



caderno do  
**PROFESSOR**

# BIOLOGIA



ensino médio  
**3ª SÉRIE**  
volume 3 - 2009





## GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador  
**José Serra**

Vice-Governador  
**Alberto Goldman**

Secretário da Educação  
**Paulo Renato Souza**

Secretário-Adjunto  
**Guilherme Bueno de Camargo**

Chefe de Gabinete  
**Fernando Padula**

Coordenadora de Estudos e Normas  
Pedagógicas  
**Valéria de Souza**

Coordenador de Ensino da Região  
Metropolitana da Grande São Paulo  
**José Benedito de Oliveira**

Coordenador de Ensino do Interior  
**Rubens Antonio Mandetta**

Presidente da Fundação para o  
Desenvolvimento da Educação – FDE  
**Fábio Bonini Simões de Lima**

### EXECUÇÃO

Coordenação Geral  
Maria Inês Fini

#### Concepção

Guiomar Namó de Mello

Lino de Macedo

Luís Carlos de Menezes

Maria Inês Fini

Ruy Berger

### GESTÃO

Fundação Carlos Alberto Vanzolini

Presidente do Conselho Curador:  
Antonio Rafael Namur Muscat

Presidente da Diretoria Executiva:  
Mauro Zilbovicius

Diretor de Gestão de Tecnologias  
aplicadas à Educação:  
Guilherme Ary Plonski

Coordenadoras Executivas de Projetos:  
Beatriz Scavazza e Angela Sprenger

### COORDENAÇÃO TÉCNICA

CENP – Coordenadoria de Estudos e Normas  
Pedagógicas

### Coordenação do Desenvolvimento dos Conteúdos Programáticos e dos Cadernos dos Professores

Ghisleine Trigo Silveira

### AUTORES

Ciências Humanas e suas Tecnologias

Filosofia: Paulo Miceli, Luiza Christov, Adilton  
Luís Martins e Renê José Trentin Silveira

Geografia: Angela Corrêa da Silva, Jaime Tadeu  
Oliva, Raul Borges Guimarães, Regina Araujo,  
Regina Célia Bega dos Santos e Sérgio Adas

História: Paulo Miceli, Diego López Silva,  
Glaydson José da Silva, Mônica Lungov Bugelli e  
Raquel dos Santos Funari

Sociologia: Heloisa Helena Teixeira de Souza  
Martins, Marcelo Santos Masset Lacombe,  
Melissa de Mattos Pimenta e Stella Christina  
Schrijnemaekers

Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Biologia: Ghisleine Trigo Silveira, Fabíola Bovo  
Mendonça, Felipe Bandoni de Oliveira, Lucilene  
Aparecida Esperante Limp, Maria Augusta  
Querubim Rodrigues Pereira, Olga Aguiar Santana,  
Paulo Roberto da Cunha, Rodrigo Venturoso  
Mendes da Silveira e Solange Soares de Camargo

Ciências: Ghisleine Trigo Silveira, Cristina  
Leite, João Carlos Miguel Tomaz Micheletti Neto,  
Julio César Foschini Lisboa, Lucilene Aparecida  
Esperante Limp, Máira Batistoni e Silva, Maria  
Augusta Querubim Rodrigues Pereira, Paulo  
Rogério Miranda Correia, Renata Alves Ribeiro,  
Ricardo Rechi Aguiar, Rosana dos Santos Jordão,  
Simone Jaconetti Ydi e Yassuko Hosoume

Física: Luis Carlos de Menezes, Estevam  
Rouxinol, Guilherme Brockington, Ivã Gurgel, Luís  
Paulo de Carvalho Piassi, Marcelo de Carvalho  
Bonetti, Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira,  
Maxwell Roger da Purificação Siqueira, Sonia  
Salem e Yassuko Hosoume

Química: Maria Eunice Ribeiro Marcondes,  
Denilse Moraes Zambom, Fabio Luiz de Souza,  
Hebe Ribeiro da Cruz Peixoto, Isis Valença de Sousa  
Santos, Luciane Hiromi Akahoshi, Maria Fernanda  
Penteado Lamas e Yvone Mussa Esperidião

Linguagens, Códigos e suas Tecnologias

Arte: Gisa Picosque, Mirian Celeste Martins,  
Geraldo de Oliveira Suzigan, Jéssica Mami Makino  
e Sayonara Pereira

Educação Física: Adalberto dos Santos Souza,  
Jocimar Daolio, Luciana Venâncio, Luiz Sanches  
Neto, Mauro Betti e Sérgio Roberto Silveira

LEM – Inglês: Adriana Ranelli Weigel Borges,  
Alzira da Silva Shimoura, Lívia de Araújo Donnini  
Rodrigues, Priscila Mayumi Hayama e Sueli Salles  
Fidalgo

Língua Portuguesa: Alice Vieira, Débora Mallet  
Pezarim de Angelo, Eliane Aparecida de Aguiar,  
José Luís Marques López Landeira e João Henrique  
Nogueira Mateos

Matemática

Matemática: Nilson José Machado, Carlos  
Eduardo de Souza Campos Granja, José Luiz  
Pastore Mello, Roberto Perides Moisés, Rogério  
Ferreira da Fonseca, Ruy César Pietropaolo e  
Walter Spinelli

Caderno do Gestor

Lino de Macedo, Maria Eliza Fini e Zuleika de Felice  
Murrrie

Equipe de Produção

Coordenação Executiva: Beatriz Scavazza

Assessores: Alex Barros, Beatriz Blay, Carla de  
Meira Leite, Eliane Yambanis, Heloisa Amaral Dias  
de Oliveira, José Carlos Augusto, Luiza Christov,  
Maria Eloisa Pires Tavares, Paulo Eduardo Mendes,  
Paulo Roberto da Cunha, Pepita Prata, Renata Elsa  
Stark, Solange Wagner Locatelli e Vanessa Dias  
Moretti

Equipe Editorial

Coordenação Executiva: Angela Sprenger

Assessores: Denise Blanes e Luís Márcio Barbosa

Projeto Editorial: Zuleika de Felice Murrrie

Edição e Produção Editorial: Conexão Editorial,  
Edições Jogo de Amarelinha, Aeroestúdio e Occy  
Design (projeto gráfico)

APOIO

FDE – Fundação para o Desenvolvimento da  
Educação

CTP, Impressão e Acabamento

Esdeva Indústria Gráfica

A Secretaria da Educação do Estado de São Paulo autoriza a reprodução do conteúdo do material de sua titularidade pelas demais secretarias de educação do país, desde que mantida a integridade da obra e dos créditos, ressaltando que direitos autorais protegidos\* deverão ser diretamente negociados com seus próprios titulares, sob pena de infração aos artigos da Lei nº 9.610/98.

\* Constituem "direitos autorais protegidos" todas e quaisquer obras de terceiros reproduzidas no material da SEE-SP que não estejam em domínio público nos termos do artigo 41 da Lei de Direitos Autorais.

Catalogação na Fonte: Centro de Referência em Educação Mario Covas

São Paulo (Estado) Secretaria da Educação.  
S239c Caderno do professor: biologia, ensino médio - 2ª série, volume 3 /  
Secretaria da Educação; coordenação geral, Maria Inês Fini; equipe, Felipe  
Bandoni de Oliveira, Ghisleine Trigo Silveira, Lucilene Aparecida Esperante  
Limp, Maria Augusta Querubim Rodrigues Pereira, Paulo Roberto da Cunha,  
Rodrigo Venturoso Mendes da Silveira. – São Paulo : SEE, 2009.

ISBN 978-85-7849-313-4

1. Biologia 2. Ensino Médio 3. Estudo e ensino I. Fini, Maria Inês. II.  
Oliveira, Felipe Bandoni de. III. Silveira, Ghisleine Trigo. IV. Limp, Lucilene  
Aparecida Esperante. V. Pereira, Maria Augusta Querubim Rodrigues. VI.  
Cunha, Paulo Roberto da. VII. Silveira, Rodrigo Venturoso Mendes da. VIII.  
Título.

CDU: 373.5:573



Caras professoras e caros professores,

Tenho a grata satisfação de entregar-lhes o volume 3 dos Cadernos do Professor.

Vocês constatarão que as excelentes críticas e sugestões recebidas dos profissionais da rede estão incorporadas ao novo texto do currículo. A partir dessas mesmas sugestões, também organizamos e produzimos os Cadernos do Aluno.

Recebemos informações constantes acerca do grande esforço que tem caracterizado as ações de professoras, professores e especialistas de nossa rede para promover mais aprendizagem aos alunos.

A equipe da Secretaria segue muito motivada para apoiá-los, mobilizando todos os recursos possíveis para garantir-lhes melhores condições de trabalho.

Contamos mais uma vez com a colaboração de vocês.

**Paulo Renato Souza**

Secretário da Educação do Estado de São Paulo





# SUMÁRIO

<b>São Paulo faz escola – Uma Proposta Curricular para o Estado</b>	<b>5</b>
<b>Ficha do Caderno</b>	<b>7</b>
<b>Orientação sobre os conteúdos do Caderno</b>	<b>8</b>
<b>Tema – Origem e evolução da vida</b>	<b>9</b>
Situação de Aprendizagem 1 – A origem da vida	9
Situação de Aprendizagem 2 – Evolução: os seres em transformação	20
Situação de Aprendizagem 3 – Grandes linhas de evolução dos seres vivos	36
<b>Proposta de Situação de Recuperação</b>	<b>45</b>
<b>Recursos para ampliar a perspectiva do professor e do aluno para a compreensão do tema</b>	<b>48</b>



# SÃO PAULO FAZ ESCOLA – UMA PROPOSTA CURRICULAR PARA O ESTADO

Prezado(a) professor(a),

É com muita satisfação que lhe entregamos mais um volume dos Cadernos do Professor, parte integrante da Proposta Curricular de 5ª a 8ª séries do Ensino Fundamental – Ciclo II e do Ensino Médio do Estado de São Paulo. É sempre oportuno lembrar que esta é a nova versão, que traz também a sua autoria, uma vez que inclui as sugestões e críticas recebidas após a implantação da Proposta.

É também necessário lembrar que os Cadernos do Professor espelharam-se, de forma objetiva, na Base Curricular, referência comum a todas as escolas da rede estadual, e deram origem à produção dos Cadernos dos Alunos, justa reivindicação de professores, pais e famílias para que nossas crianças e jovens possuíssem registros acadêmicos pessoais mais organizados e para que o tempo de trabalho em sala de aula pudesse ser melhor aproveitado.

Já temos as primeiras notícias sobre o sucesso do uso dos dois Cadernos em sala de aula. Este mérito é, sem dúvida, de todos os profissionais da nossa rede, especialmente seu, professor!

O objetivo dos Cadernos sempre será o de apoiar os professores em suas práticas de sala de aula. Podemos dizer que este objetivo está sendo alcançado, porque os professores da rede pública do Estado de São Paulo fizeram dos Cadernos um instrumento pedagógico com bons resultados.

Ao entregar a você estes novos volumes, reiteramos nossa confiança no seu trabalho e contamos mais uma vez com seu entusiasmo e dedicação para que todas as crianças e jovens da nossa rede possam ter acesso a uma educação básica de qualidade cada vez maior.

**Maria Inês Fini**

Coordenadora Geral  
Projeto São Paulo Faz Escola







# FICHA DO CADERNO

## Origem e evolução da vida

<b>Nome da disciplina:</b>	Biologia
<b>Área:</b>	Ciências da Natureza e suas Tecnologias
<b>Etapa da educação básica:</b>	Ensino Médio
<b>Série:</b>	3 <sup>a</sup>
<b>Volume:</b>	3
<b>Temas e conteúdos:</b>	A origem da vida Ideias evolucionistas e evolução biológica



## ORIENTAÇÃO SOBRE OS CONTEÚDOS DO CADERNO

Caro(a) professor(a),

Um dos aspectos mais instigantes da Biologia diz respeito à origem da grande diversidade de seres vivos que habitam o planeta Terra. Este é o propósito de uma das áreas da Biologia: a evolução. É a evolução que dá mobilidade à Ciência da Biologia, pois reúne os conhecimentos produzidos em diferentes áreas com o objetivo de contar a história do aparecimento e da diversificação da vida no planeta. Neste Caderno, os temas “origem” e “evolução” da vida são trabalhados por meio de um conjunto de Situações de Aprendizagem que se iniciam com a discussão dos conceitos relacionados à origem da vida e terminam com a apresentação das grandes linhas de evolução dos seres vivos.

Pretende-se que os alunos desenvolvam a percepção da natureza como um sistema dinâmico e integrado que se modifica ao longo do tempo. E, ainda, que compreendam a evolução como um processo contínuo associado à variação da frequência gênica das populações. Espera-se também que identifiquem o conhecimento científico como provisório e, portanto, passível de reconstrução.

Para tanto, foram priorizados os seguintes assuntos:

- ▶ Hipóteses sobre a origem da vida.

- ▶ Características da vida primitiva.
- ▶ Evidências evolutivas.
- ▶ As ideias evolucionistas de Darwin e Wallace e de Lamarck.
- ▶ Mecanismos da evolução das espécies: mutação, recombinação gênica e seleção natural.
- ▶ Fatores que interferem na constituição genética das populações: migrações, mutações, seleção e deriva gênica.
- ▶ Grandes linhas da evolução dos seres vivos: árvores filogenéticas.

Como nos demais cadernos, as estratégias escolhidas têm o objetivo de enfatizar o trabalho prático dos estudantes, incentivando-os à participação mais ativa em todo o processo de ensino-aprendizagem.

Esperamos, dessa forma, que o material possa contribuir para o seu trabalho e para a aprendizagem dos alunos. Afinal, como salientou Theodosius Dobzhansky, um eminente cientista do século XX, “Nada em Biologia faz sentido exceto à luz da evolução”. Essa frase é o título do artigo que publicou em 1973 no periódico *The American Biology Teacher*.



# TEMA – ORIGEM E EVOLUÇÃO DA VIDA

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1 A ORIGEM DA VIDA

Esta Situação de Aprendizagem propõe a interpretação de textos, imagens e debates sobre a origem da vida e dos primeiros seres vivos. Os

conceitos são apresentados como construções humanas, que se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas.

**Tempo previsto:** 4 aulas.

**Conteúdos e temas:** hipóteses sobre a origem da vida e a vida primitiva.

**Competências e habilidades:** interpretar as concepções religiosas e científicas para a origem da vida e dos seres vivos; buscar informações em um texto, figura, tabela ou gráfico a respeito das polêmicas sobre a origem da vida; entender os fatos científicos que sustentam a ideia, atualmente aceita, sobre como surgiram os primeiros seres vivos em nosso planeta.

**Estratégias:** atividade de organização de conhecimentos prévios a partir de discussão em grande grupo; interpretação de textos e figuras.

**Recursos:** aparelho de DVD e TV; documentário exibido na TV Escola: *Fernando de Noronha: o arquipélago dos golfinhos*, ou outro filme a escolher sobre a biodiversidade na Terra; lousa e giz.

**Avaliação:** baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados e nas respostas às questões propostas.

### Roteiro para aplicação da Situação de Aprendizagem

#### Etapa prévia – Sondagem inicial e sensibilização

Como sensibilização, propomos que você escolha o trecho de um filme que retrate a diversidade da vida no planeta Terra para exibi-lo à classe. Existem vários títulos disponíveis sobre

o tema. Sugerimos o documentário australiano *Fernando de Noronha: o arquipélago dos golfinhos*, que retrata a diversidade de espécies do arquipélago brasileiro. Após a exibição e os comentários dos alunos, proponha uma discussão baseada nas seguintes questões: *É possível perceber a grande diversidade de vida no planeta. Como teriam surgido todas as formas de vida na Terra? O que os seres vivos têm em comum? Do que são constituídas suas células?*



O debate pode ser enriquecido com os textos a seguir. Se possível, relacione as explicações dos alunos às explicações dos textos.

### Etapa 1 – Duas visões sobre a origem da vida

O objetivo da leitura dos dois textos é reconhecer diferenças entre as maneiras religiosa e científica de tratar o tema da origem da vida na Terra. É importante ressaltar, em respeito às crenças religiosas dos alunos, que essas diferentes concepções sobre a origem da vida e dos seres vivos coexistem: a religiosa acredita no criacionismo, em que um ser superior foi o responsável pela criação do Universo e da vida, enquanto a científica está fundamentada em resultados experimentais e advoga que as diferentes formas de vida, atuais e do passado, expressam um

mesmo fenômeno natural, que é resultado de processos inerentes ao próprio planeta Terra. A concepção científica pode ser comprovada em laboratório, conforme a questão proposta no Caderno do Aluno. O fato de a concepção religiosa não poder ser testada em laboratório não a desqualifica, apenas reforça a diferença que existe entre elas.

Para ilustrar essas duas concepções, escolhamos “o mito da criação”, mais conhecido no mundo ocidental, e a proposta científica da “sopa orgânica”. Se houver tempo, e se você achar conveniente, oriente os alunos a pesquisar e apresentar aos colegas de classe explicações de diferentes culturas para a origem da vida. A leitura dos textos seguintes pode ser realizada individualmente, em grupo, ou na forma de jogral, em que cada aluno lê um trecho.

#### Explicação 1 – Encontrada no Genesis 1:1-12 (400 a.C.)

No princípio, criou Deus os céus e a terra.

A terra era sem forma e vazia; e havia trevas sobre a face do abismo, mas o Espírito de Deus pairava sobre a face das águas.

Disse Deus: – Haja luz. E houve luz.

Viu Deus que a luz era boa; e fez a separação entre a luz e as trevas.

E Deus chamou à luz dia, e às trevas noite. E foi a tarde e a manhã, o dia primeiro.

E disse Deus: – Haja um firmamento no meio das águas, e haja separação entre águas e águas.

Fez, pois, Deus o firmamento, e separou as águas que estavam debaixo do firmamento das que estavam por cima do firmamento. E assim foi.

Chamou Deus ao firmamento céu. E foi a tarde e a manhã, o dia segundo.

E disse Deus: – Juntem-se num só lugar as águas que estão debaixo do céu, e apareça o elemento seco. E assim foi.

Chamou Deus ao elemento seco terra, e ao ajuntamento das águas mares. E viu Deus que isso era bom.



E disse Deus: – Produza terra relva, ervas que deem semente, e árvores frutíferas que, segundo as suas espécies, deem fruto que tenha em si sua semente, sobre a terra. E assim foi.

A terra, pois, produziu relva, ervas que davam semente segundo as suas espécies, e árvores que davam fruto que tinha em si a sua semente, segundo as suas espécies. [...] E viu Deus que isso era bom.

Gênesis 1:1-12 (c. 400 a.C.). *Bíblia sagrada*. Domínio público. Disponível em: <[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=16732](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=16732)>. Acesso em: 18 maio 2009.

## Explicação 2 – Teoria da sopa orgânica

Lucilene Aparecida Esperante Limp

Há 4,6 bilhões de anos, o planeta Terra apresentava temperaturas altíssimas. Com o passar do tempo, por um processo muito lento, sua superfície foi esfriando, tornando possível a formação de uma fina camada sólida: a futura crosta terrestre.

Durante o resfriamento, o planeta liberou gases do seu interior, formando uma atmosfera primitiva, muito diferente da que existe hoje, rica em substâncias como gás carbônico (CO<sub>2</sub>), gás nitrogênio (N<sub>2</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>), gás hidrogênio (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e vapor d'água, mas sem gás oxigênio (O<sub>2</sub>).

Muita água e muito calor criaram condições ótimas para a formação de muitas nuvens e fortes tempestades que ajudaram a resfriar o planeta e também a originar os mares. Não havia ozônio e, portanto, a Terra estava desprotegida das radiações solares.

Acredita-se que as descargas elétricas dos raios e as radiações favoreceram a ocorrência de combinações entre os materiais que compunham a atmosfera primitiva e os mares, originando uma “sopa” de substâncias nutritivas que formaram o corpo dos primeiros seres vivos.

O agrupamento dessas substâncias formou gotículas isoladas, células primitivas com a capacidade de se dividir. Essa teoria, conhecida como “teoria da sopa orgânica” ou “teoria da origem molecular da vida”, foi proposta pelo escocês John Sanderson Haldane (1892-1964) e pelo russo Aleksandr Ivanovich Oparin (1894-1980), que, apesar de não terem trabalhado juntos, chegaram à mesma conclusão.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

Com a questão proposta *Como surgiram os primeiros seres vivos?*, espera-se que os alunos relatem suas ideias e crenças pessoais. Muitas são produtos da mídia, da imaginação ou do conhecimento científico adquirido em anos anteriores. Ajude-os a perceber a diferença entre as proposições religiosas e científicas. Converse sobre o fato de a Ciência não se contrapor à religião, por serem concepções diferentes com objetivos diversos.

## Etapa 2 – Discutindo os textos

Nesse primeiro momento, a teoria da “sopa orgânica”, conhecida como teoria da evolução molecular, pode parecer bastante fantasiosa. Após a discussão inicial que relaciona os textos às explicações dadas pelos alunos na etapa prévia, questione-os sobre o porquê da aceitação dessa teoria. Para ampliar a discussão sobre a origem e a característica dos primeiros



seres vivos, sugerimos que sejam discutidos os procedimentos de investigação com base nos artigos a seguir. O objetivo é mostrar aos alu-

nos que o conhecimento é formado pela interpretação de dados. Proponha que os alunos façam a leitura do próximo texto em casa.

### Cinquenta anos de “vida” no laboratório

Marcelo Gleiser (\*)

O ano de 1953 foi notável para a Biologia. James Watson e Francis Crick apresentaram seus resultados sobre a estrutura da molécula de DNA [...]

Mas a estrutura do DNA não foi a única grande descoberta em Bioquímica realizada em 1953. Os americanos Harold Urey e Stanley Miller tentaram algo ainda mais ambicioso: fabricar a vida, ou, ao menos, alguns de seus ingredientes básicos, no laboratório. A origem da vida na Terra era (e ainda é) um grande mistério. E não é para menos. Em sua essência, seres vivos são conjuntos de macromoléculas orgânicas de grande complexidade, capazes de realizar uma série de operações e transformações químicas que levam à sua subsistência (alimentação) e à sua reprodução.

De alguma forma, moléculas inertes, quando combinadas a certo nível de complexidade, se transformam em seres vivos. A questão é como se dá esta combinação, ou melhor, como o simples se torna complexo e, eventualmente, vivo.

Urey e Miller partiram do princípio de que a composição química da Terra primordial era simples. A sua ideia era reproduzir o ambiente de então no laboratório, tentando gerar moléculas orgânicas complexas a partir de moléculas simples. Vem à mente o popular jogo infantil Lego, no qual pequenos blocos, quando conectados de forma correta, produzem estruturas arbitrariamente complexas.

Urey e Miller sugeriram que, se os compostos químicos simples funcionavam como os blocos de Lego, a eletricidade existente na Terra primordial seria a força que fundiria o simples em complexo (equivalente, de certa forma, à inteligência da pessoa que cria as estruturas com Lego, a faísca criadora). Essa eletricidade primordial era consequência da intensa atividade atmosférica da época, que gerava um número enorme de relâmpagos.

A questão era quais elementos químicos deveriam ser usados. Afinal, a receita certa depende do conhecimento das condições da Terra quando ela tinha em torno de 1 bilhão de anos, algo nada trivial. As pistas deixadas dessa época são poucas e eram ainda mais escassas em 1953.

Urey e Miller supuseram que a sopa primordial fosse composta de água, metano, dióxido de carbono e amônia, ou seja, uma mistura de compostos simples contendo os átomos mais essenciais da bioquímica, hidrogênio, carbono, oxigênio e nitrogênio.

Os relâmpagos foram simulados por descargas elétricas, que eram ativadas periodicamente. Após alguns dias, uma análise da mistura acusou a presença de aminoácidos, compostos orgânicos complexos encontrados em todos os seres vivos na Terra, os blocos que compõem as proteínas. Uma década após o experimento de Urey e Miller, cientistas usando processos semelhantes sintetizaram as bases nitrogenadas da molécula de DNA.

Esses experimentos, embora tenham provado que é possível sintetizar moléculas complexas a partir de outras mais simples, estão longe de sintetizar um ser vivo ou mesmo uma molécula de DNA. Críticos



argumentam que o ambiente na Terra primordial era muito diferente e talvez impróprio à geração de moléculas complexas.

Recentemente, cientistas da Nasa mostraram que resultados semelhantes podem ocorrer no espaço, onde eletricidade é substituída por radiação ultravioleta, proveniente de estrelas. Nesse caso, as moléculas que deram origem à vida na Terra seriam provenientes do espaço, transportadas por asteroides e cometas. O debate continua: no espaço ou na Terra, o enigma da origem da vida permanece.

*Folha de S. Paulo*, 29 jun. 2003. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u9476.shtml>>. Acesso em: 18 maio 2009.

(\*) Marcelo Gleiser é professor de Física Teórica do Dartmouth College, em Hanover (EUA), e autor do livro *O fim da terra e do céu*.

### Questões sobre o texto

1. A Figura 1 representa o aparelho construído por Urey e Miller.

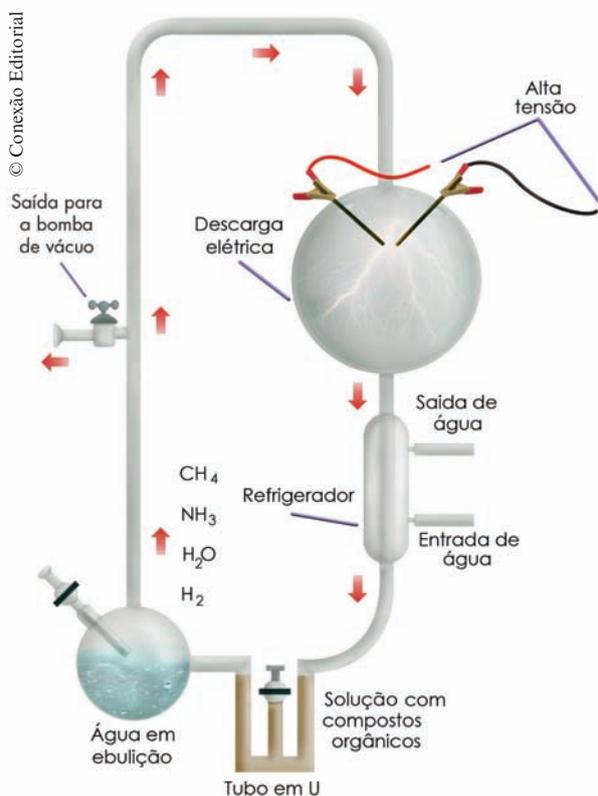


Figura 1 – Esquema do aparelho construído por Urey e Miller.

► Compare sua organização com a descrição do texto e depois responda às questões:

a) Qual era a hipótese de Urey e Miller?

*As macromoléculas orgânicas foram geradas a partir de moléculas simples. A vida se originou dessas macromoléculas. Esse aspecto reforça a teoria da sopa orgânica, porque a partir das substâncias presentes na atmosfera, seria possível produzir substâncias que formam os seres vivos.*

b) Identifique as fórmulas dos compostos utilizados como reagentes e relacione-as com a composição das substâncias orgânicas que formam os seres vivos.

*CH<sub>4</sub> = metano; NH<sub>3</sub> = amônia; H<sub>2</sub>O = água; H<sub>2</sub> = gás hidrogênio. Os reagentes utilizados por Urey e Miller contêm os mesmos átomos que compõem as substâncias orgânicas que formam os seres vivos atuais: carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio.*



- c) Os resultados confirmaram a hipótese dos pesquisadores? Justifique.

*Não confirmaram a hipótese, mas reforçaram a ideia, pois aminoácidos compõem proteínas que são macromoléculas que, por sua vez, compõem as estruturas básicas de todas as células.*

2. Qual é a outra teoria sobre a origem da vida citada no texto? Apresente um argumento favorável e um contrário a essa teoria.

*A outra teoria é da origem extraterrestre ou panspermia, em que os organismos unicelulares foram inseminados na Terra em meteoritos ou pelo vento solar. Estimule os alunos a levantar argumentos favoráveis e contrários à panspermia, por exemplo:*

*O aquecimento e o impacto violento dos meteoros quando entram na atmosfera terrestre e a falta de alimento na Terra são argumentos contrários a essa teoria.*

*Os extraterrestres poderiam ser transportados em meteoritos, já que as temperaturas interiores não são muito altas e a ideia de sementes sobreviventes no espaço também é possível.*

Se sentir necessidade, você pode retomar com os alunos os conceitos de autotróficos, heterotróficos, DNA e outros necessários para a compreensão do texto. Os estudantes podem construir um glossário com esses conceitos. O Caderno do Aluno traz, ainda, mais uma questão solicitando que os alunos comparem as ideias de Urey e Miller com as ideias de Oparin.

### Etapa 3 – Novas evidências sobre a origem da vida

Apesar do trabalho de Urey e Miller e de muitos outros pesquisadores, a origem da vida ainda é um grande mistério. Os cientistas continuam buscando respostas para essa e muitas outras questões que envolvem esse tema, perguntando-se, por exemplo, como seriam os primeiros seres vivos. O diferencial dessa busca é que os cientistas procuram explicar os fenômenos da natureza pelo estudo de evidências. Nesse momento, é oportuno discutir o significado e a importância das evidências para a Ciência. Para introduzir o problema, apresente as seguintes questões:

- ▶ *Ninguém estava presente no momento do surgimento da vida. Assim, como é possível saber o que aconteceu? Que tipo de informações utilizam os cientistas?*

*Os cientistas utilizam evidências como os fósseis e as comparam com os seres vivos atuais buscando ligações e relações entre ambos.*

A informação pode ser complementada com uma pesquisa sobre os fósseis e sua importância para a Ciência. Após a discussão das respostas dadas pelos alunos, solicite que comparem as imagens de estromatólitos e cianobactérias fósseis e atuais propostas no Caderno do Aluno. Se achar conveniente, solicite a leitura dos textos seguintes sobre novas pesquisas envolvendo a origem da vida e os primeiros seres vivos. Estes textos também estão nas páginas finais do Caderno do Aluno.



## Texto 1 – Aparelhos imitam condições de fossas termais

### Experimento reproduz composto essencial para o surgimento da vida

Isabel Gerhard

[...] Pesquisadores dos EUA reproduziram as condições químicas das fossas hidrotermais (aberturas no fundo dos oceanos, ricas em enxofre) e obtiveram um composto essencial para os seres vivos, o ácido pirúvico. Ele é produto da quebra de açúcares e funciona como substrato para produção de energia nas células.

Os resultados da investigação da Carnegie Institution são mais um suporte para a teoria de que a vida surgiu em águas quentes e sulfurosas no fundo do mar. Em junho desse ano [2000], cientistas já haviam noticiado a descoberta de fósseis de micro-organismos com 3,2 bilhões de anos em fossas hidrotermais na Austrália.

Onde a vida começou, quais as condições da Terra desse período e qual foi a primeira entidade capaz de se reproduzir são questões ainda não respondidas pela Ciência sobre a origem da vida. [...]

### Procurando proteção

[Stanley] Miller [cientista norte-americano] acredita que a vida tenha surgido na superfície do planeta, em lagoas junto à praia, formadas pelo recuo das marés. Mas a Terra devia ser atingida por muitos meteoros nesse período, o que tornaria a superfície um ambiente inóspito para a vida. As fossas hidrotermais, no fundo do oceano, poderiam oferecer as condições ideais de formação e proteção, segundo alguns pesquisadores. [...]

O trabalho dos cientistas norte-americanos, que produziram ácido pirúvico nas condições de temperatura e pressão das fossas hidrotermais, fecha o ciclo das reações químicas que devem ocorrer nesse ambiente para a produção de uma molécula que possa ter originado a vida, o peptídeo (um tipo de proteína pequena e sem estrutura definida). [...]

Folha de S. Paulo, 25 ago. 2000.

## Texto 2 – O surgimento do Sistema Solar e a origem da vida

Eliana Collucci

[...]

Existem várias hipóteses sobre os ambientes químicos em que teriam surgido os primeiros monômeros e polímeros, compostos de alto peso molecular formados pela união de estruturas químicas básicas, que são capazes de replicação. A existência de água liquefeita é determinante para a geração e a manutenção das formas de vida que conhecemos hoje.

Os fósseis são restos do processo de mineralização que transforma matéria viva em rocha. Geralmente, apenas porções mais duráveis, tais como ossos e conchas, são conservadas em fósseis, mas, em circunstâncias especiais, outras estruturas, como tecidos e vasos sanguíneos, podem ser preservadas. Os fósseis mais antigos que conhecemos – datados de 3,6 bilhões de anos – foram encontrados na década de 1950 em formações rochosas da África do Sul e da Austrália e são semelhantes às cianobactérias, que ainda hoje podemos observar na costa australiana. Pesquisas recentes detectaram atividade biológica em rochas encontradas na Groenlândia, indicando que a vida na Terra pode ter se originado em períodos ainda mais antigos, há cerca de 3,8 bilhões de anos.

Folha de S. Paulo, 12 set. 2002.



Caso utilize os textos 1 e 2 com os alunos, solicite a eles que sublinhem as hipóteses em vermelho e as evidências em azul. Em seguida, proponha as seguintes questões:

1. Quais as duas hipóteses presentes no texto 1? Há um ponto comum entre elas?

*Uma das hipóteses sugere que a vida tenha surgido no fundo dos oceanos, isto é, nas fossas termais, e a outra, nas águas superficiais de lagos e praias. O ponto comum entre elas é a semelhança dos primeiros seres vivos simples com as bactérias atuais.*

2. O que são fósseis? Qual é a sua importância para a Ciência?

*Os fósseis são restos do processo de mineralização que transforma matéria viva em rocha. Os fósseis são considerados documentos, pois informam como eram os seres vivos no passado, o que permite compará-los com os seres atuais.*

3. Segundo os textos, onde foram encontrados os fósseis mais antigos?

*Os fósseis mais antigos são de bactérias e foram encontrados na Austrália e África do Sul. Estudos atuais pesquisam os mesmos fósseis na Groenlândia.*

4. As ideias atuais sobre a origem da vida confirmam ou refutam as ideias de Oparin?

*As ideias atuais confirmam parcialmente a teoria de Oparin, pois alguns cientistas acreditam que os primeiros seres vivos eram autotróficos. Não complexos como os fotossintetizantes, mas simples como os termófilos atuais, que são quimiossintetizantes.*

5. Os fósseis australianos encontram-se em estromatólitos. Leia o texto a seguir e explique: O que são estromatólitos? Por que o estudo dos estromatólitos é importante para a Ciência?

*Estromatólitos são formações petrificadas, mineralizadas produzidas originalmente por colônias de bactérias. São derivados da ação de bactérias, e não as próprias bactérias.*

### Texto 3 – Fósseis viram piso em shoppings paulistas

Reinaldo José Lopes

Os fósseis mais antigos do Brasil são pisoteados diariamente por várias centenas de pessoas. Não se trata, porém, de mais um caso de desrespeito ao patrimônio: os restos pré-históricos fazem parte do mármore que pavimenta dois shoppings de São Paulo e registram a existência de bactérias por aqui há 2 bilhões de anos.

A rigor, os resquícios, conhecidos como estromatólitos, não são as próprias bactérias, mas resultam da ação delas. [...]

Os estromatólitos ali datam do Paleoproterozoico, uma era na qual grandes quantidades de oxigênio foram injetadas na atmosfera da Terra pela primeira vez.



Por trás dessa grande mudança, estão justamente organismos como os que criaram as estruturas laminadas vistas hoje no mármore dos *shoppings*. As cianobactérias são micróbios muito simples, com um papel geoquímico vital: elas usam a luz do sol para “alimentar” seu metabolismo e, como subproduto, liberam oxigênio.

“Elas formavam uma colônia, cuja existência dependia da luz e de um ambiente de praia”, explica o geólogo Willian Salum Filho, do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Em grego, “estromatólito” quer dizer algo como “tapete de pedra”, e uma olhada mais atenta nas estruturas ajuda a explicar o porquê.

As cianobactérias usavam o substrato debaixo da água rasa para se multiplicar, formando uma espécie de tapete microbiano, cheio de muco. Partículas que flutuam na água e o carbonato de cálcio dissolvido nela tendem a ser capturados por esse limo, afundando quando os micro-organismos morrem. Novas gerações bacterianas voltam a crescer por cima desse sedimento, formando nova lâmina de crescimento. Esse processo, repetido ao longo de milhões de anos, deu origem a verdadeiras colunas de calcário, criadas pela ação das bactérias. [...]

Folha de S. Paulo, 14 abr. 2006.

As respostas podem servir para orientar o fechamento desta Situação de Aprendizagem. Se o tempo for suficiente, sugerimos a discussão

das transformações que ocorreram no planeta a partir do surgimento de seres fotossintetizantes. O Gráfico 1 vai auxiliar na discussão.

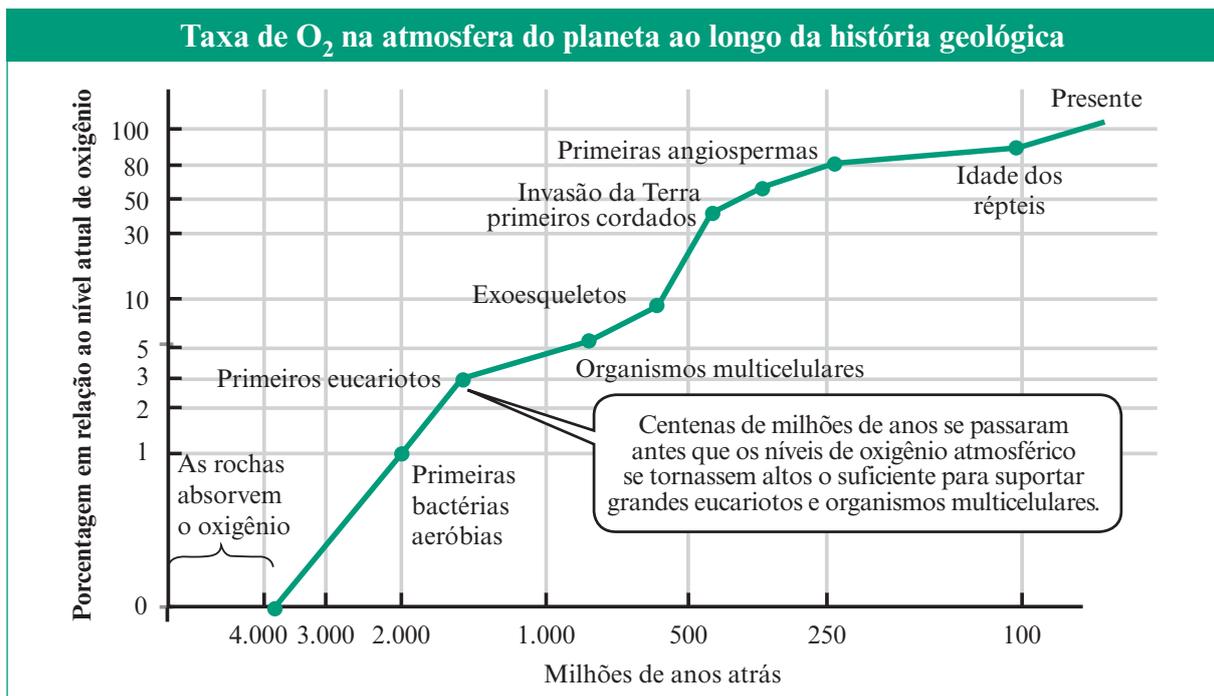


Gráfico 1 – Os eixos do gráfico estão em escala logarítmica.

Fonte: PURVES, W; SADAVA, D.; ORIAN, G.; HELLER, H. *Vida: a ciência da Biologia*. 6. ed. Trad. Anapaula Somer Vinagre et al. Porto Alegre: Artmed, 2002. p. 382.



6. Com base no conteúdo dos três textos e no Gráfico 1, indique as modificações promovidas na atmosfera primitiva pelo surgimento da vida e de bactérias fotossintetizantes. Algas e plantas de terra firme também contribuíram com o fenômeno? Como? Explique como essas modificações favoreceram o desenvolvimento da vida atual.

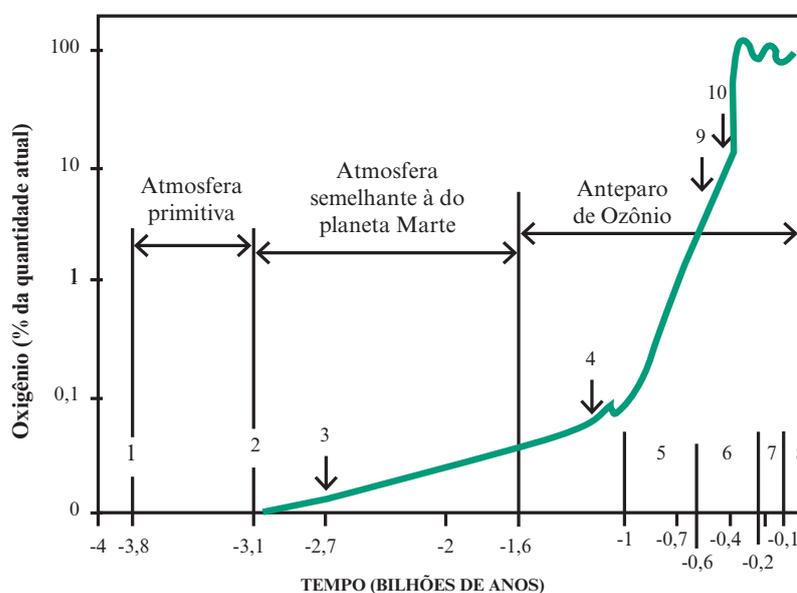
*Com a liberação do gás oxigênio, as cianobactérias injetaram oxigênio na atmosfera, modificando-a. As algas e as plantas terrestres contribuíram com a liberação do gás que, além de modificar a composição da atmosfera, propiciou a formação de um composto, o ozônio (O<sub>3</sub>), que, acumulado nas altas camadas da atmosfera, é fundamental para a vida, pois retém a radiação ultravioleta.*

Durante a correção, é conveniente conversar com os alunos sobre a importância do gás

oxigênio, mas destacando que a camada de ozônio filtra a entrada de radiação ultravioleta. Como finalização, proponha aos alunos que produzam um pequeno texto justificando a seguinte afirmativa: “A Ciência é cumulativa e provisória”. Nesse caso, os alunos deverão utilizar o tema da origem da vida para mostrar como as explicações (modelos explicativos) podem se alterar ao longo do tempo e de que forma essas mudanças estão relacionadas ao modo de fazer Ciência.

### Proposta de avaliação

1. (Enem-2000) O gráfico abaixo representa a evolução da quantidade de oxigênio na atmosfera no curso dos tempos geológicos. O número 100 sugere a quantidade atual de oxigênio na atmosfera, e os demais valores indicam diferentes porcentagens dessa quantidade.



