Doutora Nível I, Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Roraima (UERR).

KARINE LOHNMANN DE AZEVEDO – Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

LUCIANA MARIA LUNARDI CAMPOS – Professora Assistente do Departamento de Educação, Instituto de Biociências-UNESP, Campus de Botucatu, SP.

LUIZA CORRAL MARTINS DE OLIVEIRA PONCIANO – Professora Adjunta do Departamento de Ciências Naturais do Instituto de Biociências (CCBS), da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO).

MARCELO GUGLIELMI LEITE – Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

MARCELLO GUIMARÃES SIMÕES – Professor Titular do Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências-UNESP, Campus de Botucatu, SP.

MARIANA ROST MEIRELES – Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular (PPGBM) do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

MARINA BENTO SOARES – Professora Associada do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

MARC EMERIM – Técnico em assuntos educacionais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Farroupilha, RS.

MARISE BASSO AMARAL – Professora Adjunta do Departamento de Sociedade, Educação e Conhecimento (SSE) da Faculdade de Educação da Universidade Federal Fluminense (UFF).

MICHELLE NORONHA DA MOTA BAPTISTA – Aluna do Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

NATHALIA CHICON ELERT – Aluna do Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

PATRÍCIA RODRIGUES BRAUNN – Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

PAULA C. DENTZIEN DIAS – Professora Adjunta do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal de Rio Grande (FURG), RS.

RICHARD FARIÑA – Professor Agregado (Gdo. 4), Sección de Paleontologia do Departamento de Geología do Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias da Universidad de La Republica, Uruguai.

ROBERTO IANNUZZI – Professor Associado do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

RUSSEL TERESINHA DUTRA DA ROSA – Professora Adjunta do Departamento de Ensino e Currículo da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

SABRINA COELHO RODRIGUES – Professora Adjunta do Curso de Ciências Biológicas da Faculdade de Ciências Integradas do Pontal (FACIP), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), MG.

SÉRGIO DIAS DA SILVA – Professor Associado do Departamento de Biologia do Centro de Ciências Naturais e Exatas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS.

SIMONE BAECKER FAUTH – Pesquisadora do Instituto Tecnológico de Micropaleontologia – ITT FOSSIL da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), RS.

SIMONE SOUZA DE MORAES – Professora Adjunta do Departamento de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

SORAIA GIRARDI BAUERMANN – Professora do Centro de Ciências Naturais e Exatas (CCNE) da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Canoas, RS.

SUELEN FERREIRA DA CONCEIÇÃO – Aluna do Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

SUZANA APARECIDA MATOS – Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências USP, IGc, São Paulo, SP.

TAISSA RODRIGUES – Professora Adjunta do Departamento de Biologia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

TÉO VEIGA DE OLIVEIRA – Professor Adjunto do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

TIAGO RAUGUST – Professor do Instituto Federal Catarinense (IFC), SC.

TITO AURELIANO NETO – Aluno do Curso de Graduação em Geologia na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE. Redator e Diretor de Documentários de Colecionadores de Ossos: www.colecionadoresdeossos.com.

TUANE DA SILVA CABRAL – Aluna do Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

VERIDIANA RIBEIRO – Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

VICTOR EDUARDO PAULIV – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

VOLTAIRE DUTRA PAES NETO – Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

WELLINGTON DE OLIVEIRA SILVA – Aluno do Curso de Graduação em Geologia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).