

Evolução

8 Macroevolução



A proposta curricular do estado de São Paulo aponta “Mudanças ao longo do tempo” como um dos Conceitos fundamentais em biologia. Na Página 44 da proposta pode se ler: “Os seres vivos atuais não são os mesmos que eram no passado, conforme comprovam os fósseis ou outros sinais da vida antiga. De certa forma, o confronto desses fósseis com os organismos vivos permite mapear (e individualizar) essas diferenças. Embora não se coloque em discussão as mudanças ocorridas, o que se discute é como elas foram produzidas e como podem estar associadas a novas mudanças.”

Na última aula vimos a continuidade da vida e como, a partir dessa continuidade, ocorre o processo de especiação. Nesta aula vamos dar um passo além e aprender um pouco sobre como a evolução produz a imensa diversidade viva que observamos, bem como sua complexidade.



Fig. 8.1

O que é macroevolução?

O termo macroevolução aplica-se à evolução dos grandes grupos de organismos. A macroevolução pode ser definida como a evolução que ocorre acima do nível de espécie. Como vimos no módulo anterior, sobre espécies e sua origem, os fenômenos que estão envolvidos na origem de novas espécies, a partir de espécies existentes anteriormente, são essencialmente fenômenos populacionais. As mutações ocorrem na formação de indivíduos, mas, para que essas mutações passem a fazer parte de todos os indivíduos, elas precisam substituir as características que existiam anteriormente. Os processos, tanto de seleção natural quanto de deriva genética (flutuações de frequências gênicas que ocorrem sem que haja seleção natural), são necessariamente processos graduais, que levam à diferenciação de populações até o ponto em que se tornam entidades independentes. As mudanças evolutivas que ocorrem dentro das espécies e das populações são o objeto de estudo da chamada microevolução. Nós temos evidências diretas dessas mudanças graduais quando comparamos, por exemplo, duas ou mais espécies atuais de um mesmo gênero. Com relação aos fenômenos que originaram os grandes grupos, como gêneros, famílias, ordem, classes etc., não temos evidências diretas, somente indiretas. Nesse caso, a grande questão que precisamos responder quando estudamos a macroevolução é a seguinte:

A grande questão da macroevolução

A especiação que origina duas ou mais espécies que serão as espécies ancestrais dos grandes grupos é diferente daquela que origina duas espécies "normais"?

Darwin, quando abordou esse tema, foi taxativo. Em seu livro "A origem das espécies", ele usou várias vezes uma expressão recorrente nas Ciências naturais que remonta aos filósofos gregos e que, em latim, é assim escrita: "*Natura non facit saltum*", que pode ser traduzida para o português como: "A natureza não dá saltos." Para Darwin e outros estudiosos da evolução, as mudanças graduais são o motor da evolução. Segundo esse ponto de vista, os padrões que podemos observar quando comparamos grandes grupos de organismos são o resultado do acúmulo das mudanças microevolutivas que ocorreram em grandes intervalos de tempo. Para ilustrar as mudanças que ocorreriam durante o tempo de maneira gradual, veja o esquema mostrado na figura 8.2.

Descontinuidades no registro fóssil

Segundo o modelo de evolução gradual, as descontinuidades verificadas no registro fóssil poderiam ser explicadas por descontinuidades nos próprios processos de fossilização. Por exemplo, se um rio está depositando sedimentos continuamente em uma região estuarina e ele muda de direção, cessa a deposição de sedimentos durante um longo período de tempo. Se o rio volta a depositar sedimentos após esse período de tempo, há novamente condições de fossilização. As mudanças que ocorreram nas espécies que vinham evoluindo deixam de ser registradas e, assim, há impressão de descontinuidade. Se houver erosão nas camadas de sedimento intermediárias, o registro também passa a ser interrompido. É mostrado na figura 8.3 o padrão resultante desses mecanismos que provocam descontinuidades no registro paleontológico.

O equilíbrio intermitente

Na década de 1970, alguns paleontólogos, especialmente os norte-americanos Stephen Jay Gould e Niles Eldredge, propuseram que as discontinuidades no registro fóssil não eram simplesmente o efeito de interrupções nas sedimentações ou efeito de erosões passadas, mas resultado de propriedades que se verificavam no nível macroevolutivo. Eles propuseram o modelo do equilíbrio intermitente (ou “equilíbrio pontuado”, uma tradução mais direta do termo em inglês “punctuated equilibria”). Segundo esse modelo, as espécies permaneceriam estáveis durante longos períodos de tempo e as mudanças aconteceriam em períodos curtos de tempo, o que causaria as discontinuidades observadas no registro fóssil. Segundo Gould e Eldredge, esse modelo estaria mais de acordo com os padrões observados no registro fóssil do que aquilo a que deram o nome de “gradualismo filético”. Na figura 8.4 são mostrados os padrões de acordo com esses modelos que seriam alternativos.

Depois de décadas de debates baseados em estudos mais aprofundados de séries de fósseis ao longo do tempo, ficou claro que “o” padrão macroevolutivo do registro fóssil não é único, sendo os do “equilíbrio intermitente” e do “gradualismo filético” considerados como os extremos de uma distribuição em que há padrões de vários tipos, desde organismos que se modificam gradualmente ao longo do tempo até aqueles que passam por mudanças bruscas. Há também que se considerar a questão da escala de tempo. Para os paleontólogos, aquilo que é considerado uma “mudança brusca” pode ter levado dezenas ou centenas de milhares de anos. Mesmo esses tempos por eles considerados curtos implicam uma quantidade muito grande de gerações e, portanto, são entendidos como um tempo longo por aqueles que estudam processos microevolutivos.

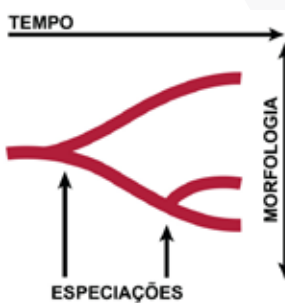


Fig. 8.2 Mudanças graduais

Fig. 8.3 Padrão resultante de mecanismos que provocam discontinuidades no registro paleontológico

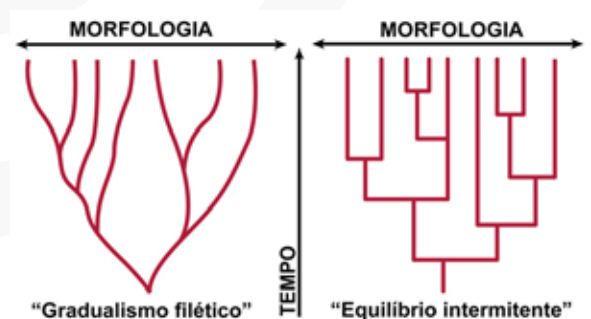


Fig. 8.4 Padrão evolutivo segundo o modelo do equilíbrio pontuado

Radiações adaptativas

Há muitos exemplos de grupos de organismos, que não são encontrados em vários estratos geológicos mais antigos, mas estão representados em abundância nos estratos mais recentes. Um exemplo notável desse padrão é aquilo que é conhecido como a “Explosão cambriana” dos grandes grupos (filos) animais. O período Cambriano originou-se há cerca de 540 milhões de anos e caracteriza-se por apresentar grande diversidade de animais multicelulares. Antes disso, há evidências de que já havia metazoários, como pode ser visto na fauna de Ediacara, nome dado a uma região da Austrália onde foram encontradas **rochas anteriores ao período Cambriano**.



Acesse o [link](#) para ver algumas amostras de rochas onde se podem ver fósseis de animais multicelulares.

O que pode estar envolvido em uma radiação adaptativa? Trata-se de uma oportunidade que aparece de tempos em tempos, em que uma espécie, por ter uma característica apropriada, passa a ocupar nichos ecológicos que não eram ocupados anteriormente. A partir disso, especiações subsequentes ocorrem de maneira rápida de tal forma que geram uma diversidade nova a partir dos descendentes dessa espécie que “conquistou” esse nicho até então inexplorado. Um nicho ecológico, no entanto, é uma propriedade do organismo. Assim, a rigor, não há sentido no conceito “nicho ecológico vazio”. Entretanto, se analisarmos retrospectivamente, podemos adotar esse conceito. Por exemplo, não podemos falar em um “nicho ecológico aéreo” se não existem organismos que voam. Mas, a partir da constatação de que, em uma determinada época, a habilidade de voar surgiu na evolução, deduzimos, retrospectivamente, que havia um nicho inexplorado relacionado com a capacidade de voo. Por outro lado, se há grandes extinções, os