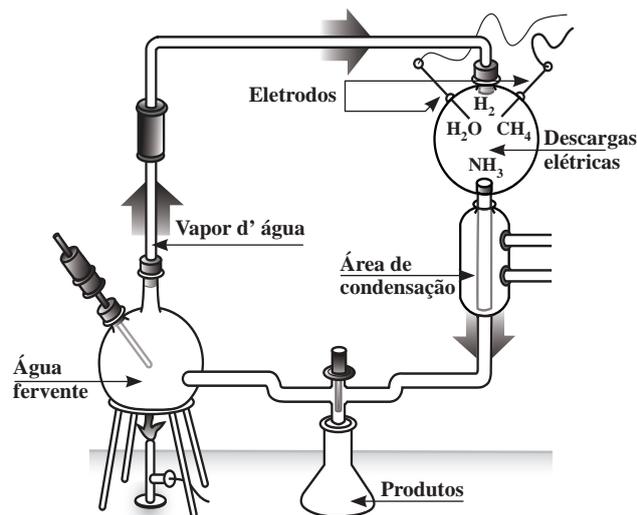
- 1 - Pneumatofera primitiva
- 2 - Aparecimento da vida
- 3 - Começo da fotossíntese
- 4 - Primeira célula eucarionte
- 5 - Pré-cambriano
- 6 - Primário
- 7 - Secundário
- 8 - Terciário e Quaternário
- 9 - Primeiros vertebrados
- 10 - Conquista da Terra



De acordo com o gráfico, é correto afirmar que:

- a) as primeiras formas de vida surgiram na ausência de  $O_2$ .
- b) a atmosfera primitiva apresentava 1% de teor de oxigênio.
- c) após o início da fotossíntese, o teor de oxigênio na atmosfera mantém-se estável.
- d) desde o Pré-Cambriano, a atmosfera mantém os mesmos níveis de teor de oxigênio.
- e) na escala evolutiva da vida, quando surgiram os anfíbios, o teor de oxigênio atmosférico já se havia estabilizado.

2. (Comvest/Vestibular Unicamp–2003) Em 1953, Miller e Urey realizaram experimentos simulando as condições da Terra primitiva: supostamente altas temperaturas e atmosfera composta pelos gases metano, amônia, hidrogênio e vapor d'água, sujeita a descargas elétricas intensas. A figura a seguir representa o aparato utilizado por Miller e Urey em seus experimentos:



a) Qual é a hipótese testada por Miller e Urey neste experimento?

*Os cientistas testaram a hipótese pré-biótica, segundo a qual os gases da atmosfera primitiva poderiam formar, espontaneamente, os compostos orgânicos que originaram as primeiras formas de vida no planeta Terra.*

b) Cite um produto obtido que confirmou a hipótese.

*Aminoácidos.*

c) Como se explica que o  $O_2$  tenha surgido posteriormente na atmosfera?

*Organismos autótrofos fotossintetizantes, surgidos por mutação, liberaram gás oxigênio livre, resultante da fotólise da água.*



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2

### EVOLUÇÃO: OS SERES EM TRANSFORMAÇÃO

O objetivo desta Situação de Aprendizagem é discutir o conceito de evolução a partir do estudo das evidências evolutivas e promover a comparação das teorias evo-

lutivas de Darwin e Wallace e de Lamarck. Além disso, uma situação-modelo permite que sejam evidenciados os principais mecanismos evolutivos.

**Tempo previsto:** 8 aulas.

**Conteúdos e temas:** evidências evolutivas; ideias evolucionistas de Darwin e Wallace e de Lamarck; adaptação e os mecanismos de evolução das espécies: mutação e seleção natural; fatores que interferem na constituição genética das populações: migrações, mutações, seleção e deriva gênica.

**Competências e habilidades:** compreender e discutir as evidências da evolução biológica; identificar os mecanismos geradores (mutação e recombinação) e fatores orientadores (seleção natural) da grande variabilidade dos seres vivos; identificar a estreita relação entre os seres vivos e os ambientes; identificar o papel dos isolamentos geográfico e reprodutivo na formação de novas espécies; reconhecer as principais etapas da evolução dos grandes grupos de organismos.

**Estratégias:** estudo de imagens e textos; jogo com situação-modelo, discussão e pesquisa orientada.

**Recursos:** giz; lousa; e material para o jogo do sucesso reprodutivo.

**Avaliação:** baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados, e na organização das informações no quadro, no resumo e no texto produzido; participação durante o jogo.

### Roteiro para aplicação da Situação de Aprendizagem

#### Etapa prévia – Sondagem inicial e sensibilização

A evolução biológica é a forma de explicar a diversidade de seres vivos que conhecemos. Muito antes de os mecanismos de evolução biológica serem compreendidos, algumas pessoas já imaginavam que organismos se modificavam com o passar do tempo. Para iniciar a discussão, proponha aos alunos a seguinte situação:

#### Evolução biológica

Lucilene Aparecida Esperante Limp

É aniversário de 90 anos da sua bisavó. A família resolveu montar um quadro na entrada do salão de festas com a “árvore da família”, isto é, todos os parentes organizados a partir dos ancestrais comuns. Você foi escolhido para realizar a tarefa, mas não conhece todos os parentes. Como muitos já faleceram e outros só chegarão para a festa à noite, você terá de se basear apenas nas fotos de todos os indivíduos das últimas três gerações.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.



Dê cinco minutos para que os alunos registrem suas hipóteses sobre a questão: *Você acha que conseguirá montar a árvore? Você pode solicitar que alguns deles apresentem suas respostas para a classe.*

Divida a lousa em duas partes e anote do lado direito as dificuldades e/ou as facilidades na realização do projeto.

É oportuno comentar a semelhança entre os obstáculos apontados por eles e as enfrentadas pelos cientistas filogenistas, que buscam estabelecer o parentesco entre os diversos grupos de seres vivos.

### Etapa 1 – O pensamento evolucionista e as relações de parentesco

As relações de parentesco existentes entre cada aluno e seus irmãos podem ser destacadas. Na fecundação, os pais passaram uma combinação de genes que receberam de seus antepassados; portanto, os parentes tendem a ter características comuns.

A seção **Para começo de conversa** do Caderno do Aluno questiona sobre as dificuldades encontradas na elaboração da árvore genética e a relação de parentesco entre os seres vivos.

Em seguida, apresente a Figura 2 e peça aos alunos que respondam às questões que seguem:

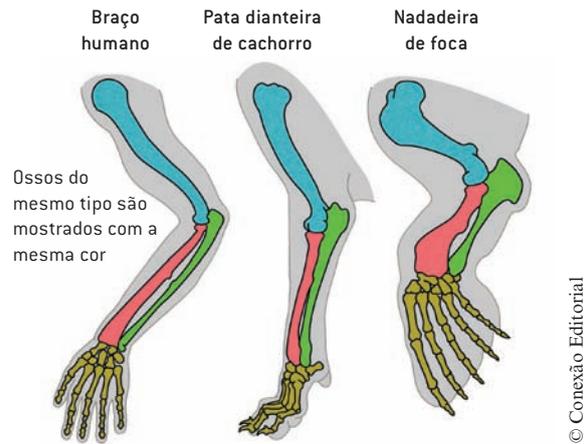


Figura 2 – Braço humano, pata dianteira de cachorro e nadadeira de foca.

Adaptada de PURVES, W.; SADAVA, D.; ORIANI, G.; HELLER, H. *Vida: a ciência da Biologia*. 6. ed. Trad. Anapaula Somer Vinagre et al. Porto Alegre: Artmed, 2002. p. 3.

1. O que é possível observar na Figura 2 quanto à função dos membros e organização dos ossos?

*Os mamíferos apresentam membros similares. É possível observar que, embora tenham diferentes funções, o número e os tipos dos ossos são similares.*

2. De acordo com a imagem, é possível estabelecer relações de parentesco entre os mamíferos?

*A similaridade observada pode indicar parentesco, isto é, que os mamíferos receberam informações de um provável ancestral comum.*

3. Admitir parentesco entre os mamíferos significa dizer que eles se originaram a partir de um ancestral comum. De acordo com essa constatação, proponha uma explicação para as diferenças observadas.



Uma resposta que normalmente os alunos citam é a adaptação, isto é, que as patas se modificaram ao longo do tempo para cumprir funções diferentes. Esse tipo de resposta assinala um pensamento comum à maioria das pessoas: a ideia de que sempre há uma finalidade e uma intenção para as coisas da natureza: “As patas se modificaram ... para ...”.

Sugerimos que a discussão seja conduzida de modo que os alunos percebam que as diversas formas devem ter surgido a partir de um plano original, o que sugere uma origem comum. Destaque que essa é a base do pensamento evolucionista. Muito antes de os mecanismos de evolução biológica serem entendidos, algumas pessoas imaginavam que os organismos mudavam com o passar do tempo e que haviam evoluído de outros já extintos, contestando o proposto pelo criacionismo. Como visto na Situação de Aprendizagem 1, para o criacionismo as espécies teriam sido criadas por Deus e seriam imutáveis.

Se achar conveniente, converse com os alu-

nos sobre o mito de confundir evolução com desenvolvimento. Aponte a diferença substancial que há entre o desenvolvimento de um órgão ou de uma função biológica ao longo da vida de uma pessoa, por exemplo, e a transformação de uma estrutura em outra, de patas a asas, um processo que acontece ao cabo de centenas de gerações. É importante enfatizar a escala de tempo desses processos. Muitos alunos não compreendem certos fenômenos evolutivos por não vislumbrar, convenientemente, o que é uma escala de tempo geológica, medida em milhões de anos.

Se achar necessário e pertinente, identifique o que foi mostrado na Figura 2 como órgãos homólogos, isto é, que se desenvolveram de modo semelhante.

## Etapa 2 – Os fósseis mostram parentesco?

Leia com os alunos, da forma que julgar mais adequada, o texto que segue:

### Texto 4 – No tempo em que as cobras tinham pernas

*Esqueleto de patas de um réptil de mais de 100 milhões de anos pertenceu a um ancestral das cobras.*

*Pachyrachis problematicus* é o nome de um réptil extinto há 100 milhões de anos que, ao ser descoberto no final dos anos 1970, foi classificado como um lagarto. Nesse ano, o biólogo Michael Caldwell, da Universidade de Alberta, Canadá, provou que o esqueleto, apesar de ter patas, pertenceu a um ancestral das cobras. A evolução mostra mesmo que as serpentes surgiram a partir de alguns répteis que, aos poucos, perderam os membros e aprenderam a rastejar. O desafio era achar um fóssil que, ao mesmo tempo, comprovasse a teoria e mostrasse, na prática, como se deu a transformação. E aí o *problematicus*, apesar do nome, promete ser uma solução, pois seus ossos estão em perfeitas condições. Dá para ver as patas lindamente, disse Caldwell à SUPER.

Na serpente fóssil, dá para ver as patas que suas tataranetas não têm mais. A *problematicus*, de 100 milhões de anos, tem patas no final da coluna vertebral.

Revista *Superinteressante*. Editora Abril.

Disponível em: <[http://super.abril.com.br/superarquivo/1997/conteudo\\_116292.shtml](http://super.abril.com.br/superarquivo/1997/conteudo_116292.shtml)>. Acesso em: 18 maio 2009.



Após a leitura, proponha as questões:

1. Nas pesquisas sobre a história dos seres vivos na Terra, os fósseis são de grande importância. Por quê?

*Os fósseis são importantes, pois nos dão informações sobre os seres que viveram no passado e permitem a comparação com os seres que vivem hoje.*

2. Segundo as ideias evolucionistas, todos os seres vivos que existem hoje se diversificaram a partir dos primeiros seres vivos muito simples que se originaram há aproximadamente 3,8 bilhões de anos. O texto 4 confirma as ideias evolucionistas? Explique.

*Sim, o texto corrobora a hipótese sobre o parentesco, pois ele estabelece parentesco entre as cobras atuais e a *Pachyrachis problematicus*.*

3. Levante hipóteses sobre a extinção do réptil *problematicus*.

*Resposta pessoal. Anote as respostas dos alunos, que poderão ser retomadas no final da Situação de Aprendizagem. As respostas de senso comum costumam apontar para a modificação em função da “necessidade” – hipótese que chamamos de *lamarckismo*.*

Durante a correção, ressalte a função dos fósseis como documentos das mudanças sofridas pelos seres vivos ao longo do tempo a

partir de um ancestral comum (evidências do processo de evolução). Se tiver acesso, você pode exibir outros exemplos por meio de imagens. Os alunos podem indicar exemplos de outros tipos de evidências evolutivas. Se achar necessário, auxilie os alunos citando alguns exemplos, como presença de órgãos vestigiais, ontogenia etc. A classe pode levantar várias hipóteses – que poderão ser utilizadas em discussões futuras – para explicar a questão 3.

### Etapa 3 – As ideias evolucionistas

Como as teorias evolucionistas constam em vários livros didáticos e paradidáticos, sugere-se uma pesquisa orientada para trabalhar o tema. Com base em um roteiro prévio, duplas de alunos podem pesquisar em diferentes livros, na sala de aula, na biblioteca da escola ou na biblioteca da cidade, as informações solicitadas, para construir um texto comparativo entre as duas teorias abordadas: a de Lamarck e a de Darwin e Wallace. Em um primeiro momento, cada aluno da dupla pesquisa uma dessas teorias; depois, eles se juntam para produzir o texto comparativo. Um roteiro semelhante ao apresentado pode organizar as informações e auxiliar os alunos nesse processo.

Se achar necessário, retome as orientações para pesquisa: como localizar as fontes de informação e os capítulos que abordam o tema. Se considerar conveniente, prepare com os alunos o roteiro de pesquisa.



Cabe ressaltar que a forma como esse tema aparece em muitos livros didáticos induz os alunos a confrontar a teoria de Darwin e Wallace com a de Lamarck, perpetuando a ideia de que Darwin e Wallace estavam certos e Lamarck, errado. Seria importante que eles compreendessem que, historicamente, esse confronto não existiu. Lamarck precede Darwin e Wallace em quase um século. Então, por que propor uma atividade de comparação entre as duas teorias, como será feito a seguir? Primeiro, para ressaltar a forma como os modelos científicos são historicamente construídos.

Lamarck, a seu tempo, propôs algo muito importante, pois sistematizou e apresentou a ideia de que as diferentes formas de vida se transformavam ao longo do tempo e propôs um mecanismo para explicar como isso ocorre. Darwin e Wallace, décadas depois, partiram da mesma ideia de que as espécies se transformam, porém estabeleceram outro mecanismo explicativo.

Outra intenção ao propor a comparação entre Darwin e Wallace e Lamarck é chamar a atenção para uma característica peculiar do pensamento humano. As pessoas tendem a procurar uma razão, um propósito ou uma finalidade para tudo o que ocorre com elas e com os fenômenos da natureza.

Nesse sentido, os postulados de Lamarck estão em plena sintonia com essa forma

humana de perceber a natureza; talvez, por isso, a dificuldade das pessoas em compreender a natureza estocástica do pensamento darwinista. É comum ouvirmos frases com discurso lamarckista como: “A mitocôndria SERVE PARA realizar a respiração celular e suprir a célula de ATP”. Para os alunos, uma frase como essa pode soar: “As mitocôndrias existem e, portanto, surgiram nas células para produzir ATP”. Ressaltar essas nuances que diferenciam o pensamento de Darwin e Wallace do de Lamarck é muito mais do que conferir quem estava certo ou quem estava errado. Como salienta muito bem o professor Franklin Rumjanekser em seu artigo para a revista *Ciência Hoje*, jan./fev. 2004, no íntimo somos todos lamarckistas.

Para iniciar o trabalho, sugira aos alunos as seguintes reflexões, que estão na seção **Para pensar** do Caderno do Aluno.

O conceito de evolução revolucionou a Biologia e quebrou com o fixismo que dizia que as espécies eram as mesmas desde a origem dos tempos. *Mas como ocorre a evolução? Quais são os mecanismos que permitem a modificação das espécies, o surgimento e até a extinção de outras?* Vários cientistas propuseram teorias evolutivas para explicar essas questões. Duas dessas teorias merecem destaque: a de Lamarck e a de Darwin e Wallace. A seguir, o modelo de roteiro de pesquisa que pode ser proposto aos alunos:

Roteiro de pesquisa	Lamarck	Darwin e Wallace
1. Quem foi e em que época viveu?		
2. Quais as principais influências que sofreu?		
3. Quais os princípios propostos para explicar a evolução e quais as evidências que sustentam os princípios?		
4. Principais equívocos e/ou falhas.		

Se o tempo em sala de aula não for suficiente, a pesquisa pode ser complementada em casa, e os dados reunidos na aula seguinte para a produção dos textos. Nessa aula, algumas duplas podem ler os seus textos e a classe participar de uma discussão coletiva, analisando situações, segundo as teorias de Lamarck e de Darwin e Wallace. A qualidade da discussão dependerá das informações trazidas pelos alunos. O objetivo é diferenciar as propostas de Lamarck e de Darwin e Wallace e destacar os pontos que têm em comum. Se achar conveniente, você pode fazer uma integração com as áreas de Filosofia e História.

Espera-se que os alunos constatem que as ideias evolucionistas já figuravam entre os naturalistas antes mesmo de Lamarck. Espera-se ainda que identifiquem que as ideias lamarckistas e darwinistas apresentam semelhanças: ambas admitem a formação das espécies, a influência dos ambientes na evolução dos seres vivos (adaptação) e o gradualismo.

Sugerimos que o conceito de adaptação seja mais explorado. A adaptação é um con-

ceito fundamental na teoria evolutiva e se refere à propriedade dos seres vivos que os torna capazes de sobreviver e se reproduzir na natureza: podem ser detalhes da estrutura, do metabolismo ou do comportamento.

Diferencie Lamarck de Darwin e Wallace a partir das explicações referentes aos mecanismos responsáveis pela adaptação:

- ▶ Segundo Lamarck, pelo uso e desuso e pela herança dos caracteres adquiridos: isto é, o que não se usa, vai ficando atrofiado, e o que se usa com frequência acaba se fortalecendo. E essas características são transmitidas para as gerações futuras. Portanto, as adaptações aparecem em uma população para desempenhar uma função específica, para adaptá-la ao meio.
- ▶ Segundo Darwin e Wallace, essa adaptação aparece devido a uma seleção natural. As populações biológicas apresentam variações entre seus indivíduos. Essas variações podem permitir que alguns indivíduos sobrevivam a variações do ambiente e os in-



divíduos que sobrevivem podem transmitir essas características aos seus descendentes.

Para verificar se os alunos conseguem estabelecer as diferenças entre as teorias, sugerimos ainda que sejam apresentadas algumas situações, solicitando aos alunos que as expliquem à luz das teorias de Darwin e Wallace e de Lamarck. Espera-se que os alunos concluam que as explicações de Darwin e Wallace são mais viáveis, embora o cientista não tenha explicado o surgimento das variações existentes entre os seres vivos.

#### Etapa 4 – Evolução dos palitos: como a evolução trabalha?

Com o objetivo de apresentar de forma lúdica os conceitos relacionados à atual teoria evolutiva, propomos a atividade: evolução dos palitos. Sugerida pelo prof. Roberto Ternes Arrial da Universidade de Brasília, em abril de 2008, ela está disponível na página do MEC (Ministério da Educação e Cultura): <[http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/mec/2458/1/Evolucao\\_palitos.pdf](http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/mec/2458/1/Evolucao_palitos.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2009.

Professor, o objetivo desta atividade é que os alunos façam um desenho coletivo, que, somente no final da atividade, será interpretado como a história evolutiva de um organismo. Cada aluno contribuirá fazendo um traço (representando a evolução do organismo) no desenho inicial, que tem apenas um traço, e passará ao colega seguinte. A evolução será, portanto, a contribuição de cada aluno. Antes de iniciar, elabore um plano que contemple vários eventos do processo de evolução. O isolamento geográfico de uma espécie, por exemplo, pode ser representado duplicando um desenho para dois alunos. Você também pode retirar um dos desenhos da atividade para marcar um evento de extinção em massa. Esse plano leva em conta a quantidade de alunos em sala e quais conceitos você deseja abordar.

#### Evolução dos palitos

**Material:** folhas de papel e canetas

O objetivo dessa atividade é elaborar um desenho coletivo. Cada aluno contribui com o desenho fazendo um traço e passa esse desenho para o colega seguinte.

##### Regras

- ▶ Você só pode fazer um traço, e sempre uma linha reta.
- ▶ Com exceção do primeiro aluno, o traço sempre deve ser feito sobre a cópia do desenho que o aluno anterior fez. Ao receber o desenho do colega, faça uma cópia exata, sem alterações. Guarde o desenho original até o final da atividade. Na cópia, faça seu traço e passe esse papel adiante.
- ▶ Conforme o plano traçado pelo professor, um aluno deve alterar um ou mais desenhos.



### Significado biológico

Na seção **Roteiro de Experimentação** do Caderno do Aluno, propomos algumas questões que podem encaminhar a interpretação da atividade.

Os primeiros traços esboçados são os organismos primordiais. Cada desenho passado para o colega representa uma geração de indivíduos, e o colega que recebe o desenho representa a seleção natural, que elimina o desenho do colega anterior; ao mesmo tempo, esse aluno representa também a mutação, já que introduz no descendente uma característica nova.

Esse descendente é selecionado positivamente. Nos últimos desenhos (topo da escala evolutiva) estão os organismos melhor adaptados. Seriam, por exemplo, os organismos com os quais convivemos hoje.

Espera-se com essa atividade reforçar a ideia das árvores filogenéticas, isto é, os seres vivos surgem progressivamente de seres vivos ancestrais.

Se achar conveniente, retome com os alunos as árvores filogenéticas trabalhadas no Caderno do volume 1.

Veja a Figura 3 que é um exemplo do resultado da atividade.

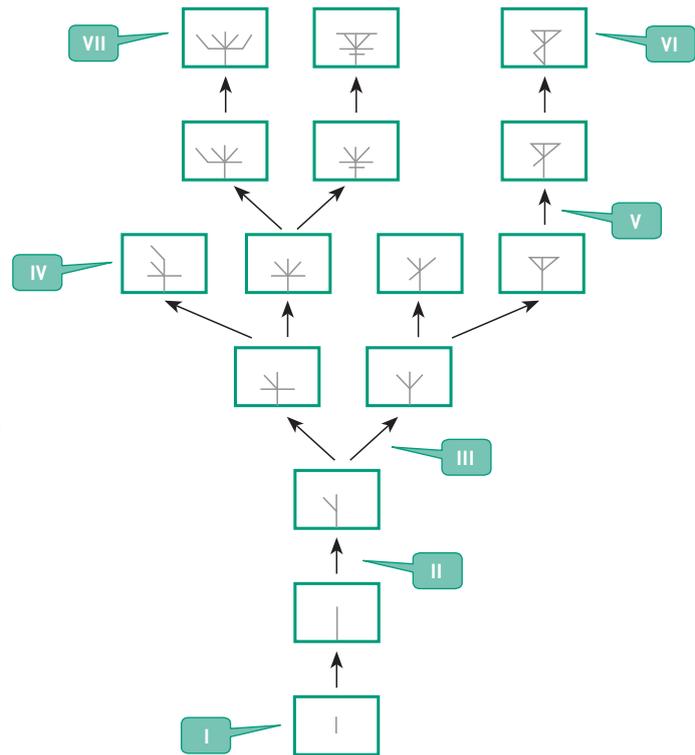


Figura 3 – Esquema de um possível resultado da evolução dos palitos.

### Sugestões de conceitos que podem ser trabalhados na discussão da atividade

#### Organismo primordial

É o quadro indicado por I da Figura 3. Esse quadro e os dois seguintes podem também ser considerados fósseis. Evolução de uma espécie: ilustrado entre II e V, observar que caracteres são herdados (descendência) e um novo caractere é desenvolvido (mutação). Destaque que as mutações não são direcionadas. As mutações podem ser positivas, negativas ou neutras, depende da relação dos indivíduos com o ambiente. As mutações podem ser gênicas ou cromossômicas. Retome o papel das recombinações garantidas pela reprodução sexuada (trabalhadas no Caderno 2). O Caderno do



Aluno, na seção **Lição de Casa**, traz alguns questionamentos sobre o tema.

### Seleção natural

Cada vez que um aluno modifica o desenho e passa esse mesmo desenho para o colega, o desenho anterior é extinto. Isso porque a seleção natural privilegiou seu novo desenho e determinou o desaparecimento do desenho que lhe foi passado. Destaque que a seleção natural atua sobre as variações dos seres vivos e que as características não surgem com uma ou outra finalidade. As populações vão sofrendo modificações ao longo do tempo, pois os ambientes estão em constante transformação. Vale ressaltar que, na época de Darwin e Wallace, não havia muitos conhecimentos de Genética e que, atualmente, a evolução é explicada pela teoria neodarwinista, que é a teoria darwinista acrescida dos conhecimentos de Genética.

Se achar conveniente, complete com a classe o esquema, como na Figura 4, disponível na seção **Você Aprendeu?** do Caderno do Aluno, que sintetiza a Teoria Moderna da Evolução.

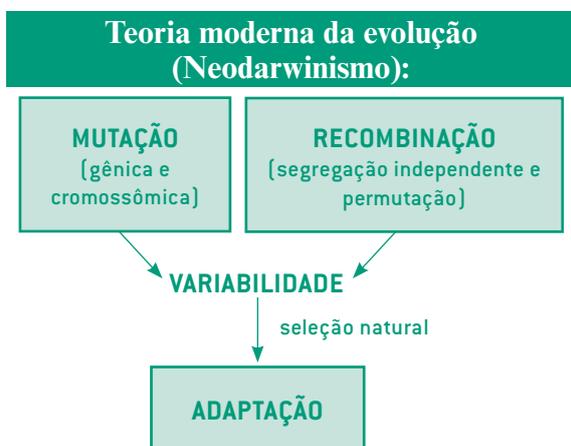


Figura 4.

### Especiação

A transmissão das variações selecionadas não parece garantir a formação de espécies diferentes. Proponha aos alunos a seguinte situação: ocorreu algum evento que separou a população, como no momento III da Figura 3. Esse evento poderia ser, por exemplo, um isolamento geográfico ocasionado por uma barreira, como o aparecimento de um rio ou uma montanha, após um terremoto. Um dos ambientes continuou com suas características de floresta e outro se transformou em campo. Os dois grupos, portanto, estão sujeitos a pressões seletivas diferenciadas. Não há mistura de material genético, pois os dois grupos estão completamente separados. Proponha as seguintes questões aos alunos:

- ▶ O que ocorrerá com as características dos dois grupos?
- ▶ Em que momento as diferenças serão significativas a ponto de termos espécies diferentes?

*Espera-se que os alunos reconheçam o aparecimento de uma nova espécie quando essas duas populações estiverem isoladas reprodutivamente, isto é, divergiram tanto, a ponto de não poderem mais se cruzar, e mesmo que o consigam, não geram prole fértil.*

Outros conceitos podem ser discutidos a partir da Figura 3:



### Extinção em massa

Dois espécies são extintas por um evento de extinção em massa. Uma dessas espécies é a IV. Das duas outras espécies restantes, uma sofre especiação e a outra segue a evolução da espécie. Note que a espécie I e as outras espécies ancestrais também são extintas no decorrer da atividade.

### Homologia

A espécie identificada como I possui apenas um caractere, que é um grande traço central. Observando a espécie identificada como VI, é possível verificar que esse caractere ainda está presente e possui a mesma função que possuía em I: a sustentação principal do organismo. Por isso, diz-se que esse traço central é um órgão homólogo de I e VI.

### Analogia

Se identificarmos um traço (órgão), inventarmos que ele exerce a função de reprodução, e ele aparece na espécie VII e não na VI, e se dissermos que a espécie VI possui um traço que não está presente em VII e possui essa mesma função, então, dizemos que esses órgãos são análogos. Isso porque esses órgãos não possuem ancestralidade comum, mas exercem funções semelhantes. A analogia é uma forma de convergência evolutiva.

### Radiação adaptativa

Desde o organismo primordial (I) até a evolução das últimas três espécies (no topo da figura), com diferentes adaptações, diz-se que ocorreu um evento de radiação adaptativa.

Professor, você pode criar ou excluir quantas ramificações achar necessário, adaptando a atividade aos conceitos que deseja trabalhar e à quantidade de alunos em sala.

Nem sempre os desenhos farão sentido e serão reconhecíveis. Recomendamos que você sempre recorra à criatividade dos alunos, estimulando-os a sugerir com qual organismo os desenhos se parecem.

O ideal é que você faça um plano inicial de como deseja que se forme o cladograma, mas deve estar preparado para fazer alterações nesse plano no desenrolar da atividade, pois o resultado pode ser até mais interessante do que o inicialmente planejado.

A partir dos organismos gerados, você pode fazer pausas na atividade e pedir aos alunos que avaliem o que está ocorrendo: quais caracteres estão surgindo entre os organismos, quais se extinguiram etc.

A quantidade de organismos gerados não necessariamente deve ser igual à quantidade de alunos em sala. Basta que todos estejam atentos ao que os outros estão fazendo. Cabe a você encerrar a atividade mesmo que alguns alunos não tenham participado do desenho.

### Etapa 5 – Evolução e frequência gênica

Atualmente, as teorias evolutivas são amplamente aceitas e, graças aos avanços nos estudos paleontológicos, ecológicos e genéticos, podemos entender mecanismos que Darwin e



Wallace em sua época não podiam. Em Genética, entendemos evolução como variação das frequências gênicas em uma população em um período de tempo. Para discutir esse assunto, propomos o jogo do sucesso reprodutivo adaptado do material produzido pela Secretaria da Educação de São Paulo: *Subsídios para implementação da proposta curricular de Biologia para o Segundo Grau*. Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas, SEE/CENP/1979 (v. 3, Genética).

O objetivo principal é compreender os fatores evolutivos e o papel da frequência dos genes na evolução, permitindo ainda discutir o princípio de Hardy-Weinberg.

G. H. Hardy, um matemático inglês, e W. R. Weinberg, um médico alemão, propuseram o princípio da hipotética estabilidade gênica, isto é, uma população encontra-se em equilíbrio de Hardy-Weinberg, se não estão ocorrendo mudanças na sua estrutura gênica, de uma geração para outra. Para que isso ocorra, são necessárias diversas condições, como: (a) a população é muito grande; (b) os acasalamentos das variedades genéticas ocorrem ao acaso; (c) não há influência de fatores evolutivos (mutação, seleção natural ou migração).

Para analisar o efeito da mutação e da seleção natural na variação genética de uma população, usaremos a siclemia como exemplo do jogo. Antes de começar a jogar, explique aos alunos que a siclemia é o resultado de

uma mutação genética. Essa mutação ocorre no gene codificador da molécula de hemoglobina A e gera um alelo diferente que produz a hemoglobina S responsável pela anemia falciforme ou siclemia. Se achar conveniente, faça uma pesquisa com a turma sobre o processo de mutação.

Representamos por Hb o alelo que determina a síntese de hemoglobina A e por Hb<sup>s</sup> o alelo originado por mutação que determina a síntese de hemoglobina S.

Os indivíduos que apresentam genótipo Hb<sup>s</sup>Hb<sup>s</sup> são siclêmicos, isto é, 90% das hemoglobinas presentes nas hemácias são do tipo S. Nessas pessoas, quando a tensão de oxigênio no sangue é baixa, as hemácias se deformam, passando a ter forma de foice. Essas hemácias são destruídas pelo organismo e o resultado é uma anemia intensa que, na maioria das vezes, é fatal – o siclêmico geralmente morre antes da adolescência. Essa anemia, conhecida como anemia falciforme ou siclemia, é frequente em países da África. Os indivíduos HbHb têm hemoglobina A; são normais. Os heterozigotos (HbHb<sup>s</sup>) apresentam anemia atenuada que não é fatal e têm hemácias com hemoglobina A (cerca de 60%) e hemácias com hemoglobina S (cerca de 40%).

### Jogo do sucesso reprodutivo

Cada rodada de cada grupo representa uma população africana isolada, com cruzamentos



ao acaso, que contém em seu patrimônio genético os alelos  $Hb^s$  e  $Hb$ . A segunda rodada representa uma população de região com alta incidência de malária.

Antes de iniciar a atividade, peça aos alunos que levantem uma hipótese: *O que acontecerá com o alelo  $Hb^s$  após cinco gerações em uma população fechada?*

### Materiais

- ▶ 50 feijões pretos e 50 feijões brancos ou rajados
- ▶ 1 saco de papel
- ▶ 3 potes ou copos descartáveis de 200 mL
- ▶ etiquetas
- ▶ canetas
- ▶ 10 cartas de baralho (7 vermelhas e 3 pretas) ou cartões de duas cores diferentes, na proporção

### 1ª rodada

#### Passo 1

- ▶ Coloque os 100 feijões no saco de papel. Os feijões pretos representam o alelo  $Hb^s$  (variação do gene para hemoglobina S) e os rajados ou brancos os alelos  $Hb$ . Esse é o patrimônio genético da população.

#### Passo 2

- ▶ Um dos potes deve ser etiquetado com as letras  $Hb^s Hb^s$ , genótipo homocigoto. O segundo pote com  $Hb Hb^s$  para heterocigotos e o terceiro  $Hb Hb$  para o genótipo homocigoto.

#### Passo 3

- ▶ O saco de papel deve ser agitado e, sem olhar, devem ser sorteados dois feijões de cada vez. Anote os resultados na tabela ao lado da “geração 1”. Por exemplo, se você retirar um feijão de cada cor, anote uma marca na coluna  $Hb Hb^s$ . Coloque o genótipo no pote adequado.

#### Passo 4

- ▶ Nesta primeira rodada, considere que todos os indivíduos homocigotos morram na infância. Os indivíduos que apresentam genótipo  $Hb^s Hb^s$  morrem antes de se reproduzirem e seus genes não



são transmitidos à geração seguinte. Só os indivíduos  $Hb Hb^s$  e  $Hb Hb$  é que vão contribuir para o patrimônio genético da geração seguinte. Repita o passo anterior por mais quatro gerações.

#### Passo 5

- ▶ Calcule as frequências dos alelos a cada geração.

O Caderno do Aluno propõe um modelo de tabela para anotar os resultados da primeira rodada.

#### Análise dos resultados

1. Os resultados da primeira rodada comprovaram a hipótese inicial? Se não, explique.

*A resposta depende da hipótese prévia dos alunos. É comum que proponham o desaparecimento do alelo  $Hb^s$ . Os heterozigotos mantêm o alelo na população.*

2. O que aconteceu com a frequência do alelo  $Hb^s$  ao longo das gerações? Procure explicar as alterações que ocorreram ao longo das gerações. Compare os resultados com os demais grupos da sala.

*A frequência do alelo  $Hb$  aumenta e a do  $Hb^s$  diminui. A seleção natural é o agente causador da variação. Quanto à comparação dos resultados da sala, é comum a existência de resultados muito variados, embora todos tendam à diminuição da frequência do alelo  $Hb^s$  e ao aumento do  $Hb$ . Sugerimos que aproveite esta e a próxima questão*

*para discutir o isolamento geográfico e o que aconteceria se os ambientes isolados fossem distintos.*

3. O que aconteceria com a frequência dos alelos  $Hb^s$  e  $Hb$  ao longo das gerações em um ambiente onde os indivíduos homozigotos  $Hb^s Hb^s$  fossem viáveis?

*Sem a seleção dos homozigotos  $Hb Hb$ , as frequências se manteriam em equilíbrio, constantes.*

4. Como a imigração e a emigração afetariam a frequência de  $Hb^s$  e  $Hb$  nessa população?

*A imigração e a emigração são fatores evolutivos que contribuem com a entrada ou a saída de alelos  $Hb^s$  e  $Hb$  variando as frequências alélicas, “gênicas”. Isto é, mantêm o fluxo gênico entre populações distintas.*

5. O que aconteceria com a frequência dos alelos  $Hb^s$  e  $Hb$  se fosse mais vantajoso ser  $Hb Hb^s$ ?

*A variação das frequências seria outra.*



6. O que aconteceria com a frequência dos alelos se apenas um pequeno grupo contribuisse com os genes da próxima geração?

*Eventos aleatórios podem alterar a frequência dos alelos. Uma redução da população ou outro evento podem limitar os indivíduos que contribuem com genes para a próxima geração. Se apenas alguns indivíduos contribuem com seus genes para a próxima geração, os alelos que eles possuem provavelmente*

*te não representarão as frequências alélicas de toda a população a que eles pertencem e a nova geração terá uma frequência diferente da geração anterior. O nome desse processo é deriva gênica.*

*No caso da atividade, os alelos  $Hb^s$  podem ter sua frequência aumentada devido à deriva gênica; ou então os alelos  $Hb$ , ao se encontrarem em frequência muito baixa, podem desaparecer.*

## 2ª rodada

### Passo 6

- ▶ Repita os passos 1, 2 e 3.

### Passo 7

- ▶ Nesta nova rodada, além de considerar a morte de todos os siclêmicos na infância, considere também a resistência dos indivíduos  $HbHb^s$  à malária. Todos os siclêmicos homocigóticos  $Hb^sHb^s$  morrem, na infância, em consequência da anemia e todos os heterocigotos resistem à malária. A incidência de malária na região é alta, portanto considere que 70% dos indivíduos normais  $HbHb$  morrem na infância em consequência da malária. Para decidir se os indivíduos sobrevivem à malária, utilize as cartas do baralho (ou cartões de cores diferentes na proporção). Cada vez que uma carta vermelha for retirada, o indivíduo de genótipo  $HbHb$  morre. Repita o passo 4 e, quando se formar um indivíduo  $HbHb$ , submeta-o à seleção (cartas vermelhas e pretas).

### Passo 8

- ▶ Em cada geração, calcule o número de alelos  $Hb^s$  e  $Hb$  do novo patrimônio genético e suas respectivas frequências.

Utilize a tabela proposta no Caderno do Aluno para anotar os resultados desta segunda rodada.

7. O que aconteceu com a frequência dos alelos  $Hb^s$  e  $Hb$ ?



*Embora haja alteração de uma geração para outra, espera-se que as variações sejam pequenas.*

8. A seleção natural está agindo nas populações africanas? Neste caso, quais são os indivíduos favorecidos? Por quê?

*Sim. São favorecidos os indivíduos heterozigotos, porque, apesar de apresentarem anemia atenuada, são resistentes à malária.*

9. Os resultados desse jogo são um exemplo de evolução? Explique.

*Sim, se considerarmos a evolução como a variação na frequência gênica e alélica em uma população. A seleção natural atuando sobre um alelo letal em homozigose pode causar variações na frequência dos alelos em uma população. Em ambiente onde haja malária, a seleção natural favorece os heterozigotos para siclemia, porque são os mais adaptados. Em consequência, o alelo Hb<sup>s</sup> é mantido na população com uma frequência relativamente alta. A seleção é um dos fatores que altera o equilíbrio gênico das populações. Mudando o ambiente, a seleção natural pode agir de forma diferente. Entretanto, outros fatores evolutivos também interferem, como mutação, migração e a deriva gênica.*

### **Proposta de avaliação**

1. Cite três evidências que apoiam a teoria da evolução biológica.

*Registros fósseis, evidências anatômicas e fisiológicas (órgãos homólogos, órgãos vestigiais, evidências moleculares) etc.*

2. “As populações humanas que vivem nas regiões tropicais têm de suportar uma intensa radiação solar. Para enfrentar tal condição, as células da pele desses indivíduos adquiriram a capacidade de fabricar muita melanina.” Discuta as ideias contidas na afirmação, tendo como base a teoria de Lamarck e a de Darwin e Wallace.

*As ideias tais como expressas identificam-se com o pensamento lamarckista, pois sugerem que o ambiente forçou a mudança nos indivíduos (as células adquiriram a capacidade de fabricar muita melanina para enfrentar a radiação solar). Segundo a teoria evolucionista, proposta inicialmente por Darwin e Wallace, as populações são compostas de diferentes tipos de indivíduos, e aqueles que possuem a capacidade de fabricar mais melanina apresentam, nas regiões com grande insolação, uma vantagem em relação aos que não possuem: são selecionados positivamente e a frequência dessa característica (mais melanina) tende a aumentar na população.*

3. (Fuvest–2000) Os fatos a seguir estão relacionados ao processo de formação de duas espécies a partir de uma ancestral:

I. Acúmulo de diferenças genéticas entre as populações.



II. Estabelecimento de isolamento reprodutivo.

III. Aparecimento de barreira geográfica.

a) Qual é a sequência em que os fatos anteriores acontecem na formação das duas espécies?

III, I, II

b) Que mecanismos são responsáveis pelas diferenças genéticas entre as populações?

*Mutação, recombinação gênica, permutação e seleção natural.*

4. (Fuvest–2002) A bactéria *Streptococcus iniae* afeta o cérebro de peixes, causando a “doença do peixe louco”. A partir de 1995, os criadores de trutas de Israel começaram a vacinar seus peixes. Apesar disso, em 1997, ocorreu uma epidemia causada por uma linhagem de bactéria resistente à vacina. Os cientistas acreditam que essa linhagem surgiu por pressão evolutiva induzida pela vacina, o que quer dizer que a vacina:

a) induziu mutações específicas nas bactérias, tornando-as resistentes ao medicamento.

b) induziu mutações específicas nos peixes, tornando-os suscetíveis à infecção pela outra linhagem de bactéria.

c) causou o enfraquecimento dos órgãos dos peixes permitindo sua infecção pela outra linhagem de bactéria.

d) levou ao desenvolvimento de anticorpos específicos que, ao se ligarem às bactérias, tornaram-nas mais agressivas.

e) permitiu a proliferação de bactérias mutantes resistentes, ao impedir o desenvolvimento das bactérias da linhagem original.

5. A moderna teoria da evolução está fundamentada em três mecanismos evolutivos. A (I) e a (II) são os mecanismos evolutivos responsáveis pela variabilidade entre os seres vivos. Já a (III) é o mecanismo evolutivo responsável pela direção no processo evolutivo. Assinale a alternativa que completa a frase corretamente:

a) (I) recombinação gênica; (II) seleção natural; (III) mutação.

b) (I) seleção natural; (II) migração; (III) recombinação gênica.

c) (I) mutação; (II) seleção natural; (III) recombinação gênica.

d) (I) mutação; (II) recombinação gênica; (III) seleção natural.

e) (I) recombinação; (II) deriva gênica; (III) migração.



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3

### GRANDES LINHAS DE EVOLUÇÃO DOS SERES VIVOS

A proposta desta Situação de Aprendizagem é proporcionar aos alunos a oportunidade de analisar várias representações sobre a história geológica e a história da vida na Terra. A ideia é propor uma comparação entre os vários instrumentos que podem ser usados para evidenciar como, ao longo do tempo, os fatores vivos e os elementos não vivos do ambiente se

modificam, de modo que os alunos possam compreender as grandes linhas de evolução dos seres vivos.

Por meio da leitura de figuras, gráficos e árvores filogenéticas, pretende-se discutir as grandes linhas da evolução dos seres vivos.

**Tempo previsto:** 4 aulas.

**Conteúdos e temas:** grandes linhas de evolução dos seres vivos; árvores filogenéticas.

**Competências e habilidades:** conhecer a influência das condições ambientais, do tipo de clima e da temperatura durante a história da Terra; ler e interpretar gráficos sobre as variações de clima e temperatura; compreender como as inovações evolutivas se sucederam ao longo dos períodos geológicos; reconhecer em figuras e árvores filogenéticas as relações de parentesco entre os seres vivos.

**Estratégias:** estudo e discussão de textos, gráficos, tabelas e imagens; pesquisa orientada.

**Recursos:** Caderno do Aluno; giz; lousa.

**Avaliação:** baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados e na organização das informações.



## Roteiro para aplicação da Situação de Aprendizagem

### Etapa 1 – História da Terra – Como a Terra tem mudado ao longo do tempo?

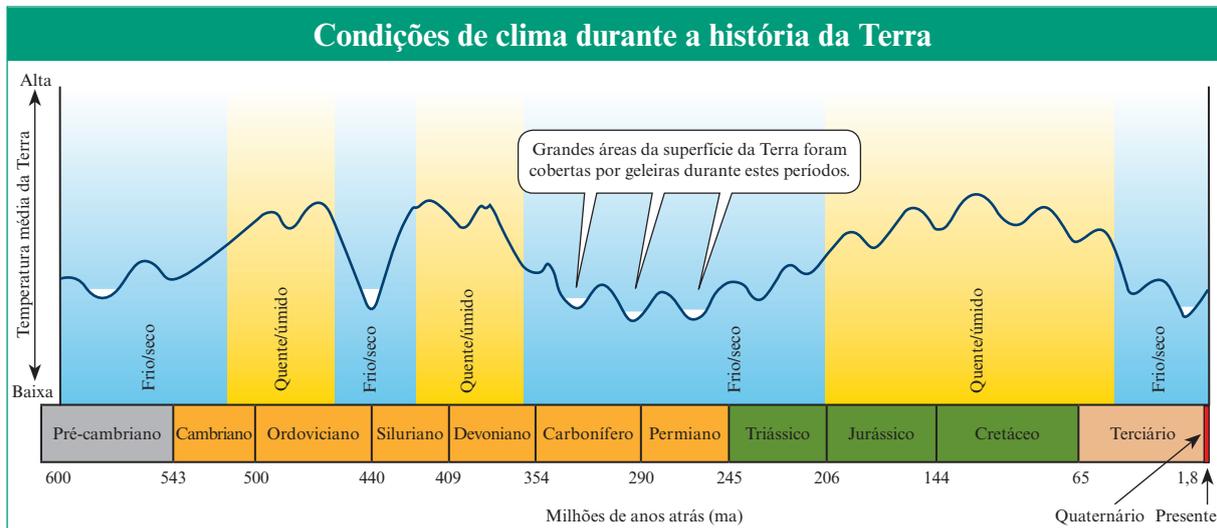


Gráfico 2.

Fonte: PURVES, W.; SADAVA, D.; ORIAN, G.; HELLER, H. *Vida: a ciência da Biologia*. 6. ed. Trad.: Anapaula Somer Vinagre et al. Porto Alegre: Artmed, 2002. p. 383.

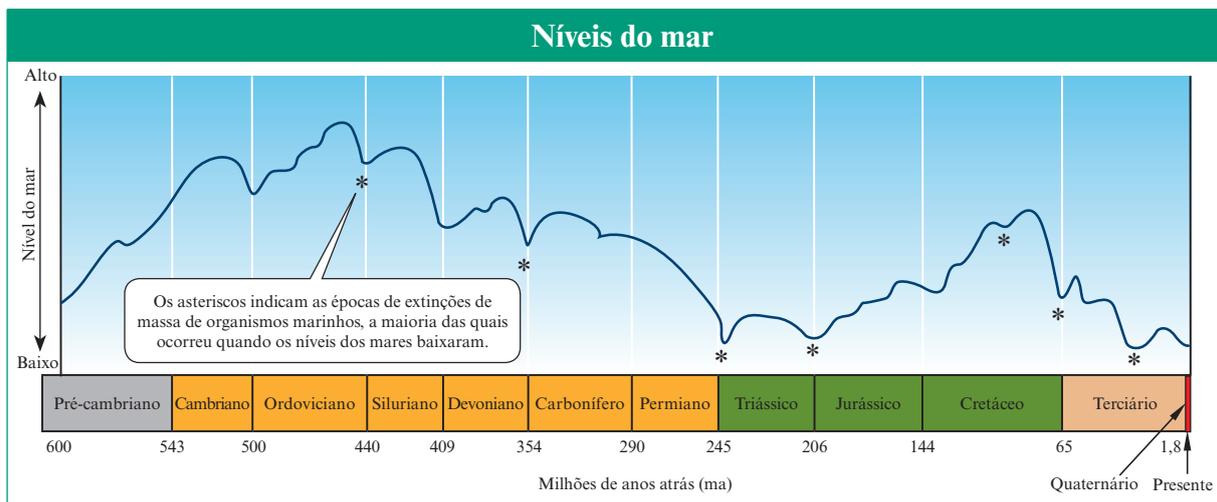


Gráfico 3.

Fonte: PURVES, W.; SADAVA, D.; ORIAN, G.; HELLER, H. *Vida: a ciência da Biologia*. 6. ed. Trad.: Anapaula Somer Vinagre et al. Porto Alegre: Artmed, 2002. p. 383.

Apresente aos alunos os Gráficos 2 e 3. Para auxiliá-los na análise, encaminhe as questões a seguir.

1. De modo geral, o que podemos dizer sobre as condições do clima durante a história da Terra? E sobre a temperatura?



*É possível notar que o clima da Terra tem oscilado entre as condições quentelúmido e friol seco. Em boa parte da história, a Terra foi bem mais quente do que nos dias atuais. Por outro lado, durante os períodos de glaciação, a Terra foi mais fria do que atualmente.*

- De modo geral, o que podemos dizer sobre o nível do mar e as extinções dos organismos marinhos?

*O nível do mar tem mudado repetidamente. É possível notar que a maioria das extinções em massa de organismos marinhos tem coincidido com períodos de baixo nível do mar.*

- Examine o Gráfico 1 (Situação de Aprendizagem 1, página 17). O que é possível dizer sobre a variação da concentração

do gás oxigênio no planeta ao longo de sua história evolutiva? Explique como os seres vivos alteraram a composição da atmosfera terrestre.

*É possível notar que, no princípio, a Terra tinha pouco ou nenhum gás oxigênio livre. Ao longo da história evolutiva da Terra, a concentração desse gás aumentou. Grande parte das mudanças deve-se à atuação dos seres vivos.*

## Etapa 2 – A história da vida na Terra

Dando continuidade à temática sobre a evolução dos seres vivos no planeta Terra, realize com os alunos a leitura do texto 5: *As novidades evolutivas e a história da vida na Terra.*

### História evolutiva da vida e os períodos geológicos

Milhões de anos atrás	4 500	3 800	2 500	600	543 – 510	510 – 440	440 – 409
<b>Era</b>	<b>PRÉ-CAMBRIANO</b>			<b>PALEOZOICO</b>			
<b>Período</b>				<b>Cambriano</b>	<b>Ordoviciano</b>	<b>Siluriano</b>	<b>Devoniano</b>
<b>Eventos físicos importantes</b>	Origem da Terra	Aparecimento do oxigênio	Oxigênio abundante	Nível de oxigênio próximo ao atual			
<b>Eventos biológicos importantes</b>	Origem da vida – fósseis mais antigos	Fotossíntese – evolução dos eucariotos Aparecimento dos pluricelulares	Diversificação dos pluricelulares	Diversificação das algas e dos invertebrados	Grande expansão dos invertebrados e dos peixes sem mandíbula	A vida invade a terra: aparecimento das primeiras plantas vasculares e dos peixes com mandíbulas	Ap da: ser ant

Dados adaptados para fins didáticos de: PURVES, W.; SADAVA, D.; ORIAN, G.; HELLER, H. *Vida: a ciência da Biologia*. 6. ed. Tradução de Anapaula Somer Vinagre et al. Porto Alegre: Artmed, 2002. p. 380 e 381.

**Extinção em massa**

Figura 5.







Os eventos biológicos que precederam esses momentos são grandes extinções.

3. Proponha uma hipótese que relacione os eventos.

*Espera-se que os alunos percebam que vários eventos na história evolutiva da Terra causaram extinções em massa, como derramamento de lavas vulcânicas, mudanças oceânicas, variação de temperatura, movimentação dos continentes e até mesmo meteoros. Os poucos organismos sobreviventes aos eventos de extinção em massa puderam proliferar e diversificar-se em diferentes linhagens que vieram a dominar a Terra.*

### Etapa 3 – As “árvores da vida”

A incrível riqueza do mundo biológico atual resultou de milhões de eventos de especiação. A história da descendência de um grupo de organismos e de seu ancestral é representada pela filogenia. As linhagens de organismos podem ser representadas como “árvores ramificadas” – as “árvores da vida” – que mostram a ordem em que grupos de organismos (clados) se separaram.

As árvores a seguir (Figuras 6 e 7) representam filogenias simples. Solicite aos alunos que as relacionem com a Figura 4 da etapa anterior e, depois, respondam às questões propostas.

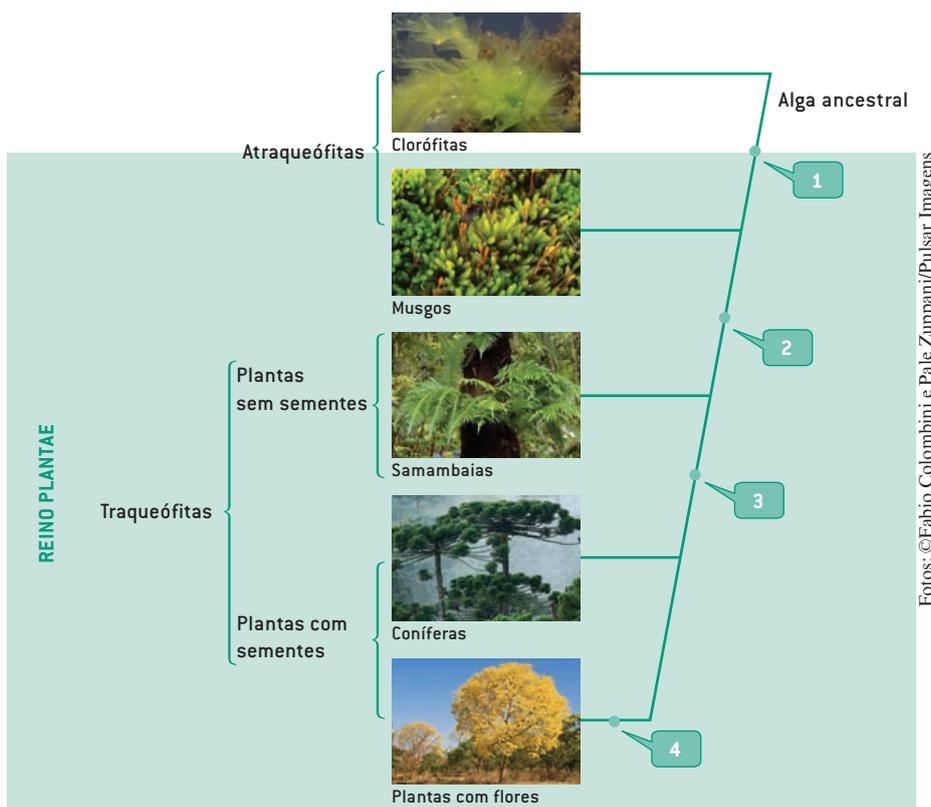


Figura 6 – Hipótese de árvore filogenética: das algas às plantas.



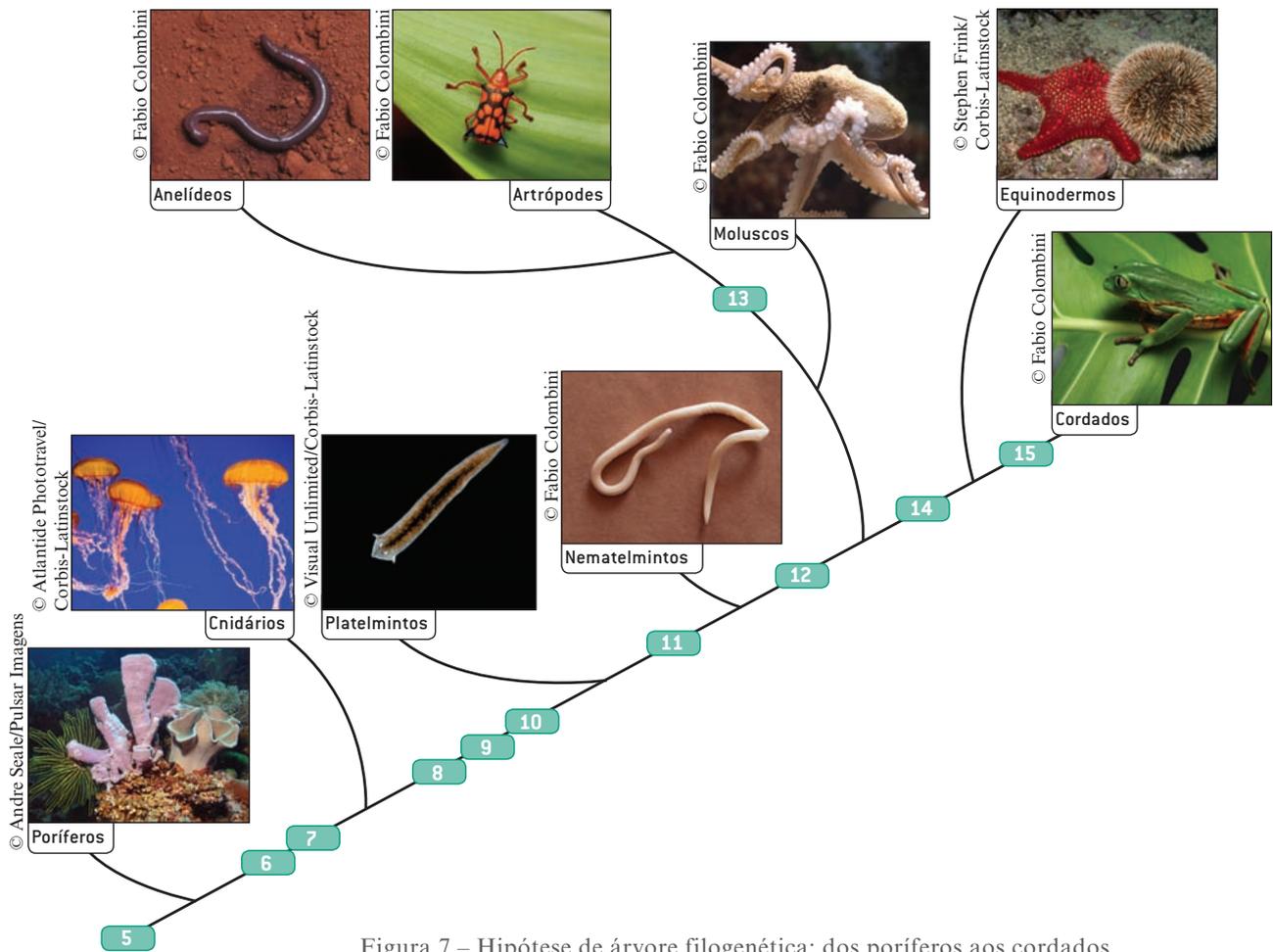


Figura 7 – Hipótese de árvore filogenética: dos poríferos aos cordados.

**Plantas** – Embriões protegidos; plantas com sementes; traqueídes (tecido vascular verdadeiro); flores; carpelos e endosperma triploide.

**Animais** – Metameria, multicelularidade; diblástico; triblástico; protostomia; deuterostomia; simetria bilateral; celoma; pseudoceloma; notocorda; tecidos verdadeiros.

1. O quadro apresenta várias novidades evolutivas. Nas filogenias (Figura 6 e 7), os números indicam as inovações de um grupo em relação a outro. Relacione as novidades evolutivas aos números destacados na filogenia das plantas (Figura 6) e dos animais (Figura 7).

**Plantas** – 1. Embriões protegidos; 2. Traqueídes (tecido vascular verdadeiro); 3. Plantas com sementes; 4. Flores, carpelos e endosperma triploide.

**Animais** – 5. Multicelularidade; 6. Tecidos verdadeiros; 7. Diblásticos; 8. Triblásticos;



9. Protostomia; 10. Simetria bilateral; 11. Pseudoceloma; 12. Celoma; 13. Metameria; 14. Deuterostomia; 15. Notocorda.

2. Identifique e explique as novidades evolutivas que permitiram a passagem das plantas do ambiente aquático para o terrestre.

*O ambiente terrestre apresenta pouca água em relação ao ambiente aquático, que é um elemento essencial à vida. O problema da perda de água dos seres terrestres foi solucionado com estruturas como a epiderme com cutícula e embriões protegidos. O aparecimento dos tecidos condutores verdadeiros (traqueídes) também favoreceu a independência do ambiente aquático, permitindo o desenvolvimento de raízes e caule. O aparecimento de adaptações reprodutivas como meios independentes da água possibilitaram o trânsito dos gametas e a dispersão das sementes. A independência reprodutiva total da água ocorreu apenas nas gimnospermas e angiospermas com a formação do tubo polínico durante a fecundação.*

3. Identifique e explique as novidades evolutivas que permitiram a passagem dos animais não vertebrados para o ambiente terrestre.

*Os quelicerados invadiram o ambiente terrestre. O exoesqueleto e as pernas articuladas favoreceram essa conquista.*

4. Compare os esquemas desta atividade com o esquema resultante da evolução dos palitos. Aponte semelhanças e diferenças.

*Uma possível semelhança refere-se ao fato de ambos os processos ocorrerem aleatoriamente. Nas árvores evolutivas, pode ocorrer extinção.*

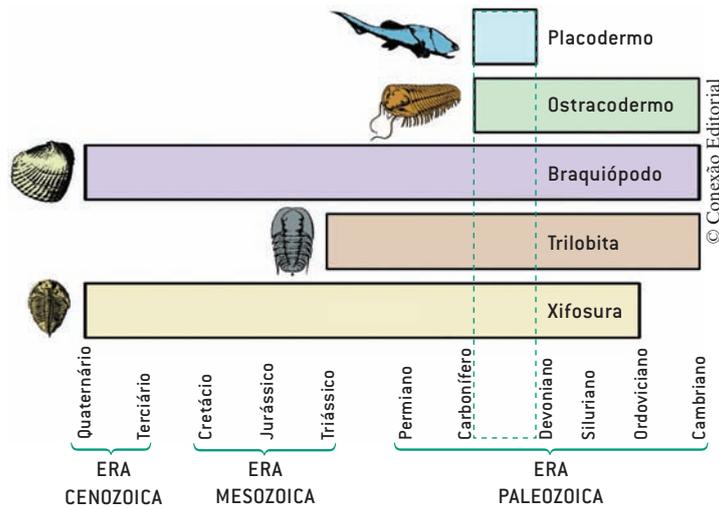
Se achar conveniente, divida a sala em grupos e solicite a cada um que selecione características adaptativas de uma determinada classe de cordados e exponha-as aos colegas. Durante a exposição, peça que identifiquem quais novidades evolutivas permitiram a passagem dos cordados para o ambiente terrestre.

*Durante o período Devoniano, os anfíbios invadiram o ambiente terrestre. Surgiram a partir de ancestrais que compartilhavam com peixes pulmonados. A existência de patas a partir de barbatanas e de “pulmões” que retiravam gás oxigênio do ar favoreceu essa ocupação. Entretanto, a conquista definitiva se deu pelos répteis, pois a vida dos anfíbios estava limitada a ambientes úmidos. Os répteis conquistaram o ambiente terrestre em razão da presença de ovo com casca, pele áspera e impermeável à água e rins capazes de excretar urina concentrada.*

Durante a correção das respostas, aproveite para retomar alguns eventos geológicos que alteraram o planeta, como a movimentação das placas tectônicas, o afastamento dos continentes, os vulcões etc. É possível retomar o Gráfico 1 e discutir como a ação dos seres vivos provocou modificações nas condições da Terra. Pela questão 2, é possível discutir a relação entre grandes extinções e a variação







Observando esse esquema, os paleontólogos concluíram que o período geológico em que haviam encontrado essa nova espécie era o Devoniano, tendo ela uma idade estimada entre 405 milhões e 345 milhões de anos.

Destes cinco grupos de animais que estavam associados à nova espécie, aquele que foi determinante para a definição do período geológico em que ela foi encontrada é:

- xifosura, grupo muito antigo, associado a outros animais.
- trilobita, grupo típico da era Paleozoica.
- braquiópodo, grupo de maior distribuição geológica.
- ostracodermo, grupo de peixes que só aparece até o Devoniano.
- placodermo, grupo que só existiu no Devoniano.

3. (Fuvest–1999) Considere os seguintes eventos evolutivos:

- Extinção dos dinossauros.
- Origem das plantas gimnospermas.
- Origem da espécie humana.

Qual das alternativas indica a ordem temporal correta em que esses eventos aconteceram?

- I, II, III.
- I, III, II.
- II, I, III.
- II, III, I.
- III, I, II.

## PROPOSTA DE SITUAÇÃO DE RECUPERAÇÃO

Como Situação de Recuperação sobre a origem da vida, você pode solicitar aos alunos que retomem o que foi estudado e produzam um parágrafo explicando a importância

dos trabalhos de Miller para a teoria da evolução molecular. Sugerimos o texto a seguir para o trabalho de recuperação sobre o tema “evolução”:

### As cinco teorias de Darwin

Drauzio Varella

Exceção feita à Bíblia, nenhum livro influenciou mais a filosofia do homem moderno quanto *A origem das espécies*, de Charles Darwin.

Até sua publicação, em 1859, o pensamento científico não oferecia alternativa à visão religiosa; ao contrário, era inseparável dela: o Criador havia estabelecido as leis que regem o Universo e criado todas as formas de vida na Terra num único dia.

Numa época em que a cultura ocidental entendia ser o homem criado à imagem e semelhança de Deus, é possível imaginar a agitação intelectual causada pela ideia de que a vida na Terra seguia um fluxo contínuo de evolução, resultado da competição pela sobrevivência que, geração após geração, se encarrega de eliminar os menos adaptados? E, pior, esquecer o sopro divino e admitir que a espécie humana pertence à ordem de primatas como chimpanzés, micos ou gorilas!

Darwin era um observador tão criterioso e as conclusões que tirou foram tão primorosas que os avanços científicos dos últimos 150 anos só fizeram comprovar o acerto de suas ideias. Da anatomia dos dinossauros ao capricho microscópico das proteínas que se dobram dentro de nossas células, todos os fenômenos biológicos obedecem à lei da seleção natural.

Na verdade, Charles Darwin e Alfred Wallace, trabalhando independentemente, descobriram um mecanismo universal, uma lei que rege não apenas a vida entre nós, mas a que porventura exista ou venha a existir em qualquer canto do Universo.

Qual a razão pela qual pessoas que aceitam com naturalidade o fato de a Terra girar ao redor do Sol ainda hoje rejeitem os ensinamentos de Darwin?

Ernst Mayr, considerado “o Darwin do século 20”, atribui essa dificuldade ao desconhecimento de que a teoria de Darwin não é única, mas pode ser decomposta em pelo menos cinco outras:

1. Teoria do ascendente comum. Na viagem às ilhas Galápagos, Darwin verificou que o formato do bico de três espécies de pássaros locais sugeria serem eles descendentes de um ancestral que habitava o continente. Ciente de que a evolução não cria mecanismos particulares para qualquer espécie, entendeu que esse ancestral devia descender de outro: “Todas as nossas plantas e nossos animais descendem de algum ser no qual a vida surgiu antes”. Nenhuma das teorias de Darwin foi aceita com tanto entusiasmo como esta, porque dava sentido à semelhança entre os seres vivos, à distribuição geográfica de



- certas espécies e à anatomia comparada. Um século mais tarde, ao demonstrar que os genes das bactérias são quimicamente iguais aos das plantas, dos fungos ou dos vertebrados, a Biologia molecular ofereceu a prova definitiva de que todos os organismos complexos descendem de seres unicelulares.
2. Teoria da evolução como tal. Segundo ela, o mundo não se encontra em equilíbrio estático, as espécies se transformam no decorrer do tempo. A existência dos fósseis e as diferenças entre o organismo dos dinossauros e o das aves, únicos dinossauros sobreviventes à extinção, ilustram com clareza o que chamamos de evolução das espécies.
  3. Gradualismo. As transformações evolucionistas ocorrem gradualmente, nunca aos saltos. Para explicar como as espécies em nossa volta estão muito bem adaptadas às condições atuais, Darwin encontrou apenas duas alternativas: teriam sido obra da onipotência de um Criador ou evoluído gradualmente segundo um processo lento de adaptação: “Como a seleção natural age somente através do acúmulo de sucessivas variações favoráveis à sobrevivência, não pode produzir grandes nem súbitas modificações; ela deve exercer sua ação em passos lentos e vagarosos”.
  4. Teoria da multiplicação das espécies. Calcula-se que existam de 5 a 10 milhões de espécies de animais e de 1 a 2 milhões de espécies de plantas. Darwin passou a vida atrás de uma explicação para tamanha biodiversidade e propôs pela primeira vez o conceito de que a localização geográfica seria responsável pelo surgimento das espécies. Embora mereça esse crédito, Darwin não foi capaz de perceber com clareza a importância do isolamento geográfico no aparecimento de espécies novas. [...]
  5. Teoria da seleção natural. Foi o conceito filosófico mais revolucionário desde a Grécia antiga. Segundo Darwin, a seleção natural é resultado da existência da variabilidade genética, que assegura não existirem dois indivíduos exatamente idênticos, em qualquer espécie. Como consequência da vida num planeta com recursos limitados, a competição pela sobrevivência se encarregará de eliminar os mais fracos.

A seleção natural varreu o determinismo que dominou a Biologia desde a Antiguidade, segundo o qual cada espécie existiria para atender a determinada necessidade. Só então foi possível abandonar interpretações sobrenaturais para explicar o mundo orgânico.

A seleção natural é um mecanismo universal inexorável, alheio a qualquer finalidade, imprevisível como a própria vida.

Folha de S. Paulo/Ilustrada. São Paulo, sábado, 6 de agosto de 2005.

Disponível em: <[http://drauziovarella.ig.com.br/artigos/darwin\\_e.asp](http://drauziovarella.ig.com.br/artigos/darwin_e.asp)>. Acesso em: 18 maio 2009.

## Questões

1. Grife no texto o significado de *evolução biológica*. Cite duas evidências do processo evolutivo.

*Existem várias possibilidades de texto que tragam o significado de evolução biológica,*

*tais como: “[...]a vida na Terra seguia um fluxo contínuo de evolução, resultado da competição pela sobrevivência que, geração após geração, se encarrega de eliminar os menos adaptados” e “[...]Todas as nossas plantas e nossos animais descendem de algum ser no qual a vida surgiu antes”.*



*A principal evidência do processo evolutivo é: “[...]os genes das bactérias são quimicamente iguais aos das plantas, dos fungos ou dos vertebrados, a Biologia molecular ofereceu a prova definitiva de que todos os organismos complexos descendem de seres unicelulares.[...]”.*

2. De acordo com o texto “a seleção natural varreu de vez o determinismo que dominou a Biologia desde a Antiguidade, segundo o qual cada espécie existiria para atender determinada necessidade”.

a) O que é seleção natural?

*É o mecanismo natural pelo qual fatores seletivos (ambientais, fisiológicos, nutricionais, infecciosos etc.) limitam o crescimento de populações fazendo com que certos indivíduos tenham maiores oportunidades de deixar descendentes.*

b) Como a seleção natural atua?

*A seleção natural atua sobre populações promovendo uma reprodução diferencial entre*

*os indivíduos que compõem essa população. Devemos pensar na sobrevivência do mais apto como sendo uma maior possibilidade de deixar descendentes.*

c) A mutação é um dos principais fatores evolutivos. Por quê?

*É um dos principais fatores evolutivos porque gera variabilidade e, com isso, novas possibilidades evolutivas.*

3. Darwin e Wallace não foram capazes de perceber o papel do isolamento reprodutivo no aparecimento de uma nova espécie. Explique como o isolamento reprodutivo favorece a diversificação das espécies.

*O isolamento reprodutivo pode ser compreendido como parte do processo de especiação, segundo o qual o acúmulo de diferenças entre duas populações gera organismo com possibilidades adaptativas distintas. Sendo assim, o isolamento reprodutivo impede o fluxo gênico entre populações que estão se divergindo.*



## RECURSOS PARA AMPLIAR A PERSPECTIVA DO PROFESSOR E DO ALUNO PARA A COMPREENSÃO DO TEMA

### Documentário

*Fernando de Noronha*: o arquipélago dos golfinhos. Realização: Shark Bay Films, Austrália, 1998, 26min. Programa mostra a diversidade de espécies do arquipélago brasileiro que abriga o maior número de golfinhos-rotadores do mundo.

### Livros

GEWANDSZNAJDER, Fernando U. Capozoli. *Origem e história da vida*. 8. ed. São Paulo: Ática, 1998. (De olho na Ciência.) Livro paradidático que reúne uma série de imagens que podem ser utilizadas pelos professores durante suas aulas.

MIYAKI, C. Y.; SILVEIRA, R. V. M. *Módulo 2 de Biologia*. Programa de Educação Continuada, Programa Construindo Sempre – Aperfeiçoamento de Professores, 2003. Reúne informações sobre evolução da vida.

SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. *Evolução*. Rio de Janeiro: Global, 2001. (Ciência Hoje na Escola, v. 9.).

SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. *Geologia*. Rio de Janeiro: Global, 2001. (Ciência Hoje na Escola, v. 10.).

### Visita

MUSEU DE ZOOLOGIA – USP. Disponível em: <<http://www.mz.usp.br>>. Acesso em: 15 abril 2009.

O Museu de Zoologia da USP oferece a exposição de longa duração: *Pesquisa em Zoologia – a biodiversidade sob o olhar do zoólogo*. Essa exposição apresenta animais e seus ambientes, a história dos animais na Terra, com conceitos da Biogeografia e da evolução. Endereço: Avenida Nazaré, 481. Ipiranga, São Paulo-SP.

