

Sistemática, vírus, procariontes, protistas e fungos

“As afinidades entre seres vivos da mesma classe têm sido algumas vezes representadas por uma grande árvore... Do mesmo modo que brotos dão origem por crescimento a novos brotos, e estes, se forem vigorosos, ramificam-se e encobrem por todos os lados os galhos mais fracos, acredito que tenha sido assim também com a grande *árvore da vida*.”

(De Charles Darwin, *A origem das espécies*, 1859. Traduzido pelos autores.)

A imagem de uma árvore, com seus ramos inter-relacionados, nos remete à analogia citada por Darwin para explicar as relações evolutivas entre os seres vivos.

Jon Hrusa/epa/Corbis/Latinstock

Evolução e classificação

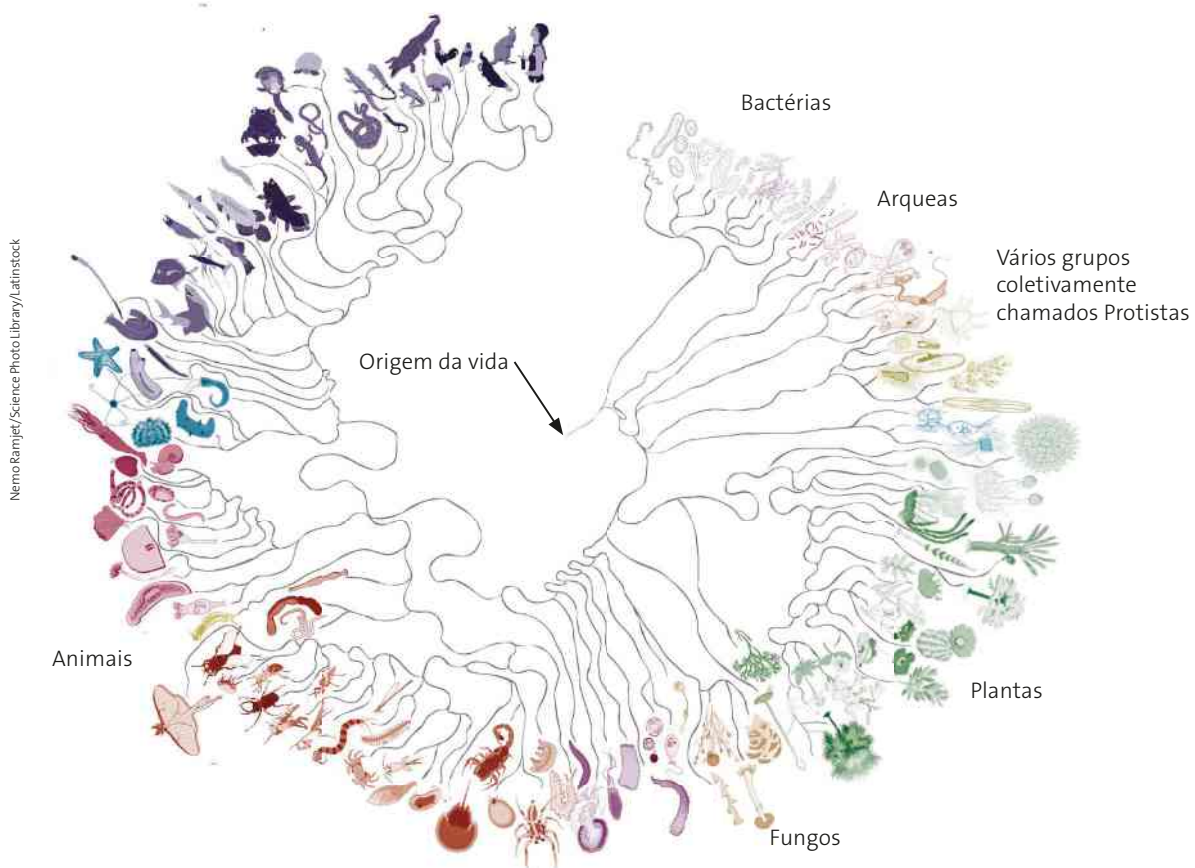


Figura 1.1. A origem da vida é única. A partir dos primeiros seres evoluíram todos os demais. Essa representação artística de uma “árvore da vida” mostra essas relações de ancestralidade e descendência evolutiva. O ponto central representa o primeiro grupo de seres vivos, que é o ancestral comum de todos os demais organismos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



Pense nisso

- Localize a espécie humana nesse esquema e perceba que somos apenas mais uma espécie na imensa diversidade de vida. Você consegue identificar outros seres vivos nessa representação? Quais?
- O que representam as linhas que inter-relacionam os seres vivos que você identificou? Leia novamente o texto de Charles Darwin reproduzido na página anterior. Por que na legenda da imagem acima também foi usada a metáfora “árvore da vida”?
- Agora, você tem este desafio: agrupe os organismos a seguir de acordo com critérios estabelecidos por você e justifique a escolha desses critérios. Os organismos são: gafanhoto – camarão – morcego – sabiá – lagartixa – mosca – aranha – roseira – sapo – goiabeira – lambari – minhoca – samambaia.

1. Taxonomia e sistemática

das Orientações didáticas sobre a elaboração de um texto que explique a evolução dos mamíferos marsupiais. Essa proposta permitirá trabalhar diversos conceitos, como o de espécie endêmica.

A classificação dos seres vivos feita atualmente está relacionada a processos evolutivos que só começaram a ser mais aceitos a partir de 1859 com a publicação do livro de Charles Darwin (1809-1882) intitulado *A origem das espécies*.

Ainda que muitas vezes os termos **taxonomia** e **sistemática** sejam tratados como sinônimos, há pesquisadores que preferem restringir taxonomia apenas ao trabalho de nomear e descrever espécies ou outras categorias taxonômicas, aplicando o termo sistemática para um campo mais amplo, que inclui a taxonomia e o estudo das relações evolutivas (filogenia) entre os diferentes grupos de seres vivos.

Os sistemas de classificação que não se baseiam em relações de parentesco evolutivo entre os grupos de seres vivos são considerados **artificiais**, enquanto os sistemas que procuram compreender essas relações são chamados **naturais**.

Um grande marco na classificação dos seres vivos foi estabelecido a partir dos trabalhos do médico e professor sueco **Karl von Linné** (1707-1778), cujo nome em português é Lineu.

Apesar de aceitar que as espécies de seres vivos não mudam ao longo do tempo (fixismo ou imutabilidade das espécies), Lineu propôs em seu livro *Systema Naturae*, de 1735, um sistema de classificação dos seres vivos que, embora artificial, é empregado, com algumas modificações, até hoje. Várias outras edições do livro se seguiram, ampliando o conhecimento dos diferentes grupos de seres vivos.

No sistema de Lineu, a unidade básica da classificação é a **espécie**, entendida por ele como um grupo de seres vivos semelhantes a um tipo ideal e imutável. Espécies semelhantes são agrupadas em um mesmo **gênero**. Gêneros semelhantes são agrupados em uma mesma **família**. Famílias são agrupadas em ordens, que são agrupadas em **classes**, que são agrupadas em **filos** ou **divisões**, que são agrupados em **reinos**.

Com a aceitação das ideias evolutivas, as categorias lineanas foram mantidas e até mesmo ampliadas, mas passaram a ser interpretadas de maneira diferente, procurando contar a história evolutiva de cada grupo. Assim, espécies de um mesmo gênero são mais aparentadas entre si do que com espécies de outros gêneros. Gêneros pertencentes a uma mesma família são mais aparentados entre si do que gêneros pertencentes a outras famílias, e assim por diante.

Atualmente, são sete categorias obrigatórias hierárquicas constantes do Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (referente aos animais) e do Código Internacional de Nomenclatura Botânica (referente às plantas) (Fig. 1.2): Os processos evolutivos serão discutidos no volume 3 desta coleção.

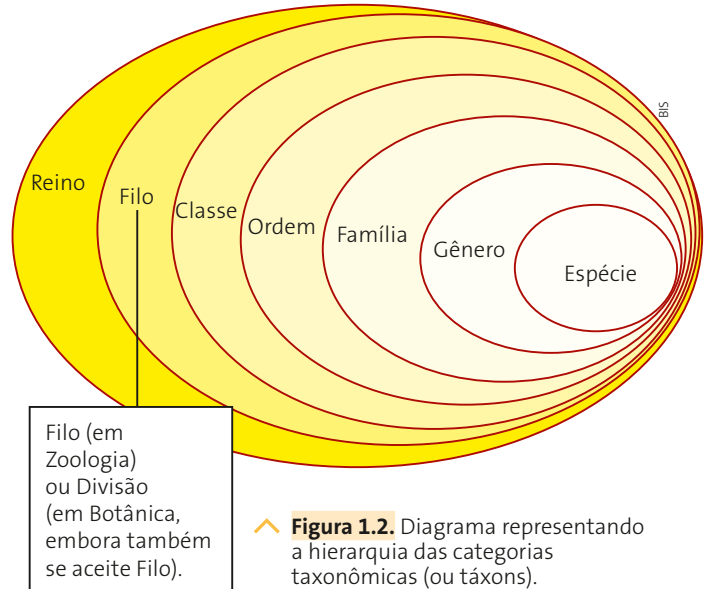


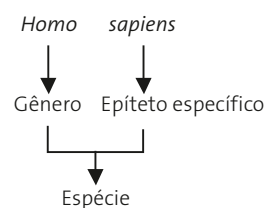
Figura 1.2. Diagrama representando a hierarquia das categorias taxonômicas (ou táxons).

Além dessas, muitas vezes utilizam-se categorias intermediárias e não obrigatórias, como subfilo, infraclasse, superordem, subordem, superfamília, subfamília e subgênero. Outra categoria taxonômica não obrigatória e inferior à espécie é a subespécie.

Lineu também estabeleceu regras de nomenclatura que são utilizadas até hoje.

O nome da **espécie** é sempre **duplo**, formado por duas palavras escritas em *itálico* ou sublinhadas. Usam-se sempre palavras em latim, que era a língua falada pelas pessoas cultas na época de Lineu. A primeira palavra corresponde ao nome do **gênero** e sempre deve ser escrita com letra inicial maiúscula. A segunda palavra corresponde ao **epíteto específico** — palavra que denomina a espécie. Esta deve ser escrita sempre com inicial minúscula.

Como exemplo, vamos escrever o nome científico da espécie humana. O gênero ao qual pertence a espécie humana é denominado *Homo*. O epíteto específico é *sapiens*. Assim, o nome da espécie é *Homo sapiens*:



As regras de nomenclatura facilitam a comunicação entre pessoas de diferentes nacionalidades e idiomas. A espécie humana será *Homo sapiens* em qualquer idioma: português, inglês, alemão, espanhol etc.

Veja, na figura 1.3, a classificação da espécie do cão doméstico, desde a categoria mais geral, a de reino, até a mais específica, a de espécie.

Com a aceitação das ideias evolutivas, as espécies deixaram de ser vistas como grupos estáticos de seres vivos e passaram a ser assim conceituadas:

Conceito biológico de espécie

Grupo de populações naturais real ou potencialmente intercruzantes que é reprodutivamente isolado de outros grupos de organismos.

Essa definição estabelece que o isolamento reprodutivo é fundamental para se considerar populações dentro de uma espécie. Há exemplos, entretanto, de espécies que vivem no mesmo local e que, eventualmente, podem se cruzar, produzindo híbridos férteis. É o caso das espécies de patos de água doce *Anas acuta* e *Anas platyrhynchos* (Fig. 1.4).

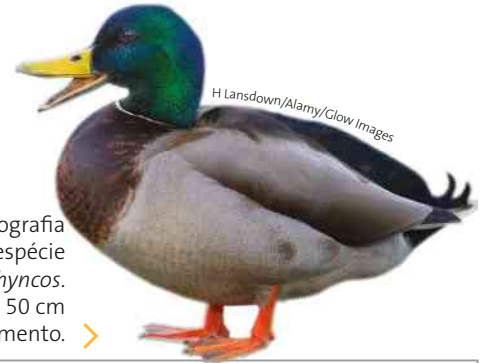


Figura 1.4. Fotografia de pato da espécie *Anas platyrhynchos*. Mede cerca de 50 cm de comprimento.

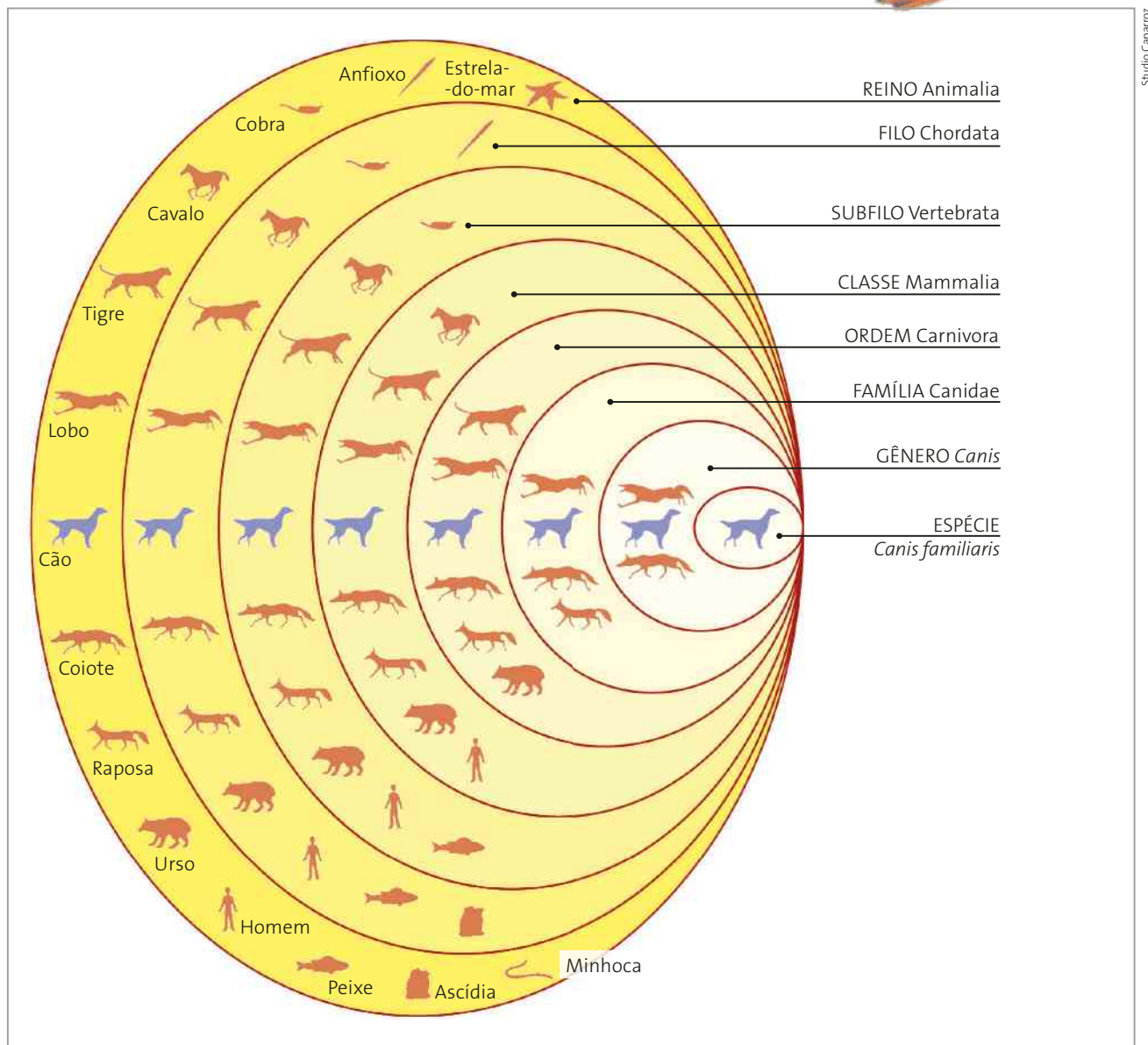


Figura 1.3. Esquema da classificação do cão (*Canis familiaris*). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Na natureza, indivíduos dessas espécies de patos nidificam lado a lado, mas praticamente não há cruzamento entre eles. O cruzamento entre os indivíduos dessas duas espécies é extremamente raro, da ordem de um híbrido para muitos milhares de descendentes. Além disso, os híbridos, apesar de férteis, não se reproduzem por não conseguirem atrair parceiros. A explicação para isso se baseia no comportamento de corte dessas espécies: machos e fêmeas de uma espécie são atraídos por estímulos sensoriais que não têm efeito entre machos e fêmeas de outra espécie.

Professor(a), veja sugestão nas Orientações didáticas. No volume 3 desta coleção, abordaremos a cladogênese e a anagênese, sem usar esses termos, ao discutirmos mais profundamente os mecanismos de especiação.

2. Noções de sistemática filogenética

As duas principais escolas de classificação que se baseiam em princípios evolutivos são: a evolutiva, que é a mais tradicional, e a filogenética ou cladística, que começou a ganhar a preferência dos pesquisadores a partir de 1966, com a divulgação dos trabalhos de **Willi Hennig** (1913-1976), cientista alemão.

A maior crítica que a escola filogenética faz em relação à evolutiva é a falta de metodologia adequada para testar hipóteses. A escola filogenética desenvolveu um método, e por meio dele os cientistas buscam estabelecer melhor as relações evolutivas entre os grupos de seres vivos, com a menor subjetividade possível.

Nesse método, considera-se um grande número de caracteres, que podem ser anatômicos, fisiológicos, comportamentais, moleculares, entre outros. Para analisar essa grande quantidade de informações, muitas vezes os dados são trabalhados por programas especiais de computador, elaborados para se tentar definir as relações evolutivas entre os organismos.

Quando se comparam as informações obtidas pela análise cladística com aquelas que estamos mais acostumados a ver na escola evolutiva, muitas diferenças começam a surgir. Um exemplo disso é o grupo dos peixes, que é aceito como classe válida pela escola evolutiva, porém não é aceito pela cladística, pois, quando se aplica o método desenvolvido por essa escola, verifica-se que os peixes não têm origem em um único grupo ancestral comum e exclusivo, portanto não formam um grupo válido. Nesse caso, podemos usar o termo peixe como coletivo, não associado a uma categoria taxonômica como classe, ordem ou qualquer outra.

Neste livro, optamos por estudar os seres vivos de acordo com os princípios da sistemática filogenética. Para isso, vamos apresentar alguns conceitos básicos importantes para a compreensão desse tema.

O conceito biológico de espécie só é válido para organismos com reprodução sexuada, já que aqueles com reprodução assexuada são agrupados em espécies de acordo com semelhanças entre características morfológicas, fisiológicas e moleculares.

Mesmo para organismos com reprodução sexuada, essa definição apresenta limitações, pois ela não possibilita um modo prático para se identificar uma espécie: não é possível observar a reprodução em todos os seres que existem, e muito menos nos fósseis.

Por conta dessas dificuldades, foram propostas outras definições de espécie. Uma delas será apresentada mais adiante.

2.1. Noções básicas de especiação

Entende-se que a diversidade de seres vivos é resultante de processos evolutivos e que, na formação de novas espécies (**especiação**), é importante a ocorrência de processos de cladogênese e de anagênese.

Cladogênese (do grego: *kládos* = ramo; *gênesis* = origem) compreende os processos responsáveis pela ruptura da coesão original em uma população, gerando duas ou mais populações que não trocam mais genes.

Anagênese (do grego: *aná* = para cima) compreende os processos pelos quais um caráter surge ou se modifica em uma população ao longo do tempo, sendo responsáveis pelas “novidades evolutivas” e pela fixação dessas novidades nas populações.

Um exemplo de evento cladogenético é o surgimento de barreiras geográficas separando uma população inicial em duas, que não se comunicam mais. Cada uma dessas populações, agora separadas, passa a ter sua própria história evolutiva. Em função dos eventos anagenéticos, essas populações modificam-se ao longo do tempo e podem originar duas espécies distintas. Características vantajosas que surgem em cada uma das populações podem ser fixadas por seleção natural.

Para entender esses conceitos, vamos usar um exemplo hipotético como o representado na **figura 1.5**. Uma população de caramujos pertencentes à espécie **A** é separada em duas por um evento cladogenético, como o surgimento de uma barreira geográfica. As populações não entram mais em contato, e o que acontece em uma população não interfere no que acontece na outra.

Ao longo do tempo, por processos anagenéticos, essas populações podem acumular diferenças a ponto de cada uma delas passar a ser considerada uma nova espécie (espécie **B** e espécie **C**).

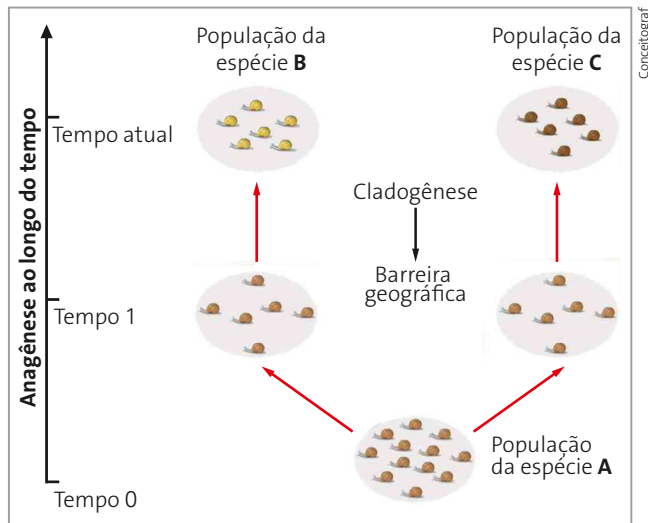


Figura 1.5. Esquema de formação de espécies por cladogênese e anagênese. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

2.2. Os cladogramas

A representação esquemática da especiação dos caramujos pode ser feita por meio de um diagrama de ramos, também chamado **cladograma** (Fig. 1.6).

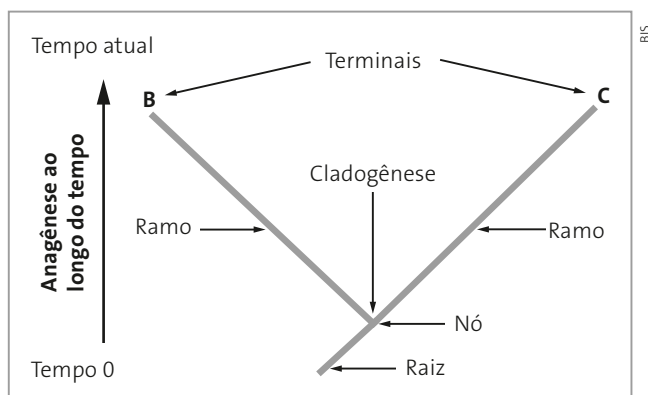


Figura 1.6. Representação de um cladograma com os termos mais empregados para identificar suas partes.

Nos cladogramas, a base de onde partem os ramos é chamada **raiz**, e os pontos de onde partem os ramos são chamados **nós**. Estes representam ancestrais comuns hipotéticos para todos os grupos que estão acima do nó. Os grupos que descendem evolutivamente desse ancestral são colocados no ápice dos ramos, compondo os **terminais**.

Os nós simbolizam pontos de provável ocorrência de eventos cladogenéticos, ou seja, momentos em que a população ancestral foi separada em duas ou mais

populações e passaram a apresentar características próprias surgidas por anagênese.

No exemplo dado, foi representado apenas um evento cladogenético. No entanto, podem existir vários desses eventos ao longo da história evolutiva, e também é possível indicá-los no cladograma.

A localização dos pontos de ramificação ao longo do cladograma fornece uma ideia do tempo relativo de origem dos diferentes ramos. O tempo absoluto nem sempre é representado, por isso geralmente as distâncias entre os nós do cladograma são iguais. Essa distância semelhante não significa que o tempo entre um evento cladogenético e o outro seja o mesmo. Há cladogramas, no entanto, em que o tempo absoluto é representado e, nesses casos, as distâncias entre os nós variam em função da escala de tempo.

No cladograma da figura 1.7 são mostrados vários eventos cladogenéticos ao longo do tempo relativo. A anagênese está representada na linha do tempo. Esse mesmo cladograma pode ser representado de outra maneira, como mostra a figura 1.8.

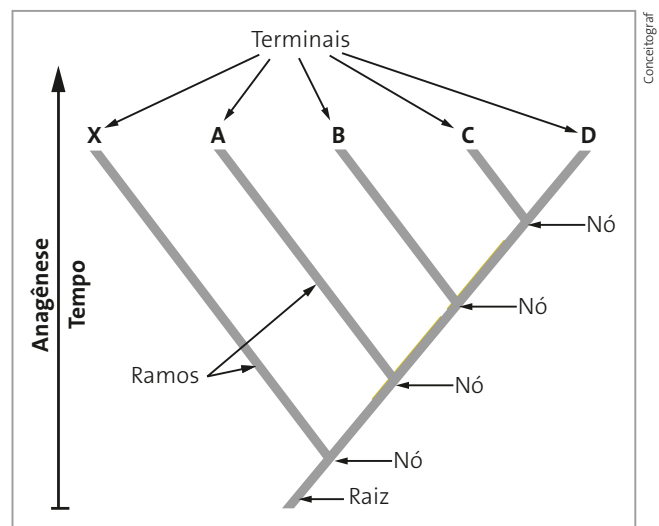


Figura 1.7. Cladograma mostrando eventos de cladogênese ao longo do tempo.

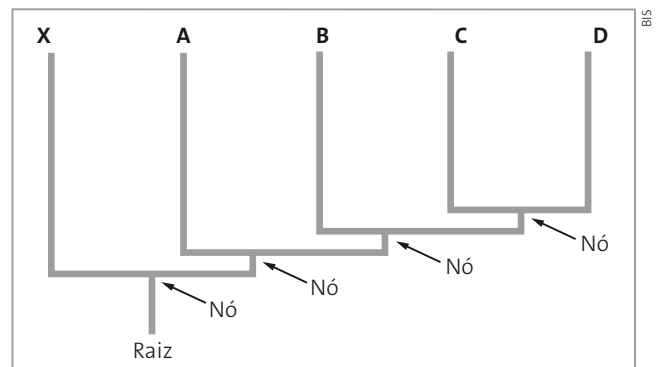


Figura 1.8. Outra representação de cladograma mostrando eventos de cladogênese.

A sequência hierárquica das ramificações no cladograma reflete, de alguma maneira, a sequência de subdivisões de linhagens observadas ao longo do tempo. Grupos que partem de um mesmo nó são chamados **grupos-irmãos** e são mais próximos evolutivamente entre si do que grupos que partem de nós diferentes. Assim, no cladograma representado nas figuras 1.7 e 1.8 (página anterior), **C e D** são grupos-irmãos. Eles são mais aparentados entre si do que em relação ao grupo **B**. Quando analisamos o nó que deu origem a **B, C e D**, podemos dizer que eles são mais aparentados entre si do que em relação ao grupo **A**, e assim por diante.

Os cladogramas podem ser comparados a móveis: os ramos podem girar em cada nó. Assim os cladogramas a seguir (Fig. 1.9) contêm a mesma informação:

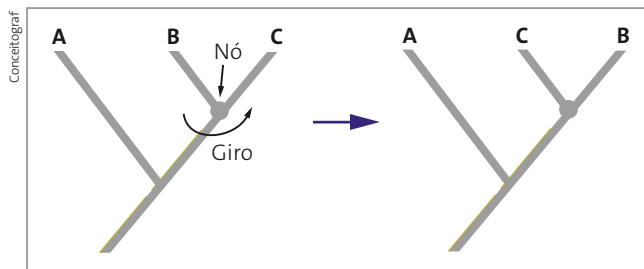


Figura 1.9. Comparação de cladogramas que representam a mesma hipótese de parentesco evolutivo.

Para montar cladogramas e propor hipóteses de parentesco evolutivo, os cientistas utilizam grande número de caracteres e os analisam de modo comparativo. A escolha dos caracteres usados tem de ser bastante criteriosa, pois só podem ser comparados caracteres ou estruturas que sejam **homólogos**. Não devem ser comparadas estruturas **análogas**.

Estruturas homólogas são aquelas que derivam de estruturas já existentes em um mesmo ancestral comum exclusivo, podendo ou não estar modificadas para exercer uma mesma função.

São exemplos de estruturas homólogas entre si: os ossos dos braços dos seres humanos e os ossos dos membros anteriores dos cavalos (Fig. 1.10). Essas estruturas são homólogas porque derivam dos ossos dos membros anteriores presentes no grupo ancestral que deu origem aos mamíferos.

Estruturas análogas são aquelas que se assemelham simplesmente por exercer a mesma função, mas não derivam de modificações de estruturas semelhantes e já existentes em um ancestral comum exclusivo.

São análogas, por exemplo, as asas das aves e as dos insetos: elas desempenham a mesma função, que é o voo, mas não são derivadas das mesmas estruturas presentes em um ancestral comum exclusivo entre aves e insetos (Fig. 1.11).

Para cada estrutura homóloga, procura-se definir qual é a condição que já existia em um grupo ancestral

e qual é a condição nova, que surgiu por anagênese. A condição presente no ancestral é chamada **primitiva**, e a novidade evolutiva é chamada condição **derivada**. Somente as condições derivadas são usadas para definir os agrupamentos. As condições derivadas dos caracteres e que são exclusivas de cada agrupamento podem estar apontadas nos ramos do cladograma.

Os grupos naturais são formados apenas por organismos que compartilham a condição derivada de um ou mais caracteres e que descendem de um ancestral comum exclusivo. Grupos formados desse modo, e que incluem todos os descendentes desse ancestral exclusivo, são chamados **monofiléticos** (*mono* = um, único).

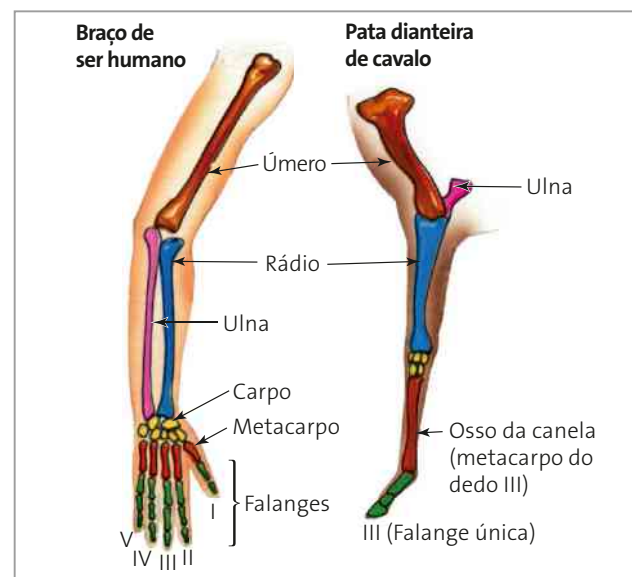


Figura 1.10. Esquema de homologia entre os ossos dos membros anteriores do ser humano e do cavalo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

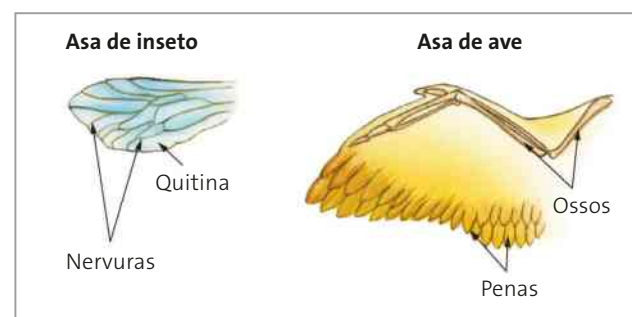


Figura 1.11. Esquemas de estruturas análogas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A partir dessa interpretação da evolução, outras definições de espécie têm surgido, como a seguinte:

Conceito filogenético de espécie

População ou grupo de populações definidas por uma ou mais condições derivadas, constituindo o menor agrupamento taxonômico reconhecível.

O conceito filogenético de espécie pode ser aplicado para organismos com reprodução assexuada ou para organismos com reprodução sexuada e pode ser empregado tanto para espécies recentes como para fósseis, pois ele não depende de se saber se há ou não reprodução e descendentes férteis.

2.3. Como ler um cladograma

Vamos usar um cladograma hipotético que apresenta as relações filogenéticas entre cinco grupos de organismos: **A, B, C, D e E** (Fig. 1.12).

Professor(a), se considerar conveniente, realize com os estudantes a sugestão de atividade extra “Construindo um cladograma”, indicada nas Orientações didáticas.

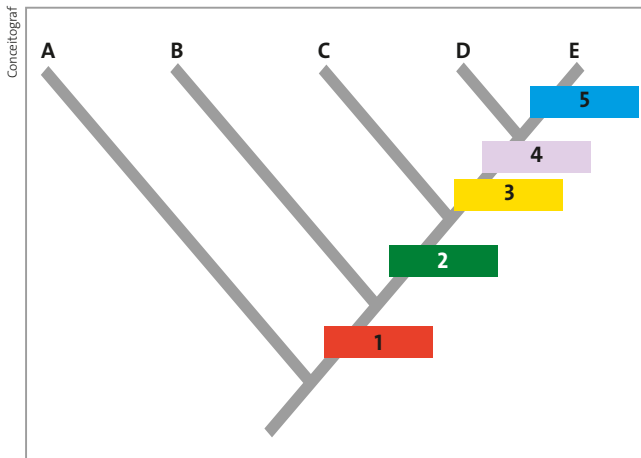


Figura 1.12. Cladograma hipotético representando o parentesco evolutivo entre cinco grupos de organismos.

Neste cladograma foram indicadas por cores as condições derivadas de cinco características. A con-

dição derivada do caráter 1 (cor vermelha) ocorre nos grupos **B, C, D e E**.

A condição derivada do caráter 2 (cor verde) ocorre nos grupos **C, D e E**. Os caracteres 3 (cor amarela) e 4 (cor roxa) aparecem na condição derivada apenas em **D e E**.

A condição derivada do caráter 5 (cor azul) aparece apenas no grupo **E**, que o separa, portanto, do grupo **D**.

Empregando o conceito de grupo monofilético (aquele que compartilha um ancestral comum exclusivo), pode-se notar que todo grupo formado por (**A + B + C + D + E**) é monofilético. Por sua vez, o outro agrupamento formado por (**B + C + D + E**) também é monofilético, o mesmo acontecendo com (**C + D + E**) e com (**D + E**). Assim, existe uma hierarquia em que um grupo monofilético maior abriga outro grupo menor, que abriga outro grupo monofilético menor ainda.

Nos cladogramas, os terminais nem sempre representam espécies. Eles podem corresponder a famílias, ordens ou várias outras categorias taxonômicas.

Quando as relações filogenéticas de grupos de seres vivos estão bem resolvidas, são apresentadas em cladogramas formados apenas por **dicotomias** (*dico* = dois; *tómos* = divisão). Quando vários ramos partem de um único ponto do cladograma, isso significa que as relações filogenéticas entre esses grupos não estão completamente resolvidas, formando **politomias** (*poli* = muitos).

Mesmo quando as dicotomias já são estabelecidas, o estudo mais detalhado dos seres vivos pode trazer à tona caracteres antes não considerados e que podem provocar mudanças nessas dicotomias.

Colocando em foco

O PHYLOCODE

O *Phylocode*, termo em inglês para o Código Internacional de Nomenclatura Filogenética, surgiu em 1988 durante um encontro de cientistas na Universidade de Harvard, nos Estados Unidos (Fig. 1.13). Esse novo código baseia-se nos fatos de que a nomenclatura e as categorias taxonômicas que usamos vêm da época de Lineu e de que, embora tenham ocorrido modificações, elas não acompanharam os enormes avanços na área da sistemática filogenética.

O *Phylocode* ainda está em discussão e a cada dia vem ganhando a simpatia de mais cientistas. Ele propõe que os nomes para as partes da árvore da vida sejam dados considerando-se a leitura de um cladograma em vez de os grupos de organismos serem organizados em reinos, filos, classes, ordens etc. A única categoria válida seria a de espécie.

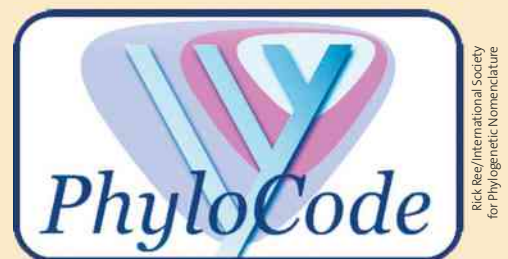


Figura 1.13. Logomarca do *Phylocode*.

Assim, os grupos seriam listados como um grupo monofilético dentro de outro grupo monofilético. Compare, por exemplo, a classificação dos animais indicados nos terminais do seguinte cladograma conforme a classificação tradicional, lineana, e o *Phylocode* (Fig. 1.14).

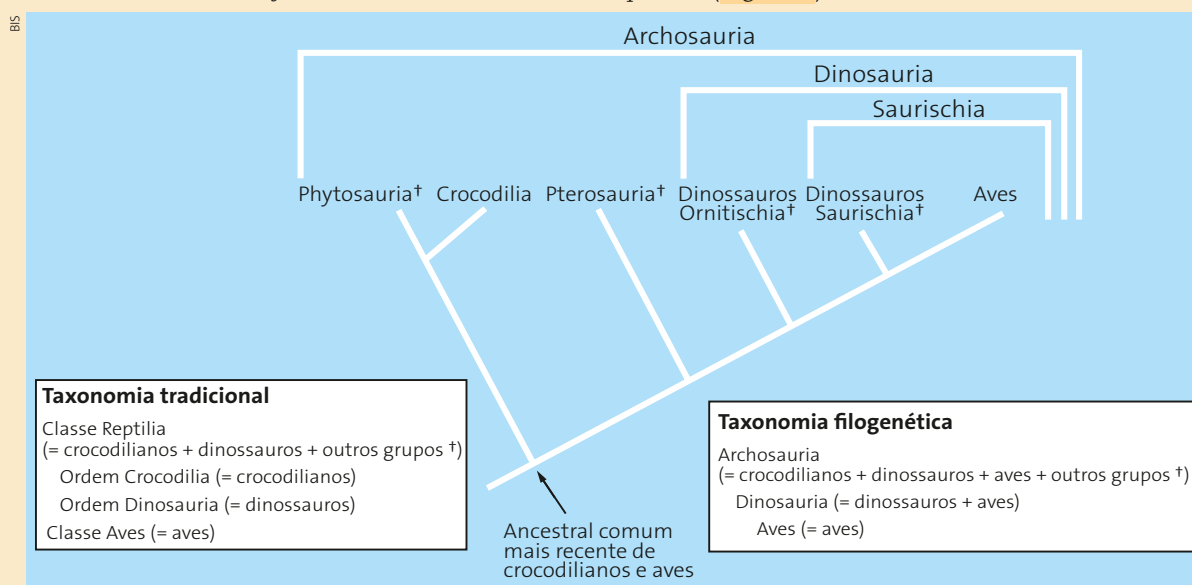


Figura 1.14. Representação da relação filogenética entre alguns grupos de animais. Nos quadros em branco, está a comparação entre a classificação tradicional (lineana) e o *Phylocode*. O símbolo † indica os grupos extintos.

Neste livro, manteremos as categorias taxonômicas de acordo com os códigos vigentes de nomenclatura zoológica e botânica até que se estabeleça um consenso sobre esse assunto.

3. Sistemática: uma área em modificação

Os conhecimentos biológicos vêm aumentando muito graças a uma série de fatores, entre eles o aperfeiçoamento dos microscópios, que melhoraram em qualidade e definição, propiciando um melhor estudo das células, e as técnicas de biologia molecular, que se tornaram mais aprimoradas. Apesar desses avanços, ainda existem dúvidas na compreensão das relações filogenéticas entre vários grupos de seres vivos. Com isso, novas propostas de classificação têm surgido, fazendo da sistemática uma das áreas da Biologia que mais crescem e sofrem mudanças hoje em dia.

Em função disso, têm sido muito frequentes divergências no que se refere à classificação dos seres vivos.

Vamos citar aqui apenas algumas das classificações mais recentes e apresentar a proposta que será adotada nesta obra.

3.1. Os cinco reinos

O sistema de cinco reinos foi proposto por Robert **Whittaker** (1924-1980), em 1969, e depois modificado por Lynn **Margulis** (1938-2011) e Karlene **Schwartz** (1936-) em 1982.

Essas autoras propuseram que os cinco reinos de seres vivos são assim definidos:

- **Monera:** reino que agrupa todos os seres procariontes. Ex.: bactérias e arqueas.
- **Protocistas:** eucariontes unicelulares ou multicelulares, sem tecidos. Ex.: amebas, algas verdes, algas vermelhas e algas pardas.
- **Fungos:** eucariontes heterótrofos que se alimentam por absorção de substâncias do meio. Ex.: leveduras e cogumelos.
- **Plantas:** eucariontes multicelulares fotossintetizantes com corpo formado por tecidos. Ex.: musgos, samambaias, pinheiros e jaborcabeira.
- **Animais:** eucariontes multicelulares heterótrofos que se alimentam por ingestão de alimentos do meio. Ex.: peixes, sapos, urubus e seres humanos.

O termo Protocista, embora tenha sido bastante utilizado, acabou sendo substituído pelo termo **Protista**, forma adotada por Whittaker em 1969.

O sistema de classificação em cinco reinos está atualmente em desuso, tendo sido substituído pelo sistema de três domínios.

3.2. Os três domínios

O microbiologista Carl R. **Woese** (1938-2012) e sua equipe analisaram de modo comparativo o RNAr de muitos organismos. Essa molécula foi escolhida por estar presente em todos os seres vivos. Com base nesses estudos, Woese propôs, em 1977, a separação dos procariontes em dois grupos distintos, o das **arqueobactérias** e o das **eubactérias**, e a reunião dos eucariontes em um outro grande agrupamento. Em 1990, ele e seus colaboradores propuseram formalmente uma categoria taxonômica superior a reino, dividindo os seres vivos em três **Domínios: Archaea, Bacteria e Eucarya** (Fig. 1.15). Eles assumiram que as Archaea não são bactérias e abandonaram a denominação anterior de arqueobactérias. Segundo essa proposta, os procariontes são muito diferentes entre si e formam dois domínios distintos. Por outro lado, todos os eucariontes são muito semelhantes entre si e compõem um domínio único. Além disso, as Archaea estão mais intimamente relacionadas aos eucariontes do que às bactérias.

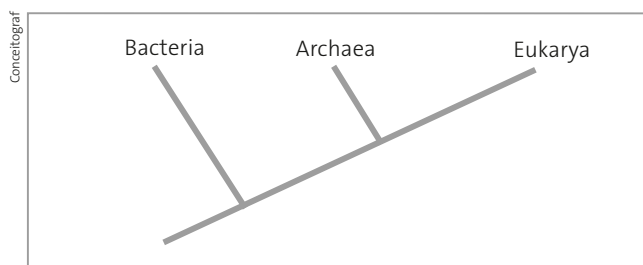
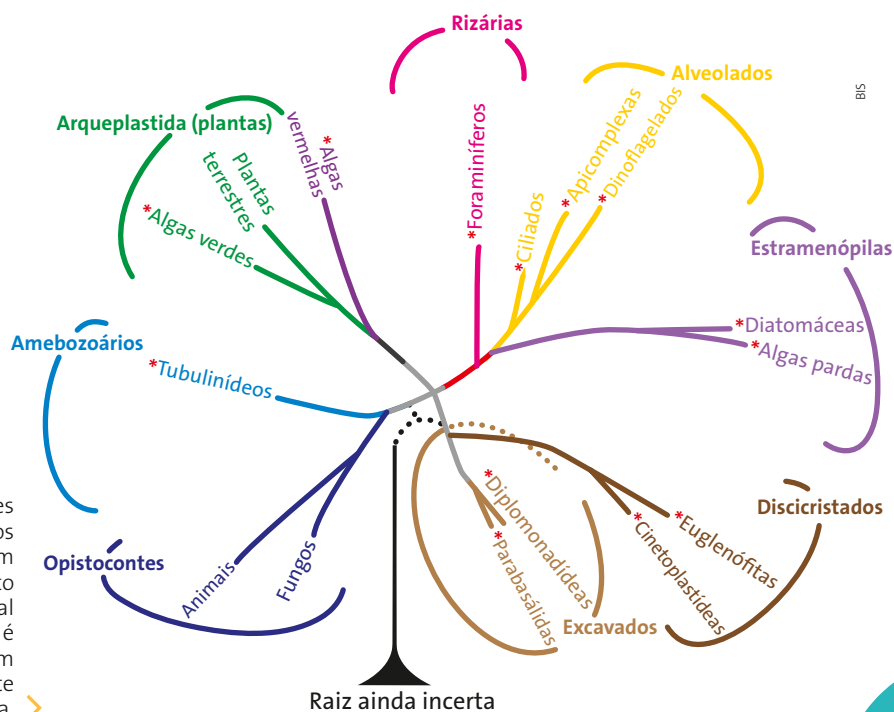


Figura 1.15. Cladograma mostrando as prováveis relações de parentesco entre os Domínios Bacteria, Archaea e Eucarya.

Com o passar dos anos, vários estudos analisando maior número de caracteres, especialmente moleculares, têm reforçado a proposta inicial de Woese, hoje bem aceita. Assim, nas propostas mais recentes, os reinos Monera e Protista deixam de existir, pois não são monofiléticos. Nesses casos, empregam-se os termos monera e protista como coletivos, mas sem valor taxonômico. Para os demais reinos — Fungi, Plantae e Animalia —, ainda há problemas a ser resolvidos.

Figura 1.16. Neste cladograma dos eucariontes que serão tratados neste livro, os trechos em cinza ou em pontilhado apresentam dúvidas ainda por esclarecer. O exato ponto em que a raiz se insere, isto é, o ancestral comum de todos os eucariontes, ainda é tema de discussões. Os grupos marcados com asterisco vermelho eram os tradicionalmente considerados no Reino Protista. >



Levando-se em conta o atual *status* da classificação dos seres vivos, vamos adotar a classificação em três domínios e, para o complexo caso dos eucariontes, consideraremos a proposta que será apresentada no próximo item.

Para complementar esse tema, retome o que foi discutido sobre origem da célula no volume 1 desta coleção.

3.3. Os grupos de eucariontes

Entre as atuais propostas, vamos adotar, com algumas modificações e simplificações, a da pesquisadora Sandra L. **Baldauf** (1938-), feita em 2008, por ser uma das mais bem aceitas no momento. Veja na **Figura 1.16** a árvore simplificada, que mostra apenas as prováveis relações de parentesco entre os eucariontes que estudaremos neste livro. É importante saber, no entanto, que a diversidade é muito maior que a aqui apresentada.

Como se pode notar, a diversificação dentro dos eucariontes é grande, mudando nossa visão da classificação em reinos: Animal, Planta, Fungo e Protista.

Hoje, por meio de evidências moleculares, se entende que os fungos são mais aparentados com os animais do que com as plantas e estão colocados em um grande agrupamento chamado Opistoconte. As amebas e outros organismos semelhantes são agrupados nos Amebozoários; as algas verdes, as plantas terrestres e as algas vermelhas são consideradas no grande grupo dos Archaeplastida; e os demais organismos, em outros cinco grandes grupos. Note que os organismos tradicionalmente considerados dentro do Reino Protista estão identificados com asteriscos vermelhos e pertencem a grupos muito distintos, não formando um grupo monofilético.



Exemplos práticos da importância dos conhecimentos sobre sistemática filogenética

Muitos são os exemplos que mostram a importância da sistemática filogenética em situações relacionadas com nossas vidas.

Vamos comentar somente dois desses exemplos e incentivamos você a procurar outros. Ao final, propomos um caso real de aplicação da filogenética na solução de um processo criminal para você discutir com os colegas e dar a solução.

Exemplo 1

Nas florestas tropicais da América Central e da América do Sul vivem várias espécies aparentadas de anfíbios coloridos, popularmente conhecidos por sapinhos-ponta-de-flecha. O nome se deve ao fato de os indígenas nativos dessas regiões usarem substâncias presentes na pele desses animais para envenenar a ponta de suas flechas e com elas caçar outros animais.

Atualmente se sabe que as substâncias produzidas por três espécies de sapinhos-ponta-de-flecha têm propriedades medicinais:



▲ Fotografia de *Phyllobates terribilis* (à esquerda), *Epipedobates tricolor* (no centro) e *Dendrobates pumilio* (à direita). Esses anfíbios têm, em média, de 2 cm a 5 cm de comprimento.

- *Phyllobates terribilis* produz uma batracotoxina que tem efeitos anestésicos locais e propriedades anticonvulsivas;
- *Epipedobates tricolor* produz epibatidina, que é um analgésico 200 vezes mais potente que a morfina;
- *Dendrobates pumilio* produz pumiliotoxinas que têm atividade cardiotônica (estimulante do coração).

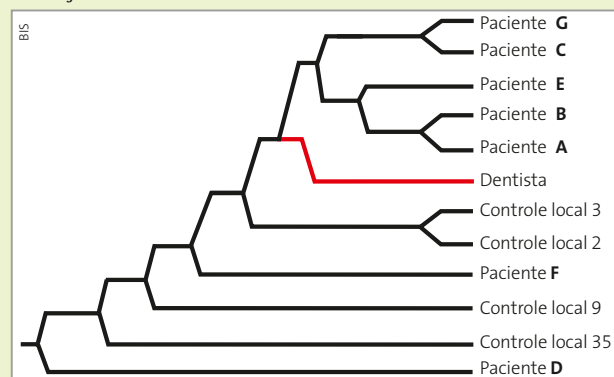
Com base nessas informações e sabendo que há correlação entre a presença de compostos semelhantes em espécies aparentadas, pode-se aplicar a filogenética no direcionamento de pesquisas a fim de saber quais são as espécies mais aparentadas das que já se tem a informação sobre a presença no corpo de compostos potencialmente importantes na medicina.

Exemplo 2

A Austrália é o país onde existe a maior diversidade de serpentes peçonhentas. Como não há antídotos para os venenos de cada uma das espécies, muitas pessoas acabam morrendo quando são mordidas por esses animais. Nesses casos, a filogenética está ajudando, pois há forte correlação entre as propriedades dos diferentes venenos e o parentesco evolutivo dessas espécies. Assim, se uma pessoa for mordida por uma serpente para cujo veneno não há o antídoto, pode-se olhar a posição filogenética dessa serpente no cladograma e verificar se já há o antídoto para o veneno de espécies próximas. Se existir, ele pode ser aplicado na vítima, com chance de sucesso.

Agora que você já conhece aplicações dos conhecimentos em filogenética, analise a questão criminal que ocorreu na década de 1990 na Flórida. Uma jovem contraiu Aids e não fazia parte de nenhum grupo de risco. Supôs-se que a transmissão do vírus tenha ocorrido durante uma cirurgia odontológica realizada alguns anos antes, por seu dentista sabidamente portador do HIV. Foram feitas análises genéticas comparativas dos vírus presentes no dentista, nessa paciente (A) e em outros pacientes desse dentista sabidamente portadores do HIV. Além disso, foram analisados indivíduos da comunidade local que eram HIV-positivos e que não tiveram contato com o dentista (considerados controles). Com base nesses dados, foi possível montar o cladograma abaixo.

Quando uma pessoa é infectada por outra, logo no início há grande semelhança entre os vírus dessas duas pessoas, mas com o tempo essa semelhança se reduz.



▲ Relação entre os vírus HIV das pessoas analisadas na solução da questão criminal.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

- Analise esse cladograma e discuta-o com os colegas. Qual seria o veredicto de vocês sobre a culpa do dentista na contaminação de seus pacientes pelo HIV? Justifique a resposta.



Retomando

Como você viu, as classificações dos organismos podem ser artificiais ou naturais. Essas últimas refletem o parentesco entre os grupos de seres vivos e nos ajudam a entender como ocorreu a evolução. Retome o agrupamento dos organismos que você propôs no **Pense nisso** e avalie-o: ele é artificial ou natural? Compare sua resposta com os cladogramas apresentados neste capítulo e, então, identifique subgrupos dentro de grupos maiores.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE
NO CADERNO



Atividade 1 Sobre classificação Habilidades do Enem: H3, H16, H28.

Um comportamento natural da espécie humana refere-se à organização das informações adquiridas no dia a dia. Pense, por exemplo, em como você organiza as anotações que faz durante as aulas. Você utiliza um caderno por matéria ou tem um fichário e estabelece separações entre as matérias? Independentemente da forma como você faz isso, o importante é que ela permita a localização das informações obtidas durante as aulas. Atitude semelhante acontece na organização de seus livros, que também pode ser feita usando diferentes critérios, como por título ou por matéria. Pergunte aos colegas como eles organizam anotações e livros. Eles têm algum critério para isso?

Agora, responda às seguintes questões:

- Como você organiza suas anotações de aula? E seus livros?
- Seus critérios de organização aplicados nesses casos coincidem com os usados por todos os colegas de sua classe? *Orientar os estudantes a compartilhar a resposta dada à questão com os colegas.*

Agora, vamos transpor essa discussão para a organização dos seres vivos em grupos.

Neste capítulo, comentamos que, antigamente, a classificação dos seres vivos era artificial e que essa forma de organizar a diversidade não é mais aceita. Compare a classificação atual dos seres vivos e o modo como você organiza suas anotações de aula e seus livros.

- Você considera que a classificação natural dos seres vivos corresponde à classificação que você fez de suas anotações e seus livros? E no caso de a classificação dos seres vivos ser artificial?

Atividade 2 Taxonomia – Nomenclatura binomial Habilidades do Enem: H15, H16.

A seguir é apresentada a classificação da onça-pintada. Os nomes dos táxons são colocados em ordem decrescente de abrangência.

Animalia → Chordata → Mammalia → Carnivora → Felidae → *Panthera* → *Panthera onca*

- Associe a cada táxon citado o nome da categoria taxonômica correspondente.
- Mencione as regras que devem ser seguidas para se escrever o nome científico das espécies.
- Suponha que você esteja fazendo uma busca na internet usando *Panthera onca* como termo-chave e depois passe a fazer a mesma busca substituindo esse termo por “onça-pintada”. Em cada caso, você obterá informações em qual(is) idioma(s)? Um estudante que mora na Inglaterra ou em qualquer outro país, mas que não fala português, utilizaria qual desses dois termos-chave em sua busca? Explique sua resposta. Se tiver acesso à internet, faça a busca como foi sugerido no início do enunciado e escreva, no caderno, um parágrafo comentando suas observações.
- Relacione a resposta que você deu ao item anterior com a vantagem de se adotar uma nomenclatura universal.

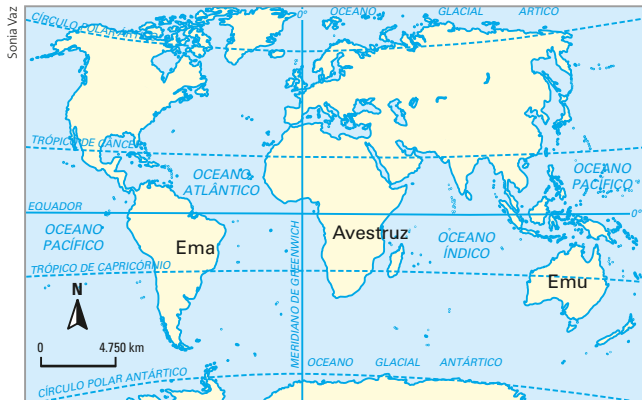


Testes

REGISTRE
NO CADERNO



1. (Enem) No mapa, é apresentada a distribuição geográfica de aves de grande porte e que não voam.

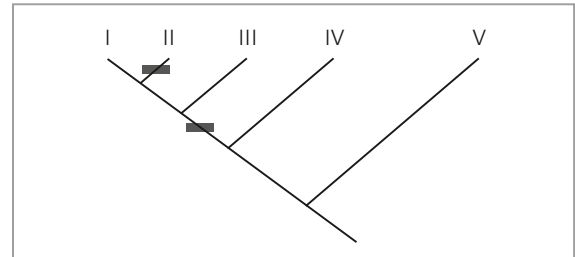


Há evidências mostrando que essas aves, que podem ser originárias de um mesmo ancestral, sejam, portanto, parentes. Considerando que, de fato, tal parentesco ocorra, uma explicação possível para a separação geográfica dessas aves, como mostrada no mapa, poderia ser:

- a) a grande atividade vulcânica, ocorrida há milhões de anos, eliminou essas aves do Hemisfério Norte.
- b) na origem da vida, essas aves eram capazes de voar, o que permitiu que atravessassem as águas oceânicas, ocupando vários continentes.
- c) o ser humano, em seus deslocamentos, transportou essas aves, assim que elas surgiram na Terra, distribuindo-as pelos diferentes continentes.
- ☒ d) o afastamento das massas continentais, formadas pela ruptura de um continente único, dispersou essas aves que habitavam ambientes adjacentes.
- e) a existência de períodos glaciais muito rigorosos, no Hemisfério Norte, provocou um gradativo deslocamento dessas aves para o Sul, mais quente.

2. (Fuvest-SP) Um determinado tipo de proteína, presente em praticamente todos os animais, ocorre em três formas diferentes: a forma P, a forma PX, resultante de mutação no gene que codifica P, e a forma PY, resultante de mutação no gene que codifica PX.

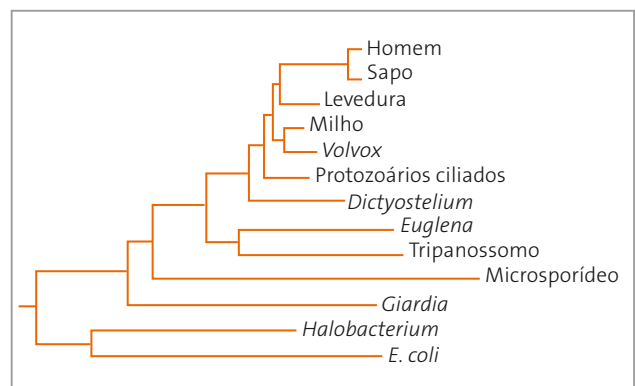
A ocorrência dessas mutações pode ser localizada nos pontos indicados pelos retângulos escuros na árvore filogenética, com base na forma da proteína presente nos grupos de animais I, II, III, IV e V.



Indique a alternativa que mostra as proteínas encontradas nos grupos de animais I a V.

	Proteína P	Proteína PX	Proteína PY
a)	I, IV e V	III	II
<input checked="" type="checkbox"/> b)	IV e V	I e III	II
c)	IV e V	II	I e III
d)	I e II	III	IV e V
e)	I e III	II	IV e V

3. (Ufes) A figura a seguir representa a possível relação evolucionária de diferentes organismos, deduzida a partir de análises bioquímicas usadas para a comparação das sequências nucleotídicas dos genes do RNA ribossômico (subunidade menor) desses organismos.



A partir da análise da figura foram feitas as seguintes afirmativas:

- I. Durante o processo evolutivo desses organismos, os genes responsáveis pelo RNA ribossômico apresentam sequências altamente conservadas, o que torna possível o estabelecimento das relações filogenéticas.

- II. Quanto maior a distância entre esses organismos, maior o número de mutações ocorridas na sequência nucleotídica estudada.
- III. Os vertebrados e os procariontes apresentam um ancestral comum, apesar das diferenças marcantes quanto à sua organização celular.
- IV. As plantas, animais e linhagens de fungos divergem a partir de um ancestral comum, relativamente tarde na evolução das células eucariotes.
- V. O homem e o sapo apresentam entre si um menor grau de homologia da sequência nucleotídica em questão, em comparação àquele existente entre o milho e a levedura.

Considerando as proposições, conclui-se que estão **corretas**:

- a) I, II, III, IV e V.
- b) apenas I, II, III e IV.
- c) apenas I, II e IV.
- d) apenas I e II.
- e) apenas III e V.

4. (UFPEL-RS) Carl von Linné (1707-1778), denominado Lineu, em português, através de sua obra *Systema Naturae*, propôs uma forma de denominar os seres vivos por intermédio do que chamou de “unidade básica de classificação” ou *espécie*. Como exemplo, a ave conhecida popularmente como quero-quero é classificada, segundo o modelo de Lineu, como *Vanellus chilensis*.



Fabio Colombini

De acordo com esses conceitos, analise as afirmativas a seguir.

- I. O nome específico de um organismo é sempre composto de duas palavras: a primeira designa o gênero e a segunda, a espécie.
- II. O nome específico do quero-quero é *chilensis* e o nome genérico é *Vanellus*.

- III. O nome específico do quero-quero é binominal, e *Vanellus* é seu epíteto específico.
- IV. O nome específico do quero-quero é binominal, e *Chilensis*, assim escrito, é seu epíteto específico.
- V. A espécie *Vanellus chilensis* inclui o gênero seguido de seu epíteto específico: *chilensis*.

Estão corretas apenas as afirmativas:

- a) II e III.
- b) IV e V.
- c) II e IV.
- d) I e III.
- x e) II e V.

5. (Ueap) “A sistemática é a ciência dedicada a inventariar e descrever a **biodiversidade** e compreender as **relações filogenéticas** entre os organismos. Inclui a **taxonomia** (ciência da descoberta, descrição e classificação das espécies e grupo de espécies, com suas normas e princípios) e também a **filogenia** (relações evolutivas entre os organismos). Em geral, diz-se que compreende a classificação dos diversos organismos vivos. Em biologia, os sistematas são os cientistas que classificam as espécies em outros táxons a fim de definir o modo como eles se relacionam **evolutivamente**.”

Fundamentos Práticos de Taxonomia Zoológica, 1994.
Autor: Papavero, Nelson.

Entre as afirmativas abaixo, qual é a que **não** se adéqua às teorias preconizadas sobre a classificação dos seres vivos?

- a) A classificação natural não se baseia apenas na morfologia ou na fisiologia, mas também no desenvolvimento embrionário dos indivíduos, no estudo do cariótipo da espécie, na evolução e distribuição das espécies, no estudo do material genético.
- b) Reino: é um grupo de filos; filos: é um grupo de classes; classes: é um grupo de ordens; ordem: é um grupo de famílias; família: é um grupo de gêneros; gênero: é um grupo de espécies; espécie: é um grupo de indivíduos semelhantes que se reproduzem entre si, gerando descendentes férteis.
- x c) A unidade de classificação dos seres vivos é a espécie, termo que designa um conjunto de indivíduos semelhantes entre si e que se cruzam, não produzindo descendentes férteis.
- d) A taxonomia agrupa os animais e vegetais de acordo com seu grau de parentesco.
- e) O termo binomial sugere que o nome científico de uma espécie é formado pela combinação de dois termos: o nome do gênero e o descritor específico.