

## 5 A evolução da vida - Ideias científicas vigentes

### Identificando o processo evolutivo

Já vimos que o conceito de Evolução, em sua construção histórica, refere-se a modificações em grupos de organismos, passadas de geração a geração, ao longo do tempo.

Compare estes dois exemplos de mudanças em populações de besouros. Qual deles é um exemplo de Evolução?



Exemplo adaptado de *Descent with Modification*, da Universidade de Berkeley, nos EUA. Acesse o link pelo ambiente virtual.

#### BESOUROS EM DIETA

Imagine um ou dois anos de seca em um local, onde existem poucas plantas que uma determinada população de besouros possa comer.

Todos esses insetos têm as mesmas chances de sobrevivência e reprodução, mas, por causa das restrições alimentares, os besouros dessa população são um pouco menores do que os das gerações anteriores, que não estavam sujeitas à seca.

#### BESOUROS COM UMA COR DIFERENTE

A maioria dos besouros na população (digamos 90%) tem os genes para a coloração verde brilhante e alguns deles (10%) têm um gene que os torna mais amarronzados.

Após algumas gerações, as coisas mudaram: besouros marrons são mais comuns do que costumavam ser e, agora, compõem 70% da população.

Qual exemplo ilustra descendência com modificação (mudança na frequência gênica ao longo do tempo)?

A diferença de tamanho dos besouros no exemplo 1 surgiu por causa das influências ambientais (a baixa oferta de alimentos), e não por causa de uma mudança na frequência de genes. Portanto, não é um exemplo de evolução. Como o menor tamanho corporal nessa



Figura 5.1 Besouros em dieta.



Figura 5.2 Besouros com uma cor diferente.

população não foi determinado geneticamente, essa geração de pequenos besouros vai produzir besouros que atingirão o tamanho normal se eles tiverem uma alimentação não restritiva. Já no exemplo 2, a mudança de cor corresponde a um processo evolutivo: essas duas gerações observadas de uma mesma população são geneticamente diferentes. Mas como isso ocorre? Há teorias que explicam como os organismos mudam ao longo do tempo, sendo a Teoria da Evolução a mais aceita entre os investigadores da área.

## Mecanismos evolutivos

É comum pensarmos que as populações estão sempre em equilíbrio, que os genes dos organismos que compõem uma população possuem sempre as mesmas frequências. Entretanto, a estrutura genética de um grupo de organismos da mesma espécie nunca está em equilíbrio, pois existem pressões que provocam mudanças nessa estrutura. Os mecanismos evolutivos são, portanto, as forças que alteram a composição genética de um grupo de organismos.

E quais são os principais mecanismos de mudança?

A **mutação** é a origem da variação genética. Ela representa qualquer mudança no DNA ou no RNA de um ser vivo. As mutações são geralmente aleatórias, ou seja, não levam em conta possíveis consequências na sobrevivência ou na reprodução do seu portador. Elas não “tentam” suprir uma necessidade do organismo. O fato de uma mutação ocorrer não está relacionado a ela ser útil ou não ao organismo. Uma única mutação pode ter um grande efeito, mas, às vezes, é necessário um acúmulo de mutações para que ocorra uma mudança evolutiva. Há casos em que uma mutação (ou mesmo um acúmulo delas) não causa mudança nenhuma no fenótipo do organismo, mas há outros em que pode ser letal ou pode trazer um grande benefício para o indivíduo. Vale lembrar que as mutações podem ocorrer em qualquer célula de um ser vivo, mas somente aquelas que ocorrem nas células reprodutivas poderão ser passadas à geração seguinte.

Outro mecanismo que pode causar mudanças na composição genética de uma população é o **fluxo gênico**. Poucas populações estão totalmente isoladas de outras da sua espécie. Os organismos podem migrar de uma população para outra, levando seus genes para o novo local. Se eles conseguem se reproduzir ali, podem adicionar seus **alelos** à estrutura genética da nova população.

A **deriva genética** é um mecanismo, que pode alterar a proporção de alelos em uma população. Ela ocorre **por acaso**, de

forma aleatória. Por exemplo, imagine uma população de lagartos que vivem embaixo de um juazeiro isolado no meio da caatinga brasileira. Se esse juazeiro cai, alguns animais sobrevivem e outros não. Os que ficam não são os mais “aptos”, e sim os mais “sortudos”. **Há outras formas de deriva genética, mas todas elas pressupõem que a variação de alelos na população se dá ao acaso e não resultam em adaptação.** Para que a adaptação ocorra, indivíduos portadores do alelo variante têm de ter maior possibilidade de sobrevivência e maior sucesso reprodutivo.

O mecanismo de mudança que resulta em adaptação é a **seleção natural**. Para que o processo de seleção natural seja efetivo, são necessárias algumas condições em uma população:

1. Deve haver variação entre os organismos (se todos os organismos de uma população são iguais, como poderá ocorrer seleção?);
2. É necessária uma reprodução diferenciada entre os que possuem a variação e os que não a possuem (os organismos mais aptos para uma determinada condição ambiental terão maior sobrevivência e maior chance de deixar descendentes);



Alelos são as formas variantes de um gene, que surgiram por mutação.

3. A característica tem de ser herdável (deve ter uma base genética, podendo ser transmitida à geração seguinte). Portanto, se houver variação, reprodução diferencial e herança, haverá evolução por seleção natural como resultado.



### Fórum

No fórum desta semana, refletiremos sobre algumas teorias evolutivas. Para isso, observe as figuras abaixo e poste um comentário sobre as **condições necessárias para que o organismo desenhado na figura 5.3 seja um representante da espécie humana no futuro**. Responda ainda à questão: Considerando a aula anterior (**História do Pensamento Evolutivo**), em qual teoria evolutiva a figura 5.4 (do macaco ao homem) se apoia?

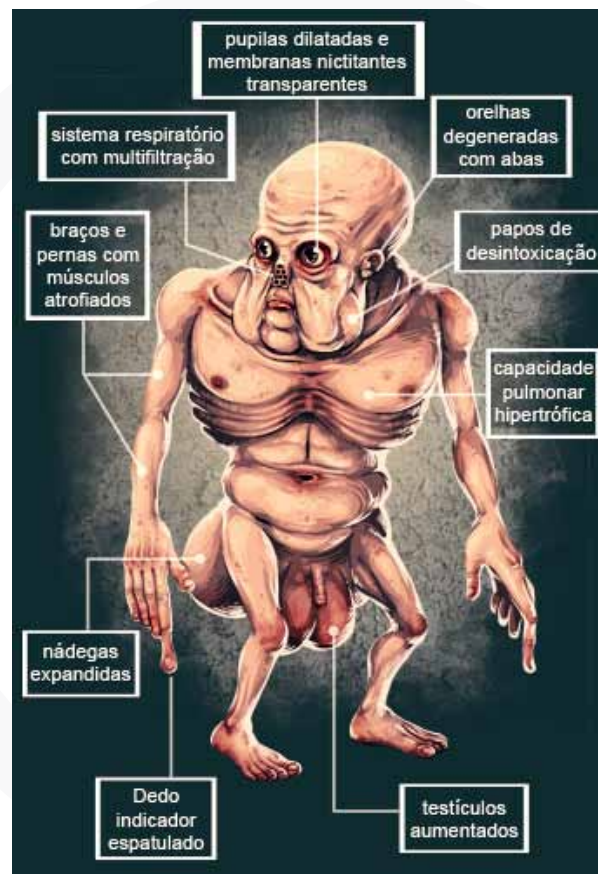


Figura 5.3 Representante da espécie humana no futuro.

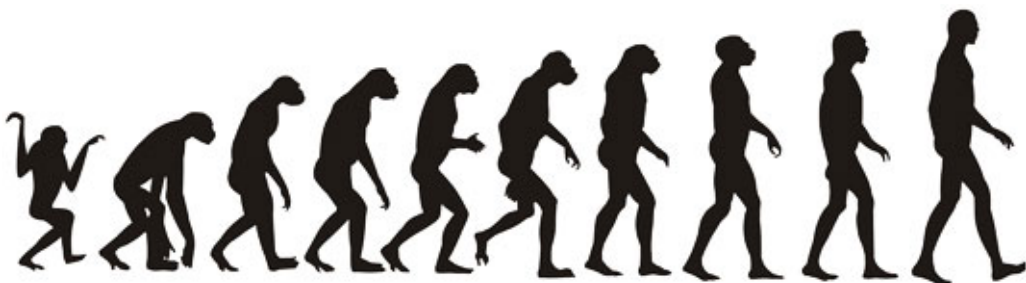


Figura 5.4 Do macaco ao homem.

## SELEÇÃO NATURAL

Alguns exemplos de seleção natural são bastante conhecidos, como a resistência a pesticidas em insetos ou a resistência a antibióticos em bactérias. Recentemente, ouvimos muitas notícias sobre uma superbactéria, que infectou pessoas em diferentes regiões do país. Várias reportagens diziam que essas bactérias poderosas haviam “adquirido” resistência aos antibióticos. Você concorda com essa afirmação?

Para responder a essa questão, compare duas frases parecidas, mas que expressam teorias bastante diferentes:

1. Os insetos desenvolveram resistência ao pesticida, sobrevivendo e deixando mais descendentes;
2. Os insetos resistentes ao pesticida foram favorecidos, tiveram maior taxa de sobrevivência e deixaram mais descendentes.

Qual a principal diferença entre elas? Pela primeira frase, os insetos são os sujeitos do processo evolutivo, eles “criaram” resistência no momento em que tiveram contato com um pesticida e passaram essa resistência aos seus descendentes. Ao falarmos dessa forma, estamos adotando a noção de caracteres adquiridos (atribuída a Lamarck, mas na verdade já comum antes dele), em que os insetos, ao terem contato com um pesticida tóxico, adquiriram alguma estrutura ou processo que lhes conferiu resistência e passaram essa característica às suas proles.

Na segunda frase, os insetos são o objeto do processo evolutivo, ou seja, aqueles que já possuíam alguma característica que conferia resistência sobreviveram em maiores taxas, tiveram a possibilidade de passar aos seus descendentes essa característica que, ao longo do tempo, resultou em uma adaptação.

Assim, dizer que as bactérias adquiriram resistência aos antibióticos nos leva a entender que esses medicamentos causaram alguma alteração nas bactérias, deixando-as mais resistentes. Se pensarmos segundo os mecanismos que já vimos (como mutação e seleção natural), algumas poucas bactérias já continham um tipo de mutação que as tornava mais resistentes. Essas bactérias mutantes sobreviveram em organismos tratados com antibióticos. A resistência (já presente antes do contato com os fármacos) é passada às suas células-filhas, aumentando cada vez mais a frequência dessa característica na população.

Entretanto, é importante frisar que a adaptação não é uma condição perfeita e não leva a níveis cada vez mais avançados. Evolução não é progresso. Como lembra o biólogo John Maynard Smith, se a Evolução fosse uma melhoria constante, o melhor fenótipo viveria para sempre, sempre escaparia de seu predador, teria mais descendentes e assim por diante. As características selecionadas são aquelas que, entre todas as outras variações encontradas dentro de uma população, representam as mais favoráveis para a sobrevivência em **determinadas** condições ambientais e em um tempo **determinado**. Elas não são características perfeitas que permitem a sobrevivência do organismo em qualquer desafio colocado pelo ambiente em que ele vive.

Vale lembrar ainda que a Evolução não é linear. É comum ouvirmos que “os peixes viraram sapos” ou que “o homem veio do macaco”. Essas colocações são bastante equivocadas, pois dão a impressão de que os peixes se transformaram em anfíbios (bem como os macacos em humanos) e deixaram de existir há tempos! Essa visão linear da Evolução, que já criticamos tanto no vídeo analisado no início desta aula quanto na figura sobre a evolução humana, ajuda a fortalecer a ideia de progresso no processo evolutivo.



Leia o texto [Falando de Evolução](#), de Ivan Dias, para uma maior reflexão sobre os problemas de usarmos uma linguagem finalista no Ensino de Evolução.

Outro ponto relevante é o fato de que, embora não seja um processo ao acaso, já que há pressões seletivas específicas para cada caso, a Evolução não tem uma finalidade, não há um projeto que visa à “melhor adaptação”. Entretanto, é comum encontrarmos, em livros didáticos ou revistas de divulgação científica, expressões como “o coração foi feito para bombear o sangue” ou “os animais precisavam ocupar o ambiente terrestre, então desenvolveram quatro patas e um ovo com casca”.

Com essa forma de falar, muitas vezes induzimos os estudantes à ideia de que as adaptações que vemos hoje surgiram para satisfazer as necessidades dos organismos em algum momento de suas vidas. Uma dificuldade no Ensino da Evolução é justamente essa: nossas concepções cotidianas influenciam nossas falas de tal forma que, muitas vezes, não nos damos conta de que podemos levar a um pensamento que não é coerente com o aceite cientificamente.



#### Texto Online

Com base no áudio “[Por que os elefantes têm tromba?](#)”, você considera que as construções frasais estão adequadas à teoria evolutiva contemporânea?

## Micro e macroevolução

### COMO A EVOLUÇÃO PODE RESULTAR EM CARACTERÍSTICAS NOVAS E COMPLEXAS?

Outra dificuldade encontrada no Ensino da Evolução refere-se à escala do processo evolutivo. Nos exemplos que vimos até agora (e os que comumente aparecem em livros didáticos e em outros materiais de apoio), aceitamos que os mecanismos evolutivos (mutação, fluxo gênico, deriva genética e seleção natural) explicam pequenas alterações em populações, mas eles são também capazes de explicar as grandes mudanças evolutivas?

Para Darwin, a seleção natural explica as transformações dentro de uma população e essa explicação pode ser extrapolada para além da organização populacional. O problema que há nessa ideia de Darwin é o fato de que nem sempre encontramos os organismos transicionais, ou seja, as formas intermediárias entre um grupo e outro. Para alguns cientistas, esse é um problema relacionado à falta de registro fóssil: nem todas as espécies que já existiram deixaram vestígios, e as mudanças abruptas seriam consequência da falta de registro. Já para os paleontólogos Stephen Jay Gould e Niles Eldredge, as mudanças entre os grupos não são resultado de acúmulos constantes e graduais de modificações, mas sim a alternância de longos períodos de poucas mudanças com rápidos saltos transformativos (veremos essa ideia com mais detalhes na aula sobre processos que originam a biodiversidade).

Mas, independentemente de serem gradualistas ou saltacionistas, é consenso entre os evolucionistas que os mecanismos de mudança presentes na microevolução podem também explicar a macroevolução.

Tomemos como exemplo o processo evolutivo das baleias. O que sabemos sobre isso atualmente? Para uma primeira aproximação, leia o trecho a seguir, sobre as transições no registro fóssil desses animais, extraído de [Evolução, Ciência e Sociedade](#).



**Evolução, Ciência e Sociedade** é um documento editado por Douglas Futuyma e traduzido para o português pela Sociedade Brasileira de Genética, em 2002) Acesse-o pelo link ao lado ou pelo ambiente virtual.



## TRANSIÇÕES NO REGISTRO FÓSSIL: BALEIAS A PARTIR DE UNGULADOS

J. JOHN SEPKOSKI, JR. (UNIVERSITY OF CHICAGO)

Baleias e golfinhos (cetáceos) são decididamente mamíferos: eles têm sangue quente, amamentam seus filhotes, têm três ossos no ouvido médio. Eles até têm vestígios internos de membros posteriores. O modo exato de parentesco dos cetáceos com outros mamíferos, entretanto, somente foi esclarecido por completo a partir dos anos '60, pela combinação de uma boa análise filogenética com descobertas paleontológicas espetaculares.

Sabe-se agora, por meio de uma série contínua de transições encontrada no registro fóssil, que os cetáceos evoluíram durante o início do Eoceno a partir de um grupo primitivo de ungulados carnívoros (mamíferos com cascos) chamados mesoniquídeos. Esse grupo tinha uma cabeça incomumente grande para o tamanho do seu corpo e dentes adaptados para esmagar tartarugas. Portanto, alguns mesoniquídeos deviam viver perto de águas habitadas por tartarugas.

O fóssil mais antigo incluído no gênero Cetacea é o *Pakicetus*, um crânio da camada ribeirinha do Baixo Eoceno do Paquistão. A estrutura do crânio é de cetáceo, mas os dentes são mais parecidos com os dos mesoniquídeos do que com os das baleias modernas com dentes. Um fóssil mais completo, igualmente do Paquistão, mas de depósitos marítimos rasos, é o *Ambulocetus* do início do Eoceno Médio. Os membros anteriores frontais e os fortes membros traseiros deste animal tinham patas grandes (e ainda com cascos) que podiam servir como nadadeiras e podiam ser viradas para trás como as dos leões marinhos. O *Ambulocetus* teria sido capaz de se locomover entre o mar e a terra. O mais importante, porém, é que as vértebras da parte baixa do dorso do *Ambulocetus* tinham uma articulação altamente flexível, que tornava o dorso capaz de executar um forte movimento para cima e para baixo, método usado pelos cetáceos modernos para nadar e mergulhar.

Em depósitos marítimos do Paquistão um pouco mais recentes, foram encontrados mais dois cetáceos fósseis, *Indocetus* e *Rodhocetus*. Esses animais tinham membros posteriores que provavelmente eram funcionais, mas o *Rodhocetus* tinha perdido a fusão das vértebras no local onde, nos mamíferos terrestres, a pelve se articula com a coluna vertebral. A perda desta fusão permitia uma flexibilidade ainda maior no movimento dorso-ventral da natação e sugere que este animal não se aventurava muito frequentemente a ir para a terra, se é que o fazia.

O *Basilosaurus*, de rochas do Eoceno Superior do Egito e dos Estados Unidos, é uma baleia mais moderna, com nadadeiras anteriores para pilotar e uma espinha dorsal completamente flexível. Assim mesmo, ao longo desta espinha dorsal, há vestígios da origem terrestre do *Basilosaurus*: membros posteriores completos, embora já pequenos, sem articulação com a espinha dorsal e provavelmente não-funcionais. Na evolução posterior dos cetáceos, esses membros posteriores ficaram ainda mais reduzidos, perdendo os artelhos e a rótula, necessários para a locomoção em terra.



### Atividades

#### Atividade interativa

Com base na sua leitura, complete o **cladograma** simplificado construído a partir das informações presentes no texto apresentado a seguir. Para isso, arraste cada fóssil até o seu lugar na árvore. Lembre-se de que muitas outras características são consideradas para elaborar uma árvore filogenética de um grupo e que novos fósseis encontrados podem alterar a disposição dos ramos. Essa é apenas uma hipótese e um exemplo reduzido.



Um cladograma é uma representação das relações de parentesco entre grupos. Os pontos onde os ramos se ligam, os nós, representam uma ou mais características presentes no ancestral comum dos grupos que estão acima desses nós. Você sabe qual a origem do termo cladograma? Abordaremos esse tema na próxima aula.

#### Texto Online

Elabore um texto de até 500 palavras sobre a importância dos fósseis transicionais para a construção de uma árvore filogenética.

## Comentários finais

Como toda teoria científica, a Teoria da Evolução continua a se desenvolver à medida que novas informações e ideias aprofundam a nossa compreensão. Quando nos referimos à “Teoria”, estamos considerando uma hipótese bem fundamentada, confirmada ou estabelecida como justificativa para fatos conhecidos. E quais são os fatos? A grande maioria dos estudiosos da Evolução aceita como um fato que todos os organismos, vivos ou extintos, são descendentes de uma ou, no máximo, algumas formas de vida iniciais. Para Darwin, essa era apenas uma hipótese, mas, após mais de um século de evidências vindas de diferentes áreas, como a Biologia Molecular e a Paleontologia, a “descendência, com modificações, de ancestrais comuns” tornou-se um fato científico. Em outras palavras, a Evolução é considerada um fato. Já a Teoria da Evolução é o “como” explicamos esse fato e, como toda teoria científica, está sujeita a debates e modificações.

Na próxima aula, veremos como o processo evolutivo se relaciona com a biodiversidade do planeta. Mas, se quiser se aprofundar um pouco mais sobre o pensamento evolutivo, vale a pena pesquisar em fontes como:

### Vale a pena consultar

#### Livros

- CARROLL, Sean. **Infinitas formas de grande beleza**: como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o nosso planeta. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2006.
- CHEDIAK, Karla. **A Filosofia da Biologia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2008.
- MEYER, Diego; EL-HANI, Charbel. **Evolução - o sentido da biologia**. São Paulo: Ed. Unesp, 2005.
- SHUBIN, Neil. **A História de quando éramos peixes**: uma revolucionária teoria sobre a origem do corpo humano. Rio de Janeiro: Editora Campus-Elsevier, 2008.

#### Links

- Site da [Universidade de Berkeley](#) sobre o Ensino de Evolução:
- Site da [Public Broadcasting Service](#) (PBS), uma rede de televisão estadunidense de caráter educativo-cultural.
- Arquivos sobre as relações ciência/religião, em perspectiva científica: [The TalkOrigins Archive](#): exploring the Creation/Evolution Controversy
- Página da internet com foco na [evolução das baleias](#): Evolução em Blog
- Página da internet sobre [evolução humana](#): Evolução em Blog
- Projeto de divulgação científica da Unicamp, tema: [Tempo Geológico](#) (para acessar este material, é necessário realizar um cadastro).

