

Introdução. A dialética da Evolução. Algumas perguntas

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Associar o pensamento evolutivo com o equilíbrio entre a mudança e a estabilidade.
- Apresentar hipóteses para a explicação de fenômenos da Natureza ligados à evolução.

Coisas são semelhantes. Por isso a ciência é possível. Coisas são diferentes. Por isso a ciência é necessária.

Richard Lewontin, 1983

A base da teoria evolutiva é a dialética entre o que muda e o que permanece. Se a taxa de mutação nos genes fosse muito maior do que é (por exemplo, se 1% dos genes, ao serem duplicados, sofresse mutações), a vida no planeta não seria possível do jeito que a conhecemos. Por outro lado, se a mutação não existisse, ou seja, se os sistemas de replicação fossem perfeitos, a evolução não seria possível.

INTRODUÇÃO

Evolução é o processo unificador da Natureza. É ela que nos liga, por laços de ancestralidade, a todos os seres vivos do planeta. Ela é a nossa história, a origem das relações ecológicas, da diversidade do planeta. É na evolução que encontramos a explicação para a taxonomia. Foi a evolução que gerou a complexidade celular, as relações fisiológicas e os processos bioquímicos. Todas essas frases refletem o papel da evolução na formação histórica do mundo atual. Foi por isso que a frase sobre a importância fundamental da evolução (“...nada faz sentido senão à luz da evolução.”) foi citada, tanto na Aula 8, de Grandes Temas em Biologia, como na primeira aula do curso de Genética.

De fato, o estudo da evolução envolve tantos outros estudos, que essa matéria é dada somente após os alunos de Biologia terem sido devidamente apresentados à Genética, à Dinâmica da Terra, à Ecologia e à Taxonomia dos Seres Vivos. A evolução é a explicação integradora da biodiversidade em todos os seus níveis. Seu estudo envolve a observação dos seus resultados e a formulação de hipóteses sobre como foram produzidos esses resultados. Ele envolve também a previsão, baseada nessas hipóteses, sobre resultados ainda não observados. Mas... o que é a evolução? Pense e responda: como você definiria evolução?

Apesar de a palavra “evolução” ter muitos sentidos, em Biologia, evolução quer dizer mudança nos genes ou em suas proporções nas populações. Repare que evolução não quer dizer progresso! Evolução é apenas mudança, sem que seja necessariamente para melhor ou para pior. Em Biologia, o que é melhor para um organismo em um momento pode ser pior em outro.

*Organic life beneath the shoreless waves
Was born and nursed in ocean's pearly caves;
First forms minute, unseen by spheric glass,
Move on the mud, or pierce the watery mass;
These, as successive generations bloom,
New powers acquire and larger limbs assume;
Whence countless groups of vegetation spring,
And breathing realms of fin and feet and wing.*

A vida orgânica nos mares sem fim
nasceu e cresceu nas cavernas brilhantes das ondas;
primeiro formas minúsculas, invisíveis às lentes,
moviam-se na lama, ou atravessavam os oceanos;
Essas, na explosão de novas gerações.
Novos poderes adquirem e novos membros desenvolvem;
onde inúmeros grupos de vegetação aparecem
E os reinos de organismos de nadadeiras, e pés e asas.

Erasmus Darwin. *The temple of nature*, 1802.

Erasmus Darwin acreditava na evolução, apesar de não propor um mecanismo plausível para ela. Essa tarefa teve de esperar duas gerações, até que seu neto, Charles Darwin, propusesse a teoria da seleção natural.

Os processos evolutivos são convencionalmente divididos em microevolução e macroevolução. A **microevolução** é entendida como a parte dos processos envolvidos nas mudanças de frequências dos genes nas populações. Esses processos estão associados às forças evolutivas da mutação, seleção natural e variações aleatórias (deriva gênica) e ao efeito da migração entre populações diferentes. A **macroevolução** está relacionada com as mudanças geológicas e seus resultados; ela lida com as grandes mudanças evolutivas, com a formação dos vários grupos de organismos e com os processos envolvidos. A microevolução envolve a genética das populações e a especiação lenta e gradual dessas populações. A macroevolução envolve a evolução acima do nível de espécie e as mudanças bruscas que podem provocar especiações aceleradas. Esses dois termos foram criados pelo entomólogo russo Iuri Filipchenko, em 1927, no primeiro estudo em que tentava integrar a genética mendeliana com a evolução. Como ele publicou em alemão, os termos não foram incorporados ao vocabulário dos evolucionistas até que, dez anos mais tarde, um aluno dele, chamado Theodosius Dobzhansky (você já leu



STEPHEN JAY GOULD

Foi um grande paleontologista, humanista e maravilhoso divulgador da Ciência. Ele escreveu vários livros que foram traduzidos para o Português; são deliciosos de serem lidos e tratam de questões científicas de maneira simples e fascinante. Alguns exemplos são: *Darwin e os grandes enigmas da vida*, *O polegar do panda*, *Quando as galinhas tiveram dentes*, *O sorriso do flamingo* e *Vida maravilhosa*.

MICROEVOLUÇÃO

Evolução que resulta apenas do acúmulo de pequenas mudanças nas frequências dos genes.

MACROEVOLUÇÃO

Evolução que resulta de grandes mudanças, tanto no aceleração ocasional dos processos de especiação como nas divergências entre os grandes grupos de organismos.

sobre esse importante pesquisador na Aula 8, de Grandes Temas em Biologia), usou os dois termos em inglês, no seu famoso livro *Genética e a origem das espécies*.

Para alguns evolucionistas, sobretudo da escola anglofônica (basicamente Inglaterra e EUA), a macroevolução nada mais é que o acúmulo de passos microevolutivos; nesse caso, seria o resultado direto da microevolução. Essa visão de continuidade entre micro e macroevolução constitui a **escola gradualista**. Para outros evolucionistas, sobretudo na Europa continental (mas incluindo também um dos fundadores da teoria evolutiva moderna, o inglês Ernst Mayr, e evolucionistas norte-americanos importantes, como **STEPHEN JAY GOULD** e Niles Eldredge), apesar de os processos microevolutivos contribuírem de maneira fundamental para a macroevolução, existem também processos macroevolutivos especiais, que não podem ser vistos como simples resultado de acúmulo microevolutivo. Um exemplo é a **teoria do equilíbrio pontuado**, pela qual as espécies, uma vez originadas, evoluem muito lentamente, por estarem bem adaptadas ao seu meio, embora, em momentos de crises ambientais específicas, elas evoluam muito rapidamente, em explosões de especiação.

Entendeu por que é **MICRO** e **MACRO**? É que a micro é realizada “devagar, devagarzinho”, constitui a soma de pequenos passos de mutação e modificação gradual das frequências dos genes, enquanto a macro realiza-se em grande escala, com “passos de sete léguas”.

Na primeira parte de nosso curso (primeiro módulo), veremos os processos evolutivos envolvidos na microevolução. Já no segundo módulo, verificaremos a interação entre microevolução e macroevolução, os processos evolutivos exclusivamente macroevolutivos e as consequências ecológicas da evolução. Ao longo deste curso, você poderá ver como o estudo da evolução permite que sejam feitas hipóteses sobre as relações filogenéticas entre as espécies e como fenômenos ecológicos (como a evolução de predadores e presas, as defesas químicas e as relações complexas entre espécies diferentes) podem ter-se originado. Você verá como as espécies se originam, e como podemos detectar geneticamente a presença de espécies diferentes, mesmo quando elas são tão parecidas a ponto de confundirem os taxonomistas. Verá também como o estudo da evolução pode ser útil para aqueles que, como você, se preocupam com a preservação das espécies.

EVOLUÇÃO COMO PROCESSO DIALÉTICO

A base da teoria evolutiva é a dialética entre o que muda e o que permanece. A teoria evolutiva também deve levar em conta o resultado da mudança que a coisa alterada provoca em seu redor. Assim, em vez de vermos apenas o ambiente como guia das mudanças adaptativas dos organismos, vemos também os organismos mudando o ambiente. Um exemplo bem claro desse processo é a evolução da aerobiose no planeta. Como nos outros planetas do nosso sistema solar, onde freqüentemente o oxigênio está ausente, a concentração de oxigênio livre na atmosfera primitiva da Terra era muito baixa (0,01%). Isso permitiu o aparecimento e a concentração de compostos orgânicos nos oceanos, sem que eles sofressem ataques oxidativos dos gases da atmosfera neles dissolvidos. Após o surgimento da vida e sua primeira diversificação, todos os organismos viviam em condições anaeróbicas (ou seja, sem oxigênio), conforme ainda encontramos em alguns grupos de bactérias no oceano (em fontes hidrotermais no mar profundo) ou em terra (como a bactéria do tétano, que morre em contato com o oxigênio, e por isso a água oxigenada é eficaz para ajudar a limpar feridas). A maneira anaeróbica de viver permaneceu no planeta por muitos milhões de anos usando, como fonte de energia para vida, os compostos orgânicos e inorgânicos acumulados nos oceanos nos milhões de anos anteriores.

No entanto, eventualmente surgiram bactérias capazes de usar uma nova forma de energia: a luz do Sol. A vantagem de usar a luz solar como fonte de energia para a vida era enorme, por ela ser abundante. Como era feito anteriormente pelas bactérias anaeróbicas, essa energia era usada para reduzir compostos orgânicos, dessa vez, porém, era usada com o hidrogênio nascente da hidrólise da água ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}^+ + \text{O}^-$). Se o hidrogênio produzido era útil para a bioquímica dessas células, o mesmo não se pode dizer do oxigênio, que era tóxico; desse modo, a evolução da fotossíntese só foi possível com os efeitos da diluição do oxigênio na água (lembre-se de que tudo isso estava acontecendo na água, onde se originou e permaneceu, por milhões de anos, a vida). Você observou o título desta seção, “A evolução como processo **dialético**”? No dicionário, vemos que “dialética” é, segundo a Filosofia, o “desenvolvimento de processos gerados por oposições que provisoriamente se resolvem em unidades”. Então me diga: Onde está a dialética dessa história do oxigênio que estamos vendo? Quais são as oposições? E qual foi a resolução dessas oposições?

Hoje em dia, como você sabe, o oxigênio é indispensável à vida da maior parte dos seres vivos. Mas ele, como vimos ainda há pouco, não era necessário antigamente. Muito ao contrário, ele era tóxico. Era tóxico para a vida que existia, embora tenha sido gerado por ela mesma. Aí está a **contradição**, ou a **oposição**, como diz o dicionário.

O que as primeiras bactérias fotossintetizantes queriam era o hidrogênio, mas como o tiraram da água, sobrava o oxigênio que, por sua vez, era um produto tóxico de excreção. No início, a resposta evolutiva a esse desafio foi o aparecimento de mecanismos de defesa contra os radicais livres do oxigênio (como as enzimas peroxidases, catalases e superóxido-dismutases). Mas a resolução dessas oposições foi a volta por cima que a Natureza deu, transformando o oxigênio de coisa tóxica a coisa necessária à vida... Vamos continuar então nossa história.

A vantagem evolutiva de usar a luz do Sol como fonte de energia foi tão grande que as bactérias fotossintetizantes proliferaram e acabaram dominando todos os ambientes iluminados do mar. Ao mesmo tempo, esse crescimento produziu um efeito poluidor devastador sobre as outras espécies. Por causa da fotossíntese, o oxigênio aumentou, mais de 2.000 vezes sua concentração na atmosfera, chegando aos 22% atuais (lembre que, na atmosfera primitiva, o oxigênio fazia só 0,01% do ar e dos gases dissolvidos na água). Na história da Terra, essa transformação no meio ambiente, causada pela evolução da fotossíntese, provavelmente provocou uma das maiores extinções de espécies (em proporção às espécies totais). Ao mesmo tempo, o aumento da concentração do oxigênio permitiu a evolução da respiração aeróbica, energeticamente muito mais eficiente do que a respiração anaeróbica (como você viu no curso de Bioquímica). O aparecimento da novidade evolutiva do uso de oxigênio na respiração transformou-o de elemento extremamente tóxico em elemento fundamental na evolução da vida no planeta, e a respiração aeróbica foi tão bem-sucedida que quase todas as espécies atuais necessitam do oxigênio para viver. Desse modo, no início da vida no planeta a maioria das espécies, não conseguiria viver na atmosfera atual, assim como a maioria das espécies atuais não conseguiria viver na atmosfera primitiva do nosso planeta. Essa é a dialética da evolução: o meio ambiente seleciona as espécies e as espécies modificam o ambiente, em processo contínuo. Você pode pensar em outros exemplos em que as espécies mudam o ambiente, permitindo a evolução de outras espécies?

O número de exemplos é enorme. Na verdade, a Evolução e a Ecologia estão cheias de casos em que uma espécie modifica o ambiente afetando diretamente ela mesma e outras espécies. Exemplos clássicos são as sucessões ecológicas, em que cada espécie aparece em um certo momento, que é determinado pelas espécies que apareceram antes e pelas transformações que elas provocaram no ambiente. Quando um navio afunda, por exemplo, no início ele não é colonizado; pouco a pouco, no entanto, bactérias e microalgas vão crescendo sobre ele. Essas bactérias vão acabar preparando a superfície do navio para ser colonizado por outros organismos que, por sua vez, vão servir de substrato para outros, e assim por diante... No final, o que vemos é um esqueleto de navio, que mais parece um pedaço de recife, tantos são os organismos que acabam vivendo sobre ele. Outro exemplo de modificação é aquela que os vegetais fazem no solo, transformando rochas e detritos de plantas e animais em terra, que servirá para o crescimento de outras plantas. Outros tipos são as várias espécies de parasitas, que evoluíram somente depois de seus hospedeiros terem aparecido (afinal, uma parte do meio ambiente do parasita é o hospedeiro).

PENSANDO A NATUREZA

Formulamos, a seguir, algumas perguntas para você. Procure respondê-las de todas as maneiras possíveis. Medite sobre cada uma, com cuidado. Imagine cenários alternativos ao da evolução para respondê-las. Por exemplo, será que o fato de serem encontrados fósseis diferentes nas camadas mais profundas é resultado apenas dos pesos diferentes dos organismos? Será que o fato de não serem encontrados fósseis de mamíferos nas rochas mais antigas pode ser devido a alguma coisa, como uma dificuldade maior de se preservar os fósseis de mamíferos em relação aos fósseis de moluscos? Solte sua imaginação! Mas considere também as respostas que envolvem a evolução, e veja como ela poderia ser usada para responder a cada pergunta.

Procure usar o que você já aprendeu em Genética, Dinâmica da Terra, Citologia, Bioquímica, Zoologia e Botânica para abordar cada pergunta. Não se esqueça de que “porque sim” ou “porque não” não são respostas! Escreva as respostas que você consegue encontrar para cada pergunta. Se puder, discuta-as com algum colega ou com os tutores. Atenção: a busca das respostas a cada pergunta em cursos anteriores e a discussão com amigos, familiares etc. é muito importante. Ao contrário das outras aulas do nosso curso, você não terá as respostas ao final desta aula. Essas perguntas são colocadas aqui para sua reflexão e como material para todo nosso curso de Evolução. Você deve guardar as respostas escritas e compará-las com o que for aprendendo ao longo das próximas aulas.

1. Por que os fósseis, em camadas diferentes de rocha e, independentemente, em vários locais do mundo, tendem a se agrupar, e se encontram por exemplo, fósseis de mamíferos somente nas camadas mais superficiais, ao passo que fósseis de esponjas aparecem em todas as camadas?

2. Por que encontramos fósseis de samambaias tropicais na Antártida?

3. Por que todos os seres vivos usam ácidos nucleicos (DNA e RNA) como molécula responsável pela hereditariedade, se várias proteínas poderiam exercer essa função igualmente bem?

4. Por que todos os animais usam o ciclo de Krebs para sua respiração aeróbica e o ATP como molécula transportadora de energia, se existem tantas maneiras diferentes de produzir e transmitir energia a partir do piruvato?



Figura 1.1

5. Por que não existem vertebrados com quatro patas e com asas ao mesmo tempo? (Imagine como seria útil a um tigre se ele pudesse voar, ou mesmo planar, ao tentar capturar sua presa, ou como seria útil para uma águia se ela tivesse mãos para ajudá-la a fazer seu ninho.)

6. Por que as baleias e golfinhos não têm brânquias?
7. Por que gêneros de répteis que vivem a vida inteira em locais sem nenhuma luz têm olhos (ainda que ocultos) por baixo da pele?
8. Por que, pergunta-se, nos cromossomos, os nossos pseudogenes, íntrons e transposons (você aprendeu a respeito dessas seqüências de DNA no curso de Genética) encontram-se em geral nas mesmas posições, que aqueles outros segmentos dos demais primatas, mesmo sabendo que a maior parte dessas seqüências de DNA nessas espécies não são úteis para nada?
9. Por que as seqüências de DNA são mais semelhantes entre um golfinho e um camundongo do que entre um golfinho e um atum?
10. Por que os insetos morriam rapidamente quando expostos ao DDT, nos anos 1950, e atualmente são muito mais resistentes? (o mesmo vale para a resistência das bactérias a antibióticos).
11. Abaixo, temos o desenho de um embrião de golfinho (*Stenella attenuata*). Por que, apesar de os golfinhos não terem membros inferiores (nem sequer transformados em nadadeiras), seus embriões apresentam os primórdios de braços (“bb” na figura) e pernas (“bp” na figura)? Note que esses pequenos braços e pernas já têm ossos, veias e nervos de membros verdadeiros, que são reabsorvidos ao longo da gravidez.

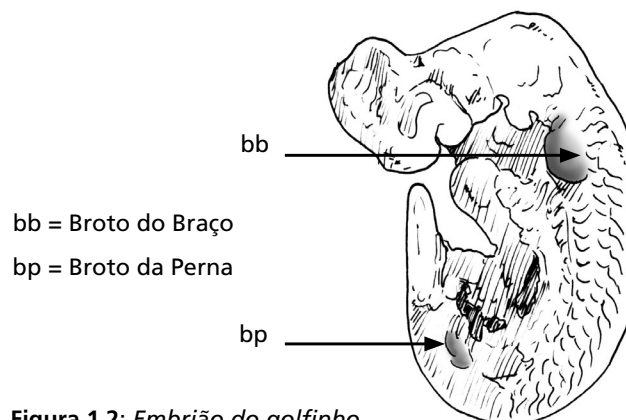


Figura 1.2: Embrião do golfinho.

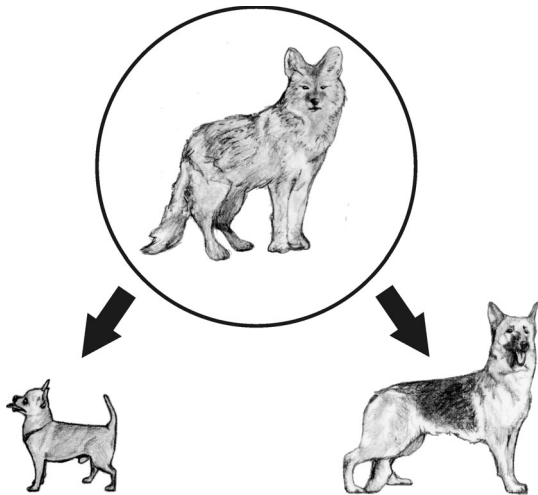


Figura 1.3

12. Como foi possível, a partir de cruzamentos que começaram com a domesticação de lobos selvagens (*Canis rufus*) na Ásia, há cerca de 14.000 anos (esse número se baseia em evidências arqueológicas e moleculares), criar um número tão grande de tipos de cachorro, do chiuaua ao pastor alemão?

EPÍLOGO, OU O FIM DO COMEÇO

Agora, que você tem as respostas a essas perguntas (você as tem, não é?), temos de levar em conta uma coisa importante: para qualquer fenômeno da Natureza, você pode encontrar, se procurar bem e tiver uma grande imaginação e muito tempo, um número infinito de explicações. Por exemplo, considere o gráfico a seguir (Gráfico 1.1):

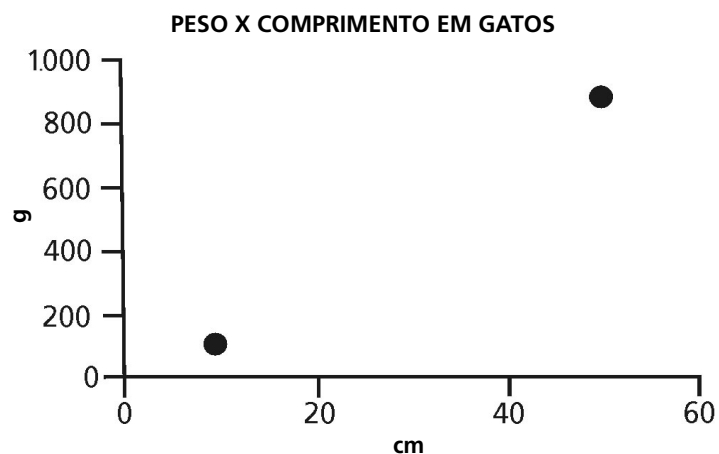


Gráfico 1.1: A relação entre comprimento e peso, em gatos, baseada em apenas dois pontos.

Quantas linhas você poderia traçar indicando a relação entre o comprimento e o peso de um gato? Como nós temos dois pontos, poderíamos colocar uma linha reta entre eles. Mas poderíamos também colocar um número infinito de curvas, todas passando pelos dois pontos.

É possível, inclusive, estabelecer modelos matemáticos complexos para cada uma dessas curvas e escrever relações sofisticadas, do tipo: “quando os gatos têm 10cm, eles apresentam 130g; depois, eles devem diminuir de peso, por causa da energia despendida no desenvolvimento gonadal. Depois, aos 20cm, eles sofrem uma grande engorda, passando de 1kg. A partir daí, seu envelhecimento começa, de modo que, aos 50cm, eles voltam a pesar 900 gramas”.

Para que a Ciência seja possível, devemos ser capazes de escolher entre as explicações alternativas para os fenômenos. Essa decisão é melhor tomada através da verificação experimental (por exemplo, aumentando o número de medidas ao longo da curva), como também pelo princípio da parcimônia. Nesse caso, usamos o que ficou conhecido como **A Navalha de Occam**, que recebeu esse nome por ter sido usada frequentemente pelo filósofo e teólogo franciscano, do século XIII, William de Occam (nome de uma cidadezinha inglesa). Pelo princípio da Navalha de Occam, se temos duas ou mais explicações para um determinado fenômeno e não temos nenhuma razão para crer que uma seja melhor que a outra, devemos escolher aquela que dependa do menor número de pressupostos. Em outras palavras, devemos usar a navalha para **cortar** as explicações desnecessariamente complicadas e escolher a que for mais simples. A Navalha de Occam é instrumento fundamental para os cientistas.

Tente, então, rever as respostas que você deu a cada uma das 12 perguntas anteriores e aplicar a Navalha de Occam para escolher aquelas que são mais simples.

RESUMO

A Evolução é o processo gerador de toda a diversidade da vida no planeta. O estudo da Evolução inclui aspectos de todas as outras disciplinas da Biologia. O processo evolutivo não é unidirecional, ou seja, as espécies não seguem o caminho simples do “adaptar-se ou morrer”, em relação ao meio ambiente, pois elas mesmas modificam esse meio. A Evolução, então, é um caminho complexo de interações entre as espécies entre si e entre elas e o meio ambiente.

ATIVIDADES FINAIS

1. “No princípio era a sopa”. Essa sopa era sem vida, mas rica em nutrientes produzidos quimicamente, a partir da atmosfera redutora primitiva e acumulados durante milhões de anos. Ela permitiu o início da vida, pois representava uma quantidade razoável de energia química acumulada. Assim, a primeira vida na Terra deve ter sido heterotrófica, usando essa energia. Porém, durante o crescimento dessa vida, tal sopa foi sendo consumida rapidamente, e a vida na Terra, nesse momento, corria o risco de se extinguir ou permanecer em níveis muito baixos, porque o processo de geração de alimentos quimicamente era muito lento. A vida, então, gerava sua primeira contradição: consumir sem produzir. O que permitiu que essa contradição fosse superada? E que nova contradição surgiu a partir dessa superação?

RESPOSTA

A superação dessa contradição se deu através do aparecimento de bactérias que conseguiam obter energia de uma fonte nova – o Sol. Essas bactérias usavam a luz para quebrar a molécula da água, produzindo hidrogênio, que era útil para reduzir compostos orgânicos e aumentar sua complexidade. A superação da contradição da heterotrofia, então, foi a fotossíntese. A nova contradição foi o acúmulo do produto tóxico desse processo, o oxigênio, que foi resolvida posteriormente com o aparecimento da respiração aeróbica, onde o oxigênio passou de tóxico a fundamental.

2. Newton vê uma maçã cair da árvore. Ela pode ter caído porque voou até o chão, através de seu desejo interno de se encontrar com o solo, onde lançará suas sementes; ela pode ter caído porque o espírito da floresta passava pela árvore naquele momento e a empurrou em direção ao chão; ela pode ter caído porque existe uma força de atração entre os corpos, que depende da massa e da distância entre eles. Como a Terra tem uma enorme massa, ela atraiu a maçã; ela pode ter caído porque Newton tinha poderes para normais e, sem saber, desejou que ela caísse. Entre essas possibilidades, Newton escolheu uma. Qual foi? Por que ele escolheu essa, dentre tantas outras explicações, como hipótese mais plausível? E o que foi necessário fazer para verificar se sua hipótese era, de fato, a mais provável?

RESPOSTA

A explicação que Newton encontrou foi a Lei da Gravidade. O critério de escolha foi a simplicidade (=parcimônia); ou seja, Newton usou a Navalha de Occam. A maneira de verificar sua hipótese foi observar a sua abrangência (Será que pedras também caem? Será que as coisas caem também fora das florestas? Será que as coisas caem mesmo quando Newton não está olhando para elas?) e procurar modelar, através da Matemática e de observações controladas, o seu comportamento.

AUTO-AVALIAÇÃO

Esta é uma aula introdutória. Se você está curioso para entender um pouco mais esse processo incrível que é a Evolução, então ela cumpriu seu papel. As dificuldades que você pode ter tido talvez estejam relacionadas às definições de micro e macroevolução ou à idéia da Navalha de Occam. Não se preocupe muito com os conceitos por enquanto: você vai vê-los de novo ao longo do curso. Já a idéia da Navalha de Occam é fundamental, não só para o nosso curso, mas para sua futura formação, como profissional. Mesmo que nem sempre fique explícito para quem a usa, essa Navalha está presente o tempo todo nas análises científicas. Mas seu conceito é fácil de aprender: quando temos várias explicações para um determinado fenômeno, procuramos escolher a mais simples em primeiro lugar. Ela pode até não ser a correta, mas é um bom ponto de partida.

Você pode ter tido dificuldade, também, em responder às perguntas que fizemos ao longo da aula, e para as quais não demos resposta. Se deixou alguma em branco, faça um esforço para respondê-la. O importante não é acertar ou errar, é pensar nas alternativas. Neste momento, você pode até brincar de ignorar a Navalha de Occam, e procurar explicações rebuscadas. Mas não deixe de responder a nenhuma das questões – elas serão revistas ao longo do curso e servirão, como medida de seu progresso no aprendizado de Evolução.