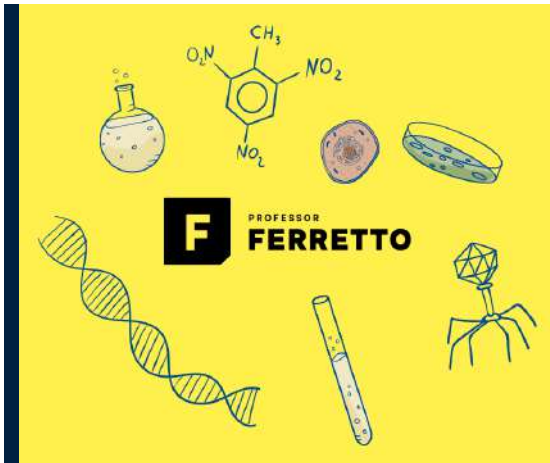


Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM



INTRODUÇÃO À EVOLUÇÃO: CONCEITO E EVIDÊNCIAS

CONCEITO DE EVOLUÇÃO

Existe uma ampla diversidade de espécies vivas no planeta, à qual se convencionou chamar de **biodiversidade**. Apesar de esse termo ter começado a ser usado somente recentemente, todas as culturas humanas, mesmo as mais antigas, reconhecem esse fato: fungos, plantas e animais apresentam inúmeras formas, precisamente adaptadas às condições em que vivem. Atualmente, a melhor explicação para a origem dessa biodiversidade é a evolução das espécies.

Evoluir vem do latim *volver*, e significa simplesmente 'mudar'. Na linguagem coloquial, o termo 'evolução' adquiriu um sentido de 'aperfeiçoamento', 'melhoria', 'aumento de complexidade'. **Entretanto, dentro da Biologia, o sentido para o termo evolução é o seu sentido original: 'mudança'. Seja ela benéfica ou prejudicial.**

O termo **filogenia** diz respeito ao desenvolvimento evolutivo de um determinado organismo.

Evolução não significa aperfeiçoamento, mas normalmente conduz a uma maior adaptação ao meio.

É claro, existem na natureza mecanismos que impedem que mudanças de efeito deletério se mantenham na população. É o caso da seleção natural. No entanto, uma mudança deletéria também é considerada evolutiva, mesmo porque uma mudança ser negativa ou positiva depende muitas vezes do ambiente. Uma mudança 'prejudicial', como a mudança na cor do pelo de um urso polar de branco para preto, que o faria perder sua camuflagem natural, seria 'benéfica' caso o ambiente em que ele vive se tornasse também preto. Assim, não se deve considerar evolução como sinônimo de 'aperfeiçoamento'.

Apesar disso, considerando os mecanismos naturais de evolução e a eliminação dos seres menos aptos pela seleção natural, **a evolução acaba por promover uma maior adaptação dos seres vivos ao meio em que vivem.**

ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Introdução à evolução: conceito e evidências](#)
- [Microevolução e macroevolução](#)
- [Fixismo: a imutabilidade dos seres vivos](#)
- [Evolucionismo: os seres podem mudar ao longo do tempo](#)
- [Fósseis](#)
- [Anatomia comparada](#)
- [Órgãos vestigiais](#)
- [Embriologia comparada](#)
- [Bioquímica comparada](#)

EVOLUÇÃO NÃO SIGNIFICA AUMENTO DE COMPLEXIDADE

Uma outra ideia errada a respeito da evolução é que ela trabalha de maneira a conduzir a um aumento de complexidade nas espécies. Evolução é um processo totalmente aleatório. Uma bactéria não evolui com o objetivo de se tornar um humano. Se isso ocorreu, foi casualmente. Por que, então, as primeiras formas de vida a surgir, as bactérias, evoluíram no sentido de originar toda uma biodiversidade envolvendo protistas, fungos, animais e vegetais mais complexos? Ora, se você analisar a situação com cuidado, verá que este é o único caminho que resta para a evolução. **Se as bactérias são as mais simples formas de vida, se elas mudarem, não há como ficarem mais simples ainda. Assim, se houver uma mudança, só resta a elas aumentarem de complexidade.** E por que então os organismos mais complexos não 'evoluem' de volta a bactérias? **Difícilmente um organismo que mudasse dessa maneira teria como competir com as já extremamente bem adaptadas bactérias, sendo eliminado por competição.**

Um exemplo de evolução produzindo criaturas mais simples está nas tênias. Seus ancestrais platelmintos possuíam tubo digestivo, que acaba sendo perdido nas tênias atuais, que por habitarem o tubo digestivo dos hospedeiros, não têm necessidade de digerir alimento, absorvendo-o diretamente pela superfície do corpo.

NENHUM ORGANISMO ATUAL É BIOLOGICAMENTE MAIS EVOLUÍDO QUE OUTRO ORGANISMO ATUAL

Uma pergunta clássica dentro de evolução é "quem é mais evoluído do que quem". Analisando biologicamente a pergunta, ela não faz muito sentido. **Se evolução significa 'mudança', não se pode comparar dois organismos do ponto de vista evolutivo, pois não é possível comparar "quem é mais 'mudado' do que quem".**

Um outro motivo pelo qual essa comparação não pode ser feita, é que nenhum organismo que existe nos dias de hoje é descendente de algum outro organismo que também existe nos dias atuais. O máximo que pode ocorrer, é que dois organismos apresentem uma origem evolutiva comum, mantendo então uma relação de parentesco. Dessa maneira, nós humanos não viemos das bactérias atuais, mas temos uma origem em comum com elas. Nesse caso em particular, os ancestrais comuns entre nós e as modernas bactérias também eram bactérias, porém bastante diferentes das que existem agora na natureza. Por isso, as bactérias atuais são tão "evoluídas" quanto nós humanos. (Talvez se possa afirmar que as bactérias ancestrais sejam menos "evoluídas" que as bactérias atuais, mas, biologicamente, não é muito adequado.)

Cada organismo que existe atualmente está no fim de sua respectiva linha evolutiva. Nenhum organismo então pode ser considerado mais evoluído do que outro.

Mesmo que se analise a situação utilizando-se o termo 'evolução' (inadequadamente) como "mais aperfeiçoado" ou "melhor adaptado", a comparação entre dois organismos também não se faz adequada. Cada espécie viva está adaptada a condições bastante particulares. Comparando uma bactéria com um homem, seus modos de vida são tão distintos que não se pode dizer que bactéria ou homem são mais bem adaptados. A bactéria está mais bem adaptada ao seu nicho ecológico, assim como o homem está mais bem adaptado ao seu próprio. **Nenhum organismo então pode ser considerado superior ou mais bem adaptado, estando apenas adaptado a situações diferentes.** Inclusive porque evolução não significa aperfeiçoamento nem adaptação. Estamos entendidos?

Tome nota:

MICROEVOLUÇÃO E MACROEVOLUÇÃO

Mudanças evolucionárias em pequena escala, ou seja, as pequenas modificações que ocorrem em uma espécie de uma geração para outra, são denominadas de microevolução. A microevolução não envolve a formação de uma nova espécie nem muda a espécie de seu grupo taxionômico. Uma mutação que atinja uma determinada população estará promovendo um evento de microevolução.

Já as modificações ocorridas em grande escala ao decorrer do processo evolucionário, envolvendo a formação de novas espécies de ou de outros novos grupos taxionômicos superiores, são denominadas de macroevolução. Mecanismos de especiação, portanto, são fenômenos relacionados à macroevolução.

FIXISMO: A IMUTABILIDADE DOS SERES VIVOS

As explicações iniciais sobre a diversidade da vida e sua surpreendente adaptação às condições naturais refletiam um caráter divino para a origem da vida. Segundo as ideias de **Criação Especial**, não apenas a criação divina teria originado toda a diversidade de seres vivos como os teria criado especificamente para viver dentro de uma determinada situação. Os órgãos e sistemas seriam produtos do planejamento de um projetista, uma entidade superior, idéia conhecida como **Design ou Projeto Inteligente**. Para os defensores das ideias bíblicas, dominantes na cultura ocidental até o século XIX, a diversidade da vida e os mínimos detalhes anatômicos e fisiológicos que possibilitavam que um determinado organismo fosse extremamente adaptado ao seu modo de vida, eram apenas uma confirmação da onipotência e da infalibilidade de Deus. As ideias contidas no gênese bíblico defendiam não apenas uma origem especial para a vida como também a impossibilidade das espécies se modificarem ao longo do tempo (afinal, Deus já as teria criado "perfeitas"; mudanças não seriam necessárias...). Essa noção de que as espécies são imutáveis é denominada **Fixismo**. Além obviamente dos pensadores ligados a grupos religiosos, estudiosos como Lineu, responsável pelos princípios da moderna classificação dos seres vivos, podem ser citados como fixistas.

EVOLUCIONISMO: OS SERES VIVOS PODEM MUDAR AO LONGO DO TEMPO

À medida que as ciências naturais foram acumulando dados sobre os seres vivos, estudiosos começaram a aventar a possibilidade dos organismos se alterarem ao longo do tempo. Segundo esse raciocínio, a adaptação dos seres vivos ao meio é resultado não de vontade divina, mas de mudanças lentas e graduais. Essas mudanças graduais resultaram na grande diversificação da vida que existe nos dias atuais, possivelmente a partir de um único organismo ancestral. A noção de que os seres vivos sofrem alterações ao longo do tempo é denominada **Transmutação das espécies ou Transformismo ou Evolucionismo**. As primeiras ideias evolucionistas surgiram no início do século XIX, e nomes como Lamarck, Darwin, Wallace e Huxley estão entre os defensores iniciais dessas ideias.

É importante que se faça aqui a diferença entre a evolução "fato" e a evolução "teoria". Já existe hoje uma quantidade suficiente de evidências que confirmam que os seres vivos evoluem. Criadores de cães desenvolvem em poucas gerações novas raças tão anatomicamente distintas que, na natureza, seriam consideradas espécies diferentes; um exemplo do que a natureza pode fazer. Também são claras mostras da evolução a origem de populações bacterianas resistentes a antibióticos e a mudança do padrão de coloração de mariposas na Inglaterra com a Revolução Industrial. Assim, não resta dúvida nos círculos científicos quanto à evolução das espécies. Deste modo, pode-se interpretar a evolução como um fato. Os mecanismos que levam os seres vivos a evoluir, entretanto, ainda são motivo de discussão. Mesmo as ideias mais aceitas atualmente para a evolução, conhecidas como Neodarwinismo ou Teoria Sintética da Evolução, apresentam lacunas em suas explicações e estão sujeitas a discussão. Desse modo, pode-se afirmar que **a evolução dos seres vivos é um fato, um fenômeno do qual não restam dúvidas; entretanto, a maneira pela qual os seres vivos evoluem é explicada por teorias cujos**

mecanismos em alguns casos realmente não estão totalmente esclarecidos.

Como se tornar um evolucionista

A origem das ideias evolucionistas pode ser creditada a estudos em uma outra área, a geologia. Para que se possa notar a evolução dos seres vivos, muito tempo se faz necessário, um tempo fora da capacidade de percepção humana. Esse tempo foi dado pelos geólogos.

Ideias bíblicas dão a noção de que a Terra é muito jovem. Religiosos estudavam a Bíblia para calcular a idade do planeta em cerca de apenas 6 mil anos, baseados nos vários eventos e gerações familiares descritos a partir de Adão e Eva. Esse período de tempo é muito pequeno para que a evolução ocorresse de modo perceptível. Assim, não se pensava na possibilidade de mudanças nos organismos ao longo de milhões de anos porque não se acreditava que o planeta tivesse essa idade.

No século XVIII, o escocês **James Hutton** muda a visão sobre a idade da Terra com uma ideia conhecida como **uniformismo**. Baseado em estudos sobre rochas, solos e erosão, Hutton chegou à conclusão de que o planeta é moldado não por fatos repentinos e violentos, como era ideia corrente na geologia da época, mas por processos vagarosos e graduais, como a ação do vento e das águas. Assim, a natureza sofre mudanças devido a forças imperceptíveis que agiram ao longo de milhões de anos. Essa ideia dava à Terra um tempo suficientemente extenso de existência para permitir a evolução das espécies. Outro mérito da ideia do uniformismo, é que ela defendia que a mudança contínua é o curso normal da natureza, e não um ambiente estático perturbado por ocasionais eventos como dilúvios e vulcões.

Ainda no século XVIII, o francês **Jacques Cuvier** inicia seus estudos com fósseis que dão origem à **Paleontologia** (ciência que estuda os fósseis). A interpretação dada pelos estudiosos da época para os fósseis incluía ideias como eles serem rochas que assumiram naturalmente a aparência de conchas ou ossos, ou ainda como eles serem resquícios de catástrofes de eras passadas, como o dilúvio bíblico. Muitas vezes, ossos fossilizados de animais extintos eram vistos simplesmente como resultado de anomalias em espécies atuais.

Cuvier, com seus trabalhos, foi o primeiro estudioso a reconhecer que alguns fósseis eram de organismos que não existem mais atualmente, e não apenas degenerações de organismos modernos. Ao analisar fósseis de mamute, Cuvier reconheceu que se tratava de uma espécie distinta dos elefantes atuais. Apesar desse reconhecimento, o cientista não reconhecia qualquer relação de parentesco entre as duas espécies, preferindo acreditar que o mamute pertencia a uma espécie extinta com o dilúvio. Surpreendentemente, o pesquisador que lançou as bases para a paleontologia, uma das principais ferramentas no estudo evolutivo, era um fixista fervoroso.

Um outro aspecto nos trabalhos de Cuvier era que ele se opunha a ideia uniformista de Hutton. Para Cuvier, a Terra passava por ciclos repetidos de destruição e reconstrução, de maneira rápida e violenta: catástrofes naturais como dilúvios e erupções vulcânicas seriam os principais responsáveis pela extinção de espécies e por moldar os ambientes naturais. Essa ideia ficou conhecida como **catastrofismo**.

Apesar de sua visão anti-evolucionista do mundo, os trabalhos de Cuvier com fósseis acabaram por despertar uma noção completamente diferente em alguns cientistas: seriam os organismos extintos de alguma maneira parentes dos modernos? Teriam os organismos extintos mudado para dar origem aos organismos atuais? Seria a evolução das espécies possível?

Pré-evolucionistas como, **Etienne Geoffroy Saint-Hillaire, Georges-Louis Leclerc de Buffon e Erasmo Darwin** (avô de Charles Darwin, que não chegou a viver para ver o neto famoso nem sequer nascer) foram alguns dos primeiros a acreditar que os seres vivos pudessem evoluir. Buffon, em particular, acreditava que os seres vivos fossem fruto de criação divina, mas não negava a possibilidade de modificações ocorrerem para gerar novas espécies. Erasmo Darwin reconhecia, por exemplo, que um urso polar era simplesmente um urso comum que se adaptou às condições árticas. O que esses estudiosos não entendiam, entretanto, era como a evolução se processava.

FÓSSEIS

Talvez a principal evidência da evolução dos seres vivos seja a existência dos **fósseis**.

Um fóssil (do latim *fossilis*, tirado da terra) é qualquer vestígio de um ser vivo que habitou o nosso planeta em tempos remotos, como partes do corpo, pegadas, impressões corporais, insetos presos em âmbar etc

A **Paleontologia**, ciência que estuda os fósseis, começou a se desenvolver por volta do século XVIII. A interpretação dada pelos estudiosos para os fósseis mudou bastante com o passar do tempo. Eles já foram vistos como rochas que assumiram naturalmente a aparência de conchas, ossos, etc. Ou então como resquícios de catástrofes de eras passadas, como o dilúvio bíblico. Muitas vezes, ossos fossilizados de animais extintos eram interpretados como resultado de anomalias em espécies atuais, ou ainda como pertencentes a criaturas míticas como dragões (pense numa viagem...

Essas explicações começaram a se tornar inadequadas à medida que novos conhecimentos sobre os fósseis foram sendo acumulados. Cuvier, por exemplo, foi o primeiro a identificar entre fósseis espécies extintas nos dias atuais, e não apenas ver ossos e conchas fossilizados como frutos de anomalias em organismos modernos.

Outro dado interessante é que a sequência de fósseis nas diversas camadas de rochas, das mais antigas às mais recentes, mostra uma composição bem diferenciada, havendo um aumento gradativo em diversidade (de fato, cada estrato de solo, os fósseis são tão característicos, que é hábito entre os geólogos reconhecer o estrato do solo baseado em seus fósseis). Em rochas muito antigas, não eram vistos fósseis de organismos atuais, o que sugeria que eles tivessem surgido mais tarde. Em segundo lugar, muitos fósseis encontrados pertenciam a espécies extintas, não mais encontradas hoje. Se o conceito de fixismo fosse válido, fósseis de camadas diferentes deveriam ser os mesmos, não importando a época em que haviam morrido; não haveria justificativa para essa mudança gradual nas espécies de épocas diferentes.

Elos evolutivos

Uma das mais importantes informações fornecidas a partir de fósseis se trata da existência de **elos evolutivos, organismos com características intermediárias entre dois grupos e que apontam o possível caminho que a evolução seguiu.**

Um desses elos evolutivos mais conhecidos é o *Archaeopteryx*, com características intermediárias entre répteis e aves (escamas, garras, dentes e cauda longa como répteis, mas também penas, bico e asas como as aves). Além de outros dados, fósseis de *Archaeopteryx* ajudaram a traçar o caminho evolutivo dos répteis às aves



Fóssil de *Archaeopteryx* do tipo molde.



Representação artística de *Archaeopteryx*.

Como originar um fóssil

Um fóssil se forma quando os restos mortais de um organismo ficam **a salvo tanto da ação dos agentes decompositores biológicos como das intempéries naturais (vento, sol direto, chuvas etc)**. As condições mais favoráveis à fossilização ocorrem quando o corpo do animal ou da planta é sepultado no fundo de um lago e rapidamente coberto por

sedimentos que impeçam o contato com o oxigênio (cuja presença permite a ação de microorganismos decompositores).

Baixas temperaturas, baixa umidade e alto teor de sal no solo contribuem para a morte dos decompositores, facilitando a fossilização.

Mecanismos de fossilização

Dependendo da acidez e dos minerais presentes no sedimento, podem ocorrer diferentes tipos de fossilização.

- A **permineralização** é o preenchimento dos poros microscópicos do corpo de um ser por minerais de calcário e sílica, fornecendo uma impressão em negativo das cavidades naturais desse organismo.

- A **substituição** implica na troca das partes moles do corpo do organismo por minerais que lhes mantêm a estrutura; novamente os minerais podem ser calcário ou sílica. É óbvio que tecidos duros, mineralizados, como dentes, ossos e conchas, por si só têm uma resistência maior ao tempo, sendo os tecidos normalmente encontrados em fósseis.

- A **moldagem** ocorre o organismo é submetido a um impacto e deixa sua impressão corporal gravada em rochas, em baixo relevo. O sertão cearense, particularmente a região do Cariri, é um dos mais importantes sítios paleontológicos do mundo, com abundância de moldes de peixes, mostrando que a região já esteve debaixo de água.

Cálculo da idade de um fóssil

A idade de um fóssil pode ser estimada através da medição de determinados elementos radioativos presentes nele ou na rocha em que se encontra, de acordo com os relógios radioativos descritos anteriormente. O relógio urânio-chumbo, por exemplo, pode ser utilizado para datar a rocha em que o fóssil se encontra e assim estimar sua idade.

Se o fóssil ainda apresenta substâncias orgânicas em sua constituição, sua idade pode ser calculada com razoável precisão pelo **método do carbono-14**.

O carbono-14 é um isótopo radioativo do carbono encontrado na natureza numa proporção constante em relação ao carbono-12 não radioativo. Assim, numa determinada amostra de carbono, a proporção de C-14 e C-12 sempre se mantém a mesma. Isso vale também para seres vivos. O carbono-14 é adquirido por organismos vivos por métodos como fotossíntese, quimiossíntese e nutrição, e perdido em quantidades equivalentes através de atividades como a respiração dos seres vivos. Dessa maneira, a quantidade de C-14 permanece constante ao longo da vida de um organismo. Essa quantidade de carbono-14 é proporcional à massa de carbono no organismo vivo, e isso vale para todas as espécies conhecidas.

Quando o organismo morre, as reações metabólicas cessam e carbono não é mais adquirido ou perdido, de modo que ele deveria permanecer constante. O que ocorre, no entanto, é que o carbono-14 começa a sofrer decaimento, passando a nitrogênio-14. A meia-vida do C-14 é de 5.730 anos, de modo que calculando a quantidade de carbono-14 que deveria haver na amostra de um fóssil, que é a mesma que deve haver numa amostra de mesma massa de um organismo atual, com a quantidade de carbono-14 que há no fóssil, a datação pode ser feita. Cada 50% a menos de C-14 em relação ao esperado equivale a um espaço de tempo de 5.730 anos, ou seja, uma meia-vida.

O método do carbono-14 tem inconvenientes, como a necessidade de haver matéria orgânica para que possa ser usado, e a incapacidade do teste de reconhecer idades superiores a 70 mil anos.

Tome nota:

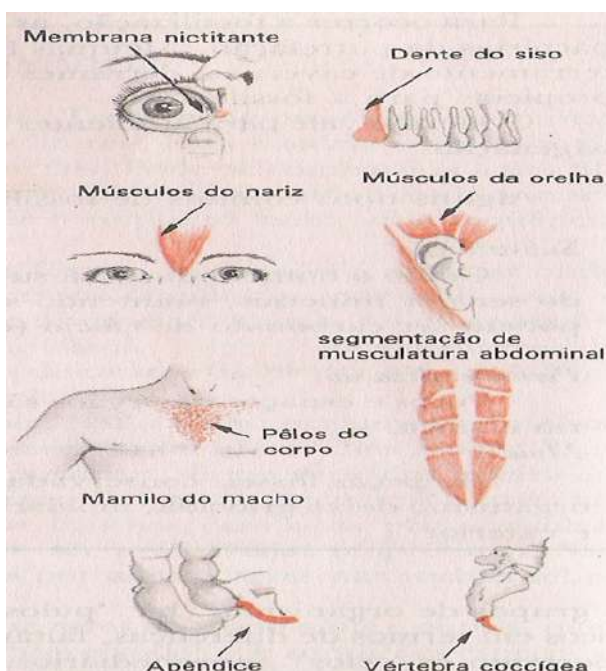
ÓRGÃOS VESTIGIAIS

Os órgãos vestigiais são órgãos que não possuem função em alguns organismos, mas possuem função em outros, sugerindo que, provavelmente, um dia ele teve função. Estes também são importantes indícios da evolução, pois mostram que os organismos "perderam" esta característica, mudando, pois. Órgãos como apêndice vermiforme, pelos no corpo, cóccix, musculatura abdominal, dentes do siso, membrana nictitante e outros são considerados órgãos vestigiais.

Algumas situações curiosas quanto a órgãos vestigiais podem ser analisadas na espécie humana.

O apêndice vermiforme no homem tem função linfóide, produzindo células de defesa, porém em quantidade tão diminuta que pode ser considerado um órgão sem função. Em mamíferos herbívoros não ruminantes, o apêndice vermiforme é bem desenvolvido e abriga bactérias que produzem enzimas que lhes permitem digerir a celulose. Curiosamente, em alguns símios, como os gorilas, essa função também existe, reforçando a ideia de uma ancestral comum para nós humanos e gorilas, que provavelmente possuía um apêndice bem desenvolvido.

De modo semelhante, gorilas e chimpanzés possuem um par a mais de costelas que humanos (14 costelas no total, contra somente 12 no homem). No entanto, cerca de 8% dos humanos possuem também 14 costelas, reforçando a noção do ancestral comum entre nós humanos e gorilas e chimpanzés, que provavelmente possuía as 14 costelas.

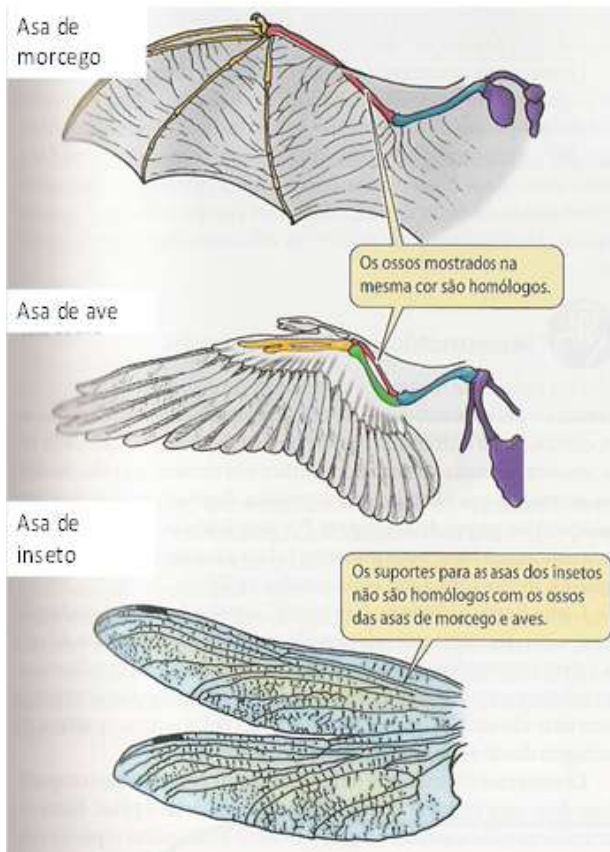


ANATOMIA COMPARADA

Foram em grande parte comparações anatômicas e fisiológicas entre diversas espécies animais que serviram no início para reforçar as ideias transformistas. No começo, as comparações tinham finalidade apenas taxonômica, isto é, de classificação. Lembre-se que os primeiros sistemas taxonômicos levaram em consideração somente as diferenças anatômicas entre os organismos. Essas comparações, porém, logo revelaram "certas semelhanças entre animais aparentemente muito diferentes; o estudo do esqueleto de dois mamíferos, o cavalo e o homem, revelou uma "construção" segundo um mesmo plano básico: em ambos existe um eixo ósseo – a coluna vertebral – que termina por um crânio. Nesse eixo prendem-se arcos ósseos, que sustentam os membros. Comparações mais minuciosas entre os membros anteriores de vários mamíferos (homem, cão, porco e cavalo) mostraram, apesar das diferenças óbvias relacionadas com sua função, uma correspondência muito grande.

Dizemos que os membros desses organismos são estruturas homólogas. A homologia sempre implica origem igual, podendo a função ser diferente. Ao contrário, para estruturas de mesma função, porém de origem diferente, falamos em estruturas análogas. As asas de um pássaro e de uma borboleta são análogas por terem o mesmo papel, porém são construídas segundo planos diferentes (falta de ossos na asa da borboleta, por exemplo). Ora, semelhança sugere parentesco. O fato de todos os mamíferos serem construídos segundo um mesmo plano básico indica que todos provêm de uma população ancestral comum. As pequenas variações na descendência dessa população poderiam ter se acentuado com o tempo, a ponto de aparecerem espécies diferentes. De fato, a comparação cuidadosa entre espécies diferentes muitas vezes mostra uma "gradação" nas diferenças. Às vezes, no entanto, entre dois grupos de organismos, há "pulos" bruscos em termos de diferenças, faltando, portanto, os "elos" intermediários.

Alguns órgãos vestigiais na espécie humana. A membrana nictitante é uma membrana retrátil localizada por baixo das pálpebras em algumas espécies, funcionando como uma proteção a mais para os olhos; no homem, há somente vestígios dela nos cantos dos olhos.

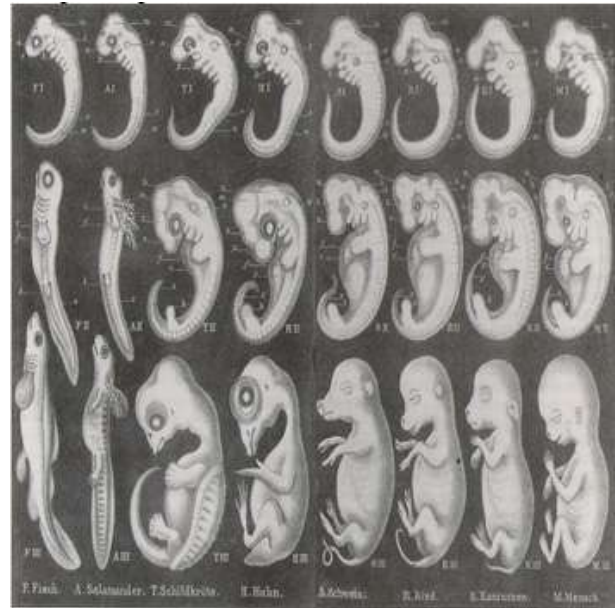


Os ossos das asas do morcego e das aves são homólogos, mas as asas em si são análogas.

EMBRIOLOGIA COMPARADA

A **embriologia comparada** também contribuiu para o reforço das ideias sobre a evolução. O estudo de embriões de diversas espécies mostra muitas estruturas comuns. Geralmente, quanto mais precoce a fase embrionária, mais parecidos são os embriões, mesmo de grupos diferentes. Muitas vezes, um embrião mostra, num determinado período de seu desenvolvimento, estruturas que não possui quando adulto. Os embriões de todos os Cordados, sejam eles aquáticos ou terrestres, exibem fendas ou sulcos na faringe. Estas, nos protocordados, peixes a anfíbios, originam brânquias funcionais, o que não ocorre nos Cordados terrestres. Essas e outras estruturas, como a notocorda, que não persiste na maioria dos Cordados adultos, são seguramente provas de seu parentesco evolutivo.

O rim do mamífero, antes de adquirir a forma definitiva, primeiro se assemelha a um rim de peixe e em seguida a um de anfíbio. O coração tem inicialmente duas câmaras, como no peixe; posteriormente três, como no anfíbio; e finalmente quatro. Embriões de cobra mostram apêndices que não persistem no adulto.



Embriologia comparada em vários animais, em desenhos de Ernst Haeckel.

O biólogo Ernst Haeckel, usando esses dados, formulou a "**Lei da Recapitulação**" ou "**Lei Biogenética**", que afirma "**a ontogenia recapitula a filogenia**", em outras palavras, que as fases do desenvolvimento embrionário (ontogenia) repetem, em sequência, as mudanças evolutivas (filogenia) pelas quais havia passado o organismo. Apesar de ter tido muito sucesso e popularizado as ideias sobre evolução, a lei da recapitulação é uma generalização indevida. Muitas estruturas que aparecem nos embriões, como os anexos embrionários dos Vertebrados, seguramente nunca pertenceram aos nossos ancestrais adultos.

BIOQUÍMICA COMPARADA

Modernamente, **comparações genéticas e biomoleculares** permitiram comparações mais precisas para fins de classificação evolutiva.

A maioria das mutações ocorre espontaneamente por erros no processo de replicação do material genético, por erros no pareamento de base por parte da principal enzima atuante nesse mecanismo, a **enzima DNA polimerase**. Apesar de extremamente precisa, a DNA polimerase apresenta uma certa taxa de erros, na casa de uma alteração de nucleotídeos a cada 10⁹ nucleotídeos replicados. Por ser muitíssimo importante, a DNA polimerase se apresenta

muito conservada evolutivamente, sendo bastante parecida em todas as espécies vivas, de modo que essa taxa de erros é a mesma em todos os seres vivos.

A taxa de mutações é constante para todas as espécies vivas.

Considerando que as proteínas são o resultado da expressão do material genético, a taxa de erros nos aminoácidos de uma proteína reflete a taxa de erros nos nucleotídeos do DNA. Calcula-se que, em média, ocorre uma alteração de aminoácidos numa proteína a cada cerca de 200 mil anos.

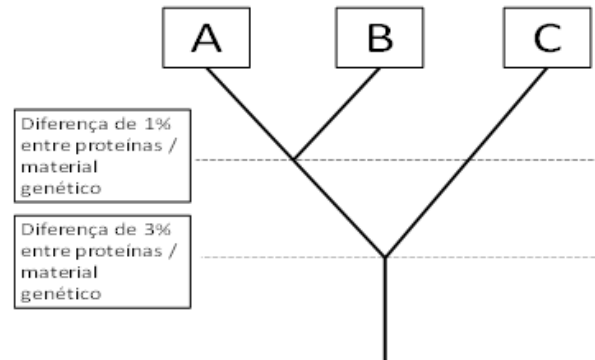
Como a taxa de mutações (porcentagem de mutações por ano) é constante em todas as espécies conhecidas, pode-se generalizar que, quanto mais tempo se passa na história evolutiva de uma população, mais mutações se acumulam nela.

Consequentemente, quanto mais tempo se passa desde a separação evolutiva de dois grupos aparentados, maior a diferença entre seus genomas. O contrário também é verdadeiro. Quanto maior a diferença entre os genomas de dois grupos aparentados, mais tempo se passou desde sua separação. Esse raciocínio é atualmente utilizado como um relógio evolutivo. Analisando as diferenças percentuais entre os DNAs de dois grupos, e sabendo-se a taxa anual de mutações (o que pode ser identificado através de uma série de observações), pode-se calcular a época aproximada em que os dois grupos em questão divergiram evolutivamente. Interessante é que esses cálculos da idade de um grupo feitos com o raciocínio do relógio evolutivo batem exatamente com o cálculo da idade estimado pelos relógios radioativos para os fósseis do ancestral comum dos dois grupos estudados.

Uma maneira de analisar a diferença de material genético de modo bem simples é a analisar as diferenças entre suas proteínas, uma vez que proteínas são a expressão do material genético (DNA). Proteínas semelhantes implicam em material genético semelhante, enquanto que proteínas diferentes implicam em material genético diferente.

Se entre três espécies, uma mesma proteína é bastante semelhante, a diferença entre os vários grupos permite que se reconheça o grau de parentesco entre as espécies. Por exemplo, dadas três espécies A, B e C. Uma certa proteína equivalente difere em 1% entre os grupos A e B e em 3% entre os grupos A e C. Como identificar os grupos mais

aparentados. Se a diferença entre as proteínas, e consequentemente entre o material genético, é de 3% entre A e C e de 1% entre A e B, temos que a separação evolutiva entre A e C é bem antiga do que entre A e B, o que mostra que estes dois últimos são parentes muito mais próximos.



Quanto mais inferior for o ponto de separação entre dois grupos, maior a diferença genética entre eles e há mais tempo eles se separaram evolutivamente; assim, menor o parentesco evolutivo entre eles.

Tome nota: