

BIOLOGIA

Evolução



O nosso planeta abriga milhões de espécies, que exibem uma enorme diversidade de tipos de vida, vivendo nos mais diversos habitats. A teoria da evolução tenta explicar o mecanismo que propiciou essa imensa variedade de seres vivos. Basicamente, essa teoria supõe que os seres vivos são passíveis de modificação e que, portanto, podem sofrer alterações morfológicas ao longo dos séculos. Supõe, ainda, que as espécies atualmente conhecidas originaram-se de outras preexistentes e que a linha evolutiva se desenvolve no sentido de torná-las cada vez mais aprimoradas em seu processo de ajustamento – e conseqüente sobrevivência – às condições existentes em um determinado ambiente.

Algumas evidências de evolução

1- Adaptação

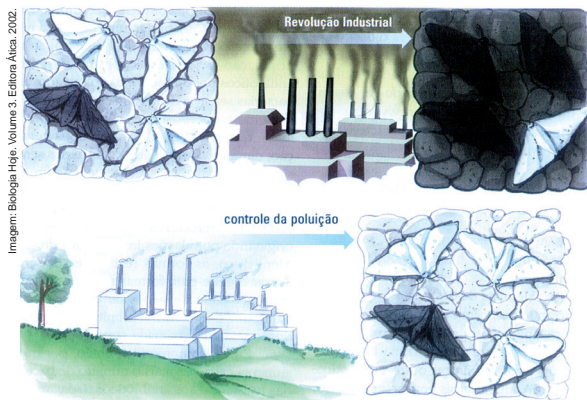
Entende-se por adaptação, o conjunto de características de uma espécie que contribuem para a sua sobrevivência e reprodução num determinado meio ambiente. Nos desertos, por exemplo, os camelos são capazes de tolerar a escassez de água, devido a uma série de características que apresentam, tais como a resistência à desidratação, a capacidade de utilização da água metabólica, a resistência às variações internas de temperatura etc. Deslocando-se esses animais das regiões desérticas para as regiões árticas, eles teriam grandes dificuldades para sobreviver nas novas condições ambientais. Além de encontrarem um clima totalmente diferente, teriam de competir pelo alimento disponível com espécies extremamente ajustadas a esse ambiente, como o caribu e o boi-almiscarado. Da mesma maneira, a transferência de caribus e bois-almiscarados das regiões árticas para o deserto acarretaria, para esses animais grandes problemas de ajustamento ao novo ambiente. Assim, pode-se concluir que, na natureza, cada espécie desenvolve suas atividades em ambientes mais ou menos específicos, explorando os recursos do meio de acordo com as características morfofisiológicas que apresentam.



Animal altamente adaptado à vida desértica.

A ação seletiva dos pássaros sobre as mariposas da espécie *Biston betularia* pôde ser constatada através de diversos trabalhos experimentais desenvolvidos por vários pesquisadores. Mariposas criadas em grande quantidade foram libertadas sobre troncos de árvores em áreas rurais e urbanas (industrializadas). Observou-se, utilizando-se binóculos e abrigos especiais, que as variedades que não “combinavam” com o fundo claro (zonas rurais) ou escuro (zonas industriais) estavam mais sujeitas à ação predadora dos pássaros insetívoros.

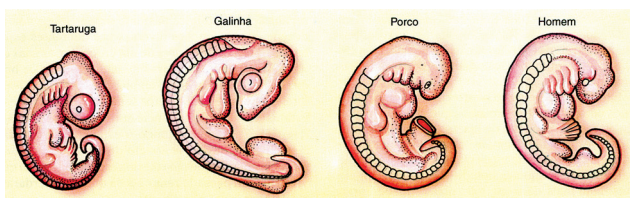
Tornou-se clássico o exemplo de adaptação ocorrida entre as mariposas que povoavam a cidade inglesa de Manchester. Em meados do século XIX, antes do processo de industrialização da cidade, era marcante o predomínio de mariposas claras em relação às mariposas escuras, ambos pertencendo à mesma espécie (*Biston betularia*). A coloração clara constituía, na época, uma característica favorável, uma vez que permitia uma camuflagem mais adequada das mariposas nos claros troncos das árvores recobertas de líquens; assim, era de difícil visualização por parte de pássaros insetívoros, que, então, capturavam e devoravam mais as mariposas escuras, facilmente identificáveis. Após a industrialização da cidade, os líquens foram eliminados pela poluição ambiental e a fuligem das fábricas escureceu o tronco das árvores. Nessa nova situação, as mariposas escuras passaram a camuflar-se melhor e, dentro de algum tempo constituíram o grupo predominante.



A seleção natural das mariposas de Manchester: até 1850, predominavam mariposas brancas; ao final do século XIX, depois da Revolução Industrial, houve maior número de mariposas negras. Finalmente, com o recente controle da poluição, as mariposas brancas voltaram a ser mais numerosas que as negras.

2- Embriologia comparada

O estudo comparado da embriologia de diversos vertebrados mostra a grande semelhança de padrão de desenvolvimento inicial. À medida que o embrião desenvolve-se, surgem, características individualizantes e as semelhanças diminuem. Essa semelhança também foi verificada no desenvolvimento embrionário de todos os animais metazoários. Neste caso, entretanto, quanto mais diferentes são os organismos, menor é o período embrionário comum entre eles.



Embriões de diversos vertebrados em estágio inicial de formação. a semelhança entre eles é uma prova embriológica da Evolução.

3- Documento fóssil

É considerado fóssil qualquer indício da presença de organismos que viveram em tempos remotos da Terra. As partes duras do corpo dos organismos são aquelas mais frequentemente conservadas nos processos de fossilização, mas existem casos em que a parte mole do corpo também é preser-

vada. Dentre eles podem-se citar os fósseis congelados, como, por exemplo, o Mamute encontrado na Sibéria do Norte e os fósseis de insetos encontrados em âmbar. Nesse último caso, os insetos que penetravam na resina pegajosa, eliminada pelos pinheiros, morriam. A resina endurecia transformando-se em âmbar, e o inseto aí contido era preservado nos detalhes de sua estrutura.



Fóssil muito bem preservado de um trilobita. Esse grupo de invertebrados dominou os mares durante toda a era Paleozóica.



Impressão e restos fossilizados do Archaeopteryx, uma ave primitiva.

Também são considerados fósseis impressões deixadas por organismos que viveram em eras passadas, como, por exemplo, pegadas de animais extintos e impressões de folhas, de penas de aves extintas e da superfície da pele dos dinossauros.

4- Evidências morfofisiológicas: órgãos homólogos, órgãos análogos e vestigiais

Órgãos homólogos são aqueles que têm a mesma origem embrionária: as funções por eles desempenhadas podem ser semelhantes ou não. São exemplos de **órgãos homólogos**: braço humano, asa de ave, asa de morcego; cauda de cachorro e cauda de macaco.

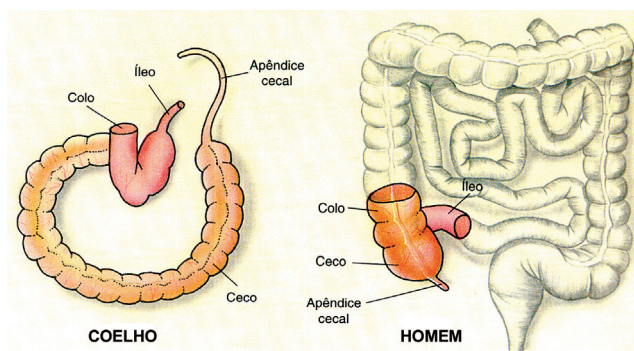
A homologia constitui um argumento favorável à evolução, pois indica que diferentes organismos tiveram uma origem evolutiva comum. Os órgãos homólogos decorrem de **irradiação adaptativa**, fenômeno em que, a partir de um mesmo tipo ancestral, desenvolvem-se vários grupos que exibem linhas evolutivas divergentes. Considerando, por exemplo, os mamíferos atuais, pode-se constatar a grande diversificação ocorrida em seus membros, fato que reflete adaptações resultantes de um processo evolutivo gradual, no sentido de ajustar melhor cada grupo as condições do meio ambiente onde vivem. Assim, observam-se membros adaptados para a vida arborícola (macacos, preguiças), para a corrida (leopardos, cães, antílopes), para natação (baleias, golfinhos, focas), para o vôo (morcegos, esquilos planadores), para a escavação (tatu) etc.



Em milhões de anos de Evolução, a partir de mamíferos primitivos [1], surgiram, por irradiação adaptada, diferentes tipos de mamíferos: [2] arborícolas (macacos), [3] voadores (morcegos), [4] cavadores de buracos (topeiras), [5] herbívoros corredores (veado), [6] aquáticos (baleia), [7] resistentes ao clima do deserto (rato-canguru), [8] resistentes ao frio dos pólos (urso-polar) e muitos outros tipos.

Órgãos análogos, por sua vez, são aqueles que desempenham funções semelhantes, embora a origem embrionária possa ser diferente. É o caso das asas de aves e de insetos ou das nadadeiras de um tubarão e de um golfinho. As analogias mostram a ocorrência de adaptações convergentes, fenômeno pelo qual espécies diferentes são selecionadas de maneira a exibir adaptações semelhantes que as ajustam às circunstâncias de um determinado ambiente. Exemplificando, podemos citar os grandes mamíferos dos mares (baleias, golfinhos), que têm o corpo fusiforme, adaptado à natação, com membros transformados, parecidos com as nadadeiras dos peixes. Note que as analogias observadas nos casos de convergência adaptativa não constituem sinais de parentesco evolutivo, mas apenas adaptações promovidas pela seleção natural para o ajustamento das espécies em meios semelhantes.

Órgãos vestigiais: Órgãos reduzidos em tamanho e geralmente sem função, que correspondem a órgãos maiores e funcionais em outros organismos. Indicam ancestralidade comum.



Comparação entre o ceco intestinal humano e o de um coelho. O ceco e o apêndice cecal, onde vivem microorganismos que atuam na digestão da celulose, são muito mais desenvolvidos em animais herbívoros, como o coelho, do que nos humanos. A teoria da evolução admite que as adaptações desses animais a tipos de alimentação diversos levaram a essas diferenças na estrutura do intestino.

Vocabulário

- **Homologia:** Mesma origem embriológica de estruturas de diferentes organismos, sendo que essas estruturas podem ter ou não a mesma função. As estruturas homólogas sugerem ancestralidade comum.
- **Analogia:** Semelhança entre estruturas de diferentes organismos, devido unicamente à adaptação a uma mesma função. São consideradas resultado da evolução convergente.

As teorias evolutivas

Várias teorias evolutivas surgiram, destacando-se, entre elas, as teorias de **Lamarck** e de **Darwin**. Atualmente, foi formulada a Teoria sintética da evolução, também denominada **Neodarwinismo**, que incorpora os conceitos modernos da genética às idéias essenciais de Darwin sobre seleção natural.

1- A teoria de Lamarck

Jean Baptiste Lamarck (1744-1829), naturalista francês, foi o primeiro cientista a propor uma teoria sistemática da evolução. Sua teoria foi publicada em 1809, em um livro denominado *filosofia zoológica*.

Segundo Lamarck, o princípio evolutivo estaria baseado em duas leis fundamentais:

- **Lei do uso ou desuso:** o uso de determinadas partes do corpo do organismo faz com que estas se desenvolvam e o desuso faz com que se atrofiem.
- **Lei da transmissão dos caracteres adquiridos:** alterações provocadas em determinadas características do organismo, pelo uso ou desuso, são transmitidos aos descendentes.

Lamarck utilizou vários exemplos para explicar sua teoria. Segundo ele, as aves aquáticas tornaram-se pernaltas devido ao esforço que faziam no sentido de esticar as pernas para evitar molhar as penas durante a locomoção na água. A cada geração, esse esforço produzia aves com pernas mais altas, que transmitiam essas características à geração seguinte. Após várias gerações, teriam sido originadas as atuais aves pernaltas.

A teoria de Lamarck não é a mais aceita atualmente, pois foi comprovado que suas idéias apresentam um erro básico: as características adquiridas não são hereditárias.

Verificou-se que alterações em células somáticas dos indivíduos não alteram as informações genéticas contidas nas células germinativas, não sendo, dessa forma, hereditárias.

Apesar de não explicar de forma correta o fenômeno da evolução, a teoria de Lamarck deixou importante contribuição para a teoria evolucionista, através do desenvolvimento da noção de adaptação ao meio ambiente, mostrando que aqueles indivíduos em harmonia com o meio têm melhores condições para a sobrevivência.

Curiosidade

Um dos experimentos clássicos, cujos resultados refutaram as idéias de Lamarck, foi desenvolvido pelo biólogo alemão **Weissman**, no período de 1868 a 1876. Esse pesquisador cortou a cauda de ratos durante várias gerações e os ratos continuaram a nascer com cauda. Através desse experimento, Weissman demonstrou que a característica adquirida pelos ratos – **ausência de cauda** – não se transmitia aos descendentes.

2- A teoria de Darwin

Charles Darwin (1809-1882), naturalista inglês, desenvolveu uma teoria evolutiva que é a base da moderna teoria sintética: a **teoria da seleção natural**. Segundo Darwin, os organismos mais bem adaptados ao meio têm maiores chances de sobrevivência que os menos adaptados, deixando um número maior de descendentes. Os organismos mais bem adaptados são, portanto, selecionados para aquele ambiente.

Os princípios básicos das idéias de Darwin podem ser resumidos do seguinte modo:

- Os indivíduos de uma mesma espécie apresentam variações em todos os caracteres, não sendo, portanto, idênticos entre si.
- Todo organismo tem grande capacidade de reprodução, produzindo muitos descendentes. Entretanto, apenas alguns dos descendentes chegam à idade adulta.
- O número de indivíduos de uma espécie é mantido mais ou menos constante ao longo das gerações.

- Assim, há grande “luta” pela vida entre os descendentes, pois apesar de nascerem muitos indivíduos poucos atingem a maturidade, o que mantém constante o número de indivíduos na espécie.
- Na “luta” pela vida, organismos com variações favoráveis às condições do ambiente onde vivem têm maiores chances de sobreviver, quando comparados aos organismos com variações menos favoráveis.
- Os organismos com essas variações vantajosas têm maiores chances de deixar descendentes. Como há transmissão dos caracteres de pais para filhos, estes apresentam essas variações vantajosas.
- Assim, ao longo das gerações, a atuação da seleção natural sobre os indivíduos mantém ou melhora o grau de adaptação destes ao meio.

Explicação de Darwin para o pescoço longo das girafas:

As girafas ancestrais provavelmente apresentavam pescoços de comprimentos variáveis. As variações eram hereditárias.

A competição e a seleção natural levaram à sobrevivência dos descendentes de pescoços longos, uma vez que estes conseguiram alimentar-se melhor do que as girafas de pescoços curtos.

Finalmente, apenas as girafas de pescoços longos sobreviveram à competição. Portanto, pela seleção natural ocorreu a evolução.

Explicação de Lamarck para o pescoço longo das girafas:

As girafas ancestrais provavelmente tinham pescoços curtos. Para alcançar a folhagem das árvores de que se alimentavam tinham que esticar o pescoço

Pelo fato de esticarem sempre o pescoço para atingir a folhagem das árvores, o pescoço alongou-se. Essa característica adquirida era transmitida aos seus

Finalmente, o contínuo esticamento do pescoço deu origem as girafas atuais. Portanto, pelo uso ou desuso e pela transmissão das características adquiridas houve a evolução.

Observe na tabela a seguir os principais pontos das teorias de Lamarck e Darwin.

Teoria de Lamarck
<ul style="list-style-type: none"> • Duas leis fundamentais: <ul style="list-style-type: none"> – Lei do uso e desuso; – Lei da transmissão das características adquiridas • Erro básico dessa teoria: as características adquiridas não são hereditárias • Contribuição de Lamarck para a teoria da Evolução: desenvolvimento do conceito de adaptação dos indivíduos ao meio.
Teoria de Darwin
<ul style="list-style-type: none"> • Seleção natural: indivíduos de uma determinada população, que apresentam variações vantajosas para a sobrevivência em um ambiente particular, são selecionados positivamente, deixando maior número de descendentes que os indivíduos que não as apresentam. • Importância da teoria de Darwin: é a base da moderna teoria evolutiva. • Problema não resolvido por Darwin: a origem das variações existentes nas populações.

Neodarwinismo: teoria moderna da Evolução

Novas espécies são produzidas através da seleção natural de variações favoráveis ou desfavoráveis, produzidas por mutação e recombinação genética”.

A teoria moderna da evolução concebe o processo como Darwin o concebeu, com a importante adição do entendimento dos mecanismos de hereditariedade. A Genética do século XX elucida 2 perguntas que Darwin não foi capaz de responder: (1) por que as características genéticas não se “fundem”, podendo desaparecer ou reaparecer, e (2) como aparecem as variações sobre as quais age a seleção natural. É, portanto, a TME uma síntese da evolução darwiniana e dos princípios mendelianos.

A seguir estudaremos as fontes da variabilidade genética e os fatores evolutivos.

Fontes da variabilidade genética:

Os mecanismos que levam ao aparecimento da variabilidade genética de uma população são: as mutações (gênicas ou cromossômicas) e as recombinações genéticas.

Para os geneticistas, uma população é um conjunto de indivíduos que se cruzam entre si. Quando os componentes da população se reproduzem, eles transferem para a geração seguinte o seu patrimônio genético. O Patrimônio genético de uma população é denominado “pool” gênico (ou conjunto gênico) da população, ou seja, “pool” genético de uma população é a somatória de todos os alelos, de todos os genes e de todos os indivíduos da população. As mudanças no “pool” gênicas de uma população representam as mudanças evolutivas pelas quais passa a população. Se através de gerações sucessivas, o “pool” gênico de uma população não se altera, isto quer dizer que a população não está evoluindo, dizendo-se, então, que a população está em equilíbrio genético.

As mutações

São modificações no patrimônio genético de um indivíduo. Mutação (mudança) é qualquer alteração auto-reprodutível na organização do material genético original, transmissível hereditariamente, dando origem a novos genótipos, por conseguinte a novos fenótipos, aumentando a variabilidade da espécie. Essas variações sofrerão a ação da seleção natural, ou seja, a Natureza se encarregará de dizer se as tais variações mutantes são ou não favoráveis àquele meio onde ocorreram.

Recapitule a “Genética” recordando-se que esse gene mutante pode ser epistático, pleiotrópico, pode alterar a penetrância ou a expressividade de um outro gene, pode ser letal, enfim, pode trazer desde uma mudança (mutação) simples, até uma mudança bem radical, naquele organismo onde tal processo ocorreu.

Recombinação genética (ou desvinculação)

É o aparecimento de combinações gênicas novas, diferentes daquelas presentes nos cromossomos dos genito-

res, devido ao fenômeno casual do “crossing-over”, que permite a desvinculação de genes em “linkage”. A importância evolutiva desse fenômeno é que surgindo novas combinações gênicas, surgirão novas combinações de fenótipos dos diferentes caracteres existentes, surgindo obviamente, uma grande multiplicidade de variações novas. Conclusão: a recombinação genética aumenta a variabilidade da espécie.

Especiação

É o processo biológico em que há formação de uma ou mais espécies novas. Os cientistas acreditam que a maioria das espécies surgiram através de grupos que se isolaram da população original e se adaptaram a diferentes regiões. Esse tipo de especiação envolve pelo menos 3 etapas sequenciais:

a) Isolamento geográfico:

Sabemos que em uma determinada população existe uma variação de conjunto gênico. Suponhamos que o ambiente onde esta população exista, sofra bruscas alterações como terremotos, formação de montanhas, áreas inundadas em duas partes, promovendo uma barreira geográfica e impedindo a troca de genes entre os indivíduos das populações separadas, fazendo com que variações genéticas novas surgidas em uma das populações, não sejam transmitidas para a outra.

Nas áreas separadas, as condições ambientais também tornam-se diferentes, o que determina diferentes pressões seletivas do ambiente. Desta forma, as populações separadas vão acumulando diferenças ao longo do tempo, podendo chegar a desenvolver mecanismos de **isolamento reprodutivo**, formando assim populações de espécies distintas. A imagem acima ilustra todo o processo de especiação.

Pode ocorrer, entretanto, que em um determinado momento a barreira geográfica deixe de existir, uma vez que elas não são necessariamente permanentes. Neste caso, as populações outrora separadas entrarão novamente em contato e dependendo do grau de diferenciação atingido durante o período de separação, as seguintes situações podem resultar desse novo contato:

a) As diferenças desenvolvidas atingiram tal ponto que não há cruzamento entre os indivíduos das populações, devido ao mecanismo de isolamento reprodutivo. Cada uma das populações são consideradas espécies distintas. Quando estas diferentes espécies coexistem lado a lado, explorando recursos do meio de forma diferente, são denominadas de **espécies simpáticas** (espécies que vivem em uma mesma área geográfica).



Um exemplo de isolamento reprodutivo por esterilidade do híbrido ocorre entre cavalos e jumentos. Do cruzamento entre jumento (*Equus asinus*) (A) e égua (*Equus caballus*) (B) resulta a mula (C), um híbrido estéril.

Imagem: Biologia Moderna, Editora Moderna, 2002.

b) As diferenças desenvolvidas não foram suficientes para impedir o cruzamento entre os indivíduos das populações, sem que tenha se estabelecido o isolamento reprodutivo. Desta forma, ocorre fluxo gênico entre essas populações formando o que chamamos de **raças geográficas** ou **sub-espécies** de uma mesma espécie. Uma característica importante das raças é que elas geralmente são alopátricas, ou seja, vivem em regiões geográficas diferentes, porém sem isolamento reprodutivo.

b) Isolamento reprodutivo:

Se uma população foi dividida em duas partes por um processo de isolamento geográfico, é possível, como já vimos que cada grupo se torne progressivamente diferente do outro, como consequência da ação do mecanismo de adaptação. Essas populações diferentes entre si, embora pertençam à mesma espécie, são consideradas raças, podendo ser identificadas como sub-espécies nos casos em que as diferenças sejam mais evidentes. Raças e sub-espécies, como é lógico, produzem híbridos férteis quando cruzados e podem persistir por milhões de anos sem se transformar necessariamente em novas espécies. No entanto, o fato de grupos da mesma espécie ficarem impossibilitados de trocar genes por um longo período pode contribuir para que as diferenças se acentuem, impedindo que os organismos voltem a se cruzar, mesmo que colocados artificialmente no mesmo ambiente. Esse é o ponto chave da especiação. No momento em que a troca de genes entre duas populações se torna impossível entre grupos simpátricos, dizemos que os grupos constituem espécies distintas. O fator de impedimento à troca de genes corresponde sempre a um conjunto de pequenas alterações introduzidas no mecanismo de reprodução e recebe a designação global de isolamento reprodutivo. Seu aparecimento se baseia na ocorrência de mutações, recombinação genética e seleção natural e, de maneira geral, tem início sempre a partir da existência de isolamento geográfico.

Os mecanismos de isolamento reprodutivo podem ser classificados em dois grupos: os pré-zigóticos e os pós-zigóticos. Os pré-zigóticos atuam na fase que antecede à existência do zigoto, impedindo ou dificultando a união dos gametas; os pós-zigóticos impossibilitam que o zigoto formado se desenvolva ou que o filho formado passe genes para a geração seguinte.

c) Isolamento pré-zigótico:

- **Habitat:** as populações vivem na mesma região, mas ocupam habitats diferentes.
- **Sazonal:** as populações vivem na mesma região, mas apresentam maturidade sexual em épocas diferentes.
- **Etológico:** há diferenças de comportamento relacionadas com o método de corte, a forma de acasalamento etc.
- **Mecânico:** a fecundação é impedida por diferenças estruturais nos órgãos reprodutores (genitália nos animais e flores nos vegetais).

d) Isolamento pós-zigótico:

- **Inviabilidade do híbrido:** o híbrido se forma, mais é inviável (não se desenvolve ou não sobrevive à competição).

- **Esterilidade do híbrido:** o híbrido se forma, mas é estéril (por ter gônadas não funcionais ou ser impossível o pareamento homólogo no processo de meiose).
- **Deterioração de F2:** os híbridos são normais, vigorosos e férteis, porém a geração seguinte contém muitos organismos fracos ou estéreis.

Espécie

É um conjunto de indivíduos morfo-fisiologicamente semelhantes, capazes de produzir uma descendência semelhante e fértil. Este é o conceito básico, elementar e essencial da espécie, contudo uma série de critérios (morfológico, anatômico, fisiológico, cromossômico, geográfico e ecológico) podem ser considerados para definir “espécie”. Por exemplo, a igualdade no número de cromossomos leva à intrafertilidade (indivíduos da mesma espécie cruzam entre si produzindo descendentes férteis = trocam genes), enquanto que a desigualdade no número de cromossomos leva à intersterilidade (indivíduos de diferentes espécies não cruzam ou o produto do cruzamento é estéril). Poderíamos conceituar espécie dizendo que se trata de uma população reprodutivamente isolada das outras.

Raças ou subespécies

Uma espécie pode apresentar várias populações estabelecidas em áreas diferentes, sofrendo diferentes pressões seletivas e apresentando “pool” gênicos (diferentes frequências gênicas) são denominadas raças geográficas ou subespécies de uma mesma espécie. As raças são também ditas espécies incipientes (ou espécies em forma).

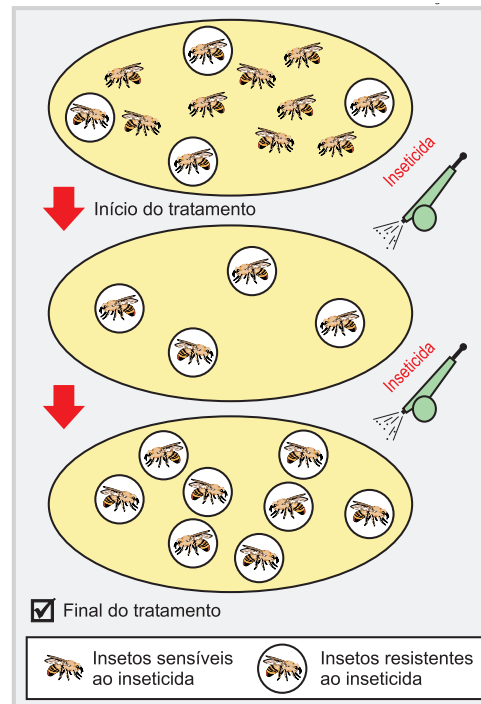
Uma característica importante das raças é que elas são sempre alopátricas (vivem em regiões geográficas diferentes = isolamento geográfico).

Quando raças diferentes são colocadas numa mesma região, isto é, quando se tornam simpátricas (vivem na mesma região geográfica = sem isolamento geográfico), elas se fundem, constituindo uma única população cujo “pool” gênico (conseqüentemente a frequência gênica) dependerá dos diferentes “pool” gênicos das populações alopátricas (raças) que se fundiram.

Texto complementar

Os inseticidas e a seleção de linhagens resistentes

Numa população de insetos nitidamente sensíveis (não-resistentes) à ação de determinado inseticida – DDT, por exemplo –, é de se esperar que alguns poucos indivíduos sejam naturalmente resistentes. A capacidade de resistir ao agente químico constitui uma característica determinada por certos genes, que conferem aos insetos que são seus portadores uma variação “favorável”, no caso de a população ser exposta ao inseticida. Logo, pulverizando-se DDT sobre es-



ses insetos, observa-se no início uma forte redução na população, fato que corresponde à morte dos indivíduos sensíveis. Os insetos resistentes, porém, não só sobrevivem como continuam a se reproduzir, originando descendentes igualmente resistentes.

Assim, depois de algumas gerações, a população abriga praticamente apenas insetos resistentes, o que justifica o fato de o número de indivíduos permanecer mais ou menos inalterado, mesmo quando novas aplicações do inseticida são processadas (figura acima).

Diz-se, então, que a população está adaptada à presença do inseticida e que a seleção natural fixou a variação “favorável”, que confere a capacidade de resistir ao agente químico. A mesma explicação é válida para o uso contínuo de antibióticos, que provoca a seleção de linhagens bacterianas resistentes, o que justifica a diminuição da eficácia desses medicamentos depois de algum tempo.

Guerra microscópica

Quando se diz que microrganismos diversos, como as bactérias, desenvolvem resistência aos antibióticos, devido ao uso abusivo dessas substâncias na tentativa de cura de infecções, a expressão “desenvolvem resistência” constitui um conceito lamarckista e, portanto, errôneo. Errôneo porque tal idéia supõe que a presença dos antibióticos teria induzido nas bactérias o surgimento de uma característica (capacidade de resistência) que elas não possuíam. Segundo os princípios neodarwinistas, algumas bactérias já possuíam a capacidade de resistir a esses agentes químicos, graças a certos genes existentes em seu patrimônio genético. Assim, tal como sucede na relação insetos x inseticidas, os antibióticos apenas promovem uma seleção de linhagens bacterianas resistentes: as formas sensíveis morrem em presença dos antibióticos, mas as formas resistentes sobrevivem e se reproduzem. Com isso dão origem a descendentes igualmente resistentes.

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

Vamos, agora, observar que as variações ocorridas num indivíduo não levam diretamente à evolução da sua espécie. É preciso, antes de tudo, que a mutação que acontece num indivíduo seja transmitida aos seus descendentes por muitas gerações, até tornar-se um caráter comum na população. Assim, a “inovação” passará a fazer parte do *gene pool* daquela população.

Logo, não são os indivíduos isoladamente que levam uma espécie a se transformar no tempo. São as populações que **incorporam novas características, modificam-se, isolam-se das demais populações e tendem cada vez mais a se diversificar, afastando-se do tipo primitivo**. Portanto, podemos identificar se uma espécie está em evolução ou não, fazendo um estudo do *gene pool* das suas populações.

Uma população que esteja se modificando nas frequências estatísticas dos seus genes certamente está evoluindo. Já uma população que não revela, ao cabo de muitas gerações, qualquer alteração nas frequências gênicas do seu fundo genético comum demonstra estar em equilíbrio genético e, portanto, não se encontra em evolução.

Os estudos de Hardy e Weinberg os levaram a concluir que, para uma população manter-se em equilíbrio genético (num estado de não-evolução), ela deve enquadrar-se nas condições a seguir, sem exceção de qualquer uma delas:

- Sua dimensão deve ser consideravelmente grande.
- Deve ser formada de indivíduos que se reproduzem panmíticamente.
- Não deve estar sujeita a qualquer fator de seleção natural que influencie algum caráter do seu *gene pool*.
- Não deve assistir à ocorrência de qualquer mutação nos seus integrantes.
- Não deve sofrer o **fluxo gênico**, isto é, não sofrer entrada considerável de imigrantes nem saída de numerosos componentes, a ponto de afetar as frequências dos genes que compõem o seu fundo genético comum.

Bem, vejamos, então, o porquê dessas “imposições”. Em primeiro lugar, a população deve ser grande porque, estatisticamente, nas grandes cifras, qualquer desvio pode ter um grande significado. Veja um exemplo: numa determinada população da Sicília, o gene *A* era encontrado na percentagem de 80% e o gene *a*, na percentagem de 20%. Um grupo de 40 casais emigrou para os Estados Unidos, onde fundou uma colônia e manteve estrita segregação. Ao fim de algumas gerações, verificou-se que nesta população nova em território americano a frequência do gene *A* era de 20% e a frequência do gene *a* era de 80%. Que explicação você daria para este fato?

A razão daquela ocorrência se baseia no seguinte: certamente o grupo de 40 casais (muito pequeno por sinal) que saiu da população inicial na Sicília não representava verdadeiramente os percentuais dos genes *A* e *a* no *gene pool* da população original. Naquelas 80 pessoas, talvez, por puro acaso, o gene *A* estivesse com frequência de 20% e o gene *a*, com frequência de 80%. Como esse grupo se segregou, manteve essa “nova frequência” nas gerações seguintes. Isso seguramente não teria acontecido se o grupo fundador da nova colônia na América fosse formado de muitos milhares de imigrantes sicilianos.

O desvio que ocorre numa população em virtude da sua pequena dimensão é chamado desvio genético, e é um fator que tem de ser levado em consideração quando se avalia o equilíbrio genético dessa população. Por isso é que dizemos que as populações grandes são mais estáveis, pois estão menos sujeitas aos desvios genéticos.

Na segunda “imposição”, dissemos que a população deve ser **panmítica**. Que significa isso? População panmítica é aquela em que os indivíduos se cruzam sem qualquer preferência sexual. Portanto, nela todos os tipos de cruzamento geneticamente imagináveis devem ocorrer com idêntica frequência. Você pode calcular que se a população não for panmítica, ocorrerão mais numerosos os cruzamentos de determinados tipos em detrimento de outros. Estes últimos tenderão a diminuir e desaparecer lentamente da população. Se tal fato acontecer essa população estará mudando.

A terceira condição exclui a influência da seleção natural sobre qualquer caráter do **gene pool** da população. De fato, se um determinado caráter tornasse os seus portadores mais fracos do que os outros, não portadores dele, já estaria, por si próprio, proporcionando uma circunstância para o seu desaparecimento na população. E, da mesma forma, a população estaria modificando-se.

A quarta condição impõe que não devem ocorrer mutações na população em estudo. É evidente que se surgirem novos genes por mutação no **gene pool** da população, estes competirão com os outros e acabarão ocupando um lugar na estatística geral dos genes. E, com isso, os genes antigos terão suas cifras reajustadas. Logo, a população estará em evolução.

A última condição impõe que não deve haver o fluxo gênico, isto é, contra-indica a imigração e a emigração, notadamente a primeira delas. Por quê? Porque a entrada de imigrantes com **gene pool** diferente do da população em causa poderá afetar seriamente o fundo genético desta última nas gerações seguintes. A saída de emigrantes também pode “**esvaziar**” a população, particularmente na frequência de algum gene.

O princípio de Hardy-Weinberg estabelece, portanto, que **“se não ocorrerem mutações nem o meio impuser novas condições de seleção natural, uma população numerosa e panmítica, que não sofra fluxo gênico, manter-se-á pereneamente em equilíbrio genético perfeito”**.

O caminho para o aperfeiçoamento de novas variedades de uma espécie, ou mesmo de espécies novas, depende primariamente da quebra do equilíbrio genético de alguma população.

O gene pool é o patrimônio genético de uma espécie ou de uma população. Também podemos considerar o gene pool de uma raça. Você pode distinguir nitidamente as características que revelam o gene pool da raça buldogue em relação ao gene pool da raça dálmata ou da raça fox-terrier, entre os cães. Na espécie humana, os genes para cabelos louros e olhos azuis não fazem parte do gene pool da raça negra. Nem da raça mongólia. Você pode citar alguns genes que integram o fundo genético comum da raça negra? Pode fazer o mesmo em relação ao gene pool da raça mongólia?

Muitas doenças, algumas até graves, como a tromboangeíte obliterante (doença de Leo Buerger), têm incidência consideravelmente maior (quase ex-

clusiva) entre judeus. Por quê? A segregação milenar que alguns povos e populações praticam facilita a “retenção” de certos genes entre eles e a preservação dos mesmos ao longo das gerações.

Hardy e Weinberg demonstram que é possível “avaliar” a frequência de um gene numa população (ou a frequência de determinado genótipo) pela aplicação do binômio de Newton:

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2,$$

onde p representa um gene A e q representa o seu alelo recessivo a . As expressões p^2 , q^2 e $2pq$ indicam, respectivamente, os homocigotos AA , aa e os heterocigotos Aa .

Para exercitar

- 27) (UNIFESP) De acordo com a teoria da evolução biológica, os seres vivos vêm se modificando gradualmente ao longo das gerações, desde o seu surgimento na Terra, em um processo de adaptação evolutiva. Segundo essa teoria:
- os indivíduos mais bem adaptados transmitem as características aos descendentes.
 - ocorre a seleção de características morfológicas adquiridas pelo uso freqüente.
 - a seleção natural apenas elimina aqueles indivíduos que sofreram mutação.
 - as mutações são dirigidas para genes específicos que proporcionam maior vantagem aos seus portadores.
 - as mutações dirigidas são seguidas da seleção aleatória das mais adaptativas.
- 28) (UFPEL) Antigamente creditava-se a uma divindade o surgimento dos seres vivos, o que ficou conhecido como Criacionismo, crença que persiste entre membros de muitas religiões. Posteriormente surgiu o Fixismo, defendendo o princípio da imutabilidade das espécies, ou seja, que os seres vivos não se modificavam ao longo do tempo. Já no século XVIII, o biólogo francês Buffon e sua equipe de colaboradores escreveram uma obra chamada “Histoire Naturelle” na qual reuniram todo o conhecimento biológico da época. Em 1809 o biólogo Jean-Baptista Antoine de Monet foi um dos primeiros defensores do Transformismo, segundo a qual os seres vivos modificavam-se através dos tempos, em contraposição ao Fixismo. Posteriormente, em 1859, Charles Robert Darwin expôs, em seu livro “Origem das Espécies”, suas idéias a respeito do mecanismo da transformação das espécies, base da moderna teoria da Teoria da Seleção Natural.
- Como base no texto e em seus conhecimentos, analise as afirmações.
- Os seres vivos produzem muitos descendentes, mas poucos chegam à fase adulta para reproduzir-se, por isso o número de indivíduos de cada espécie se mantém constante ao longo das gerações.
 - As serpentes evoluíram de ancestrais que possuíam pernas muito curtas; quando, em determinada época, aconteceram mudanças radicais no ambiente, esses animais tiveram necessidade de modificar-se para se adaptar às novas condições e desenvolver o hábito de rastejar.
- Somente os indivíduos mais aptos sobrevivem, porque são mais adaptados às condições ambientais de modo que cada geração aprimora o grau de adaptação conseguido por seus ancestrais.
 - Quando novas necessidades se apresentam a um indivíduo, sua organização estrutural se altera de modo a torná-lo mais adaptado ao novo modo de vida. Assim os órgãos corporais se desenvolvem pelo uso da musculatura, ou atrofiam se pouco utilizados.
- As afirmações anteriores podem ser creditadas, respectivamente, a
- Darwin - Lamarck - Buffon - Lamarck
 - Darwin - Lamarck - Darwin - Lamarck
 - Lamarck - Buffon - Darwin - Darwin
 - Lamarck - Darwin - Darwin - Lamarck
 - Lamarck - Darwin - Buffon - Darwin
- 29) (PUC) Darwin passou muito de seu tempo de coleta na América do Sul, onde as espécies observadas diferiam enormemente daquelas encontradas na Europa. Ele observou que as espécies das regiões temperadas da América do Sul eram mais similares àquelas das regiões tropicais da América do Sul do que àquelas das regiões européias. Correspondem às idéias da Teoria da Evolução de Darwin, exceto:
- As espécies não são imutáveis, elas sofrem modificações e adaptações ao longo do tempo.
 - O agente que produz a variabilidade é a seleção natural.
 - O registro fóssil, embora incompleto, revela padrões na evolução da vida.
 - A seleção natural favorece os indivíduos mais bem adaptados ao meio.
- 30) (UNIFESP) Segundo as idéias de Darwin, uma espécie selvagem transmite ao longo das gerações as características que lhe favorecem a sobrevivência em determinado ambiente. (“Veja”, 10/08/2005)
- Para que a afirmação seja verdadeira, é necessário que essas características sejam
- constantes na população, dominantes, e estejam correlacionadas à sobrevivência do indivíduo.
 - afetadas pela seleção natural, genéticas e de maior frequência na população.
 - dominantes, proporcionem sucesso reprodutivo e apresentem alta variabilidade.
 - transmissíveis à descendência, inalteráveis pelo ambiente e estáveis nas gerações.
 - variáveis na população, herdáveis, e estejam correlacionadas ao sucesso reprodutivo.
- 31) (FGV) É sabido que a leitura dos trabalhos de Thomas Malthus sobre o crescimento das populações humanas influenciou Charles Darwin quando este propôs os mecanismos da evolução biológica. Contudo, alguns his-

toridores admitem que também as teorias econômicas de Adam Smith poderiam ter influenciado Darwin em alguns aspectos da Teoria da Evolução. No livro “A Riqueza das Nações”, de 1776, Smith propõe que os indivíduos, seguindo seus interesses particulares, promoviam, no conjunto, a ordem e o progresso da nação. Por analogia, pode-se dizer que o proposto por Adam Smith se assemelha em mecanismo e resultados:

- a) à seleção natural.
- b) à convergência adaptativa.
- c) à irradiação adaptativa.
- d) à origem de novas espécies.
- e) ao equilíbrio de Hardy - Weinberg.

32) (UFC) A competição por um recurso de disponibilidade limitada é um dos pressupostos do conceito de seleção natural na teoria evolutiva de Darwin. Sobre esta declaração, é correto afirmar que é:

- a) verdadeira, pois o conceito de seleção natural do organismo melhor adaptado pressupõe que os predadores mais eficazes levem suas presas à extinção.
- b) falsa, pois apenas a competição interespecífica por um recurso de disponibilidade limitada contribui efetivamente para o conceito de seleção natural.
- c) verdadeira, pois apenas em decorrência da competição por um recurso de disponibilidade limitada é que há a seleção do organismo melhor adaptado.
- d) verdadeira, pois tanto a competição intra-específica quanto a interespecífica são comportamentos que apresentam um alto grau de expressividade gênica.
- e) falsa, pois apenas a competição intra-específica por um recurso de disponibilidade limitada contribui efetivamente para o conceito de seleção natural.

33) (ENEM) As cobras estão entre os animais peçonhentos que mais causam acidentes no Brasil, principalmente na área rural. As cascavéis (*Crotalus*), apesar de extremamente venenosas, são cobras que, em relação a outras espécies, causam poucos acidentes a humanos. Isso se deve ao ruído de seu “chocalho”, que faz com que suas vítimas percebam sua presença e as evitem. Esses animais só atacam os seres humanos para sua defesa e se alimentam de pequenos roedores e aves. Apesar disso, elas têm sido caçadas continuamente, por serem facilmente detectadas. Ultimamente os cientistas observaram que essas cobras têm ficado mais silenciosas, o que passa a ser um problema, pois, se as pessoas não as percebem, aumentam os riscos de acidentes.

A explicação darwinista para o fato de a cascavel estar ficando mais silenciosa é que:

- a) a necessidade de não ser descoberta e morta mudou seu comportamento.
- b) as alterações no seu código genético surgiram para aperfeiçoá-la.
- c) as mutações sucessivas foram acontecendo para que ela pudesse adaptar-se.

- d) as variedades mais silenciosas foram selecionadas positivamente.
- e) as variedades sofreram mutações para se adaptarem à presença de seres humanos.

34) (UFLA) Selecione a alternativa que apresenta a ordem correta dos termos que completam as afirmações abaixo.

1. Charles Darwin e Alfred Wallace propuseram a como um mecanismo essencial para o processo evolutivo.
2. é uma modificação evolutiva que pode aumentar as chances de sobrevivência e sucesso reprodutivo de um organismo.
3. são evidências que suportam a teoria evolutiva.
4. O processo de especiação pode ocorrer por dos indivíduos de uma população.

- a) adaptação; seleção natural; genes; clonagem.
- b) seleção natural; competição; fósseis; extinção.
- c) extinção; adaptação; genes; isolamento reprodutivo.
- d) seleção natural; adaptação; genes; extinção.
- e) seleção natural; adaptação; fósseis; isolamento reprodutivo.

35) (UNIFESP) Leia os trechos seguintes, extraídos de um texto sobre cor de pele na espécie humana.

A pele de povos que habitaram certas áreas durante milênios adaptou-se para permitir a produção de vitamina D.

À medida que os seres humanos começaram a se movimentar pelo Velho Mundo há cerca de 100 mil anos, sua pele foi se adaptando às condições ambientais das diferentes regiões. A cor da pele das populações nativas da África foi a que teve mais tempo para se adaptar porque os primeiros seres humanos surgiram ali.

(Scientific American Brasil, vol. 6, nov. 2002.)

Nesses dois trechos, encontram-se subjacentes idéias

- a) da Teoria Sintética da Evolução.
- b) darwinistas.
- c) neodarwinistas.
- d) lamarckistas.
- e) sobre especiação.

36) (UFC) Um problema para a teoria da evolução proposta por Charles Darwin no século XIX dizia respeito ao surgimento da variabilidade sobre a qual a seleção poderia atuar. Segundo a Teoria Sintética da Evolução, proposta no século XX, dois fatores que contribuem para o surgimento da variabilidade genética das populações naturais são:

- a) mutação e recombinação genética.
- b) deriva genética e mutação.
- c) seleção natural e especiação.
- d) migração e frequência gênica.
- e) adaptação e seleção natural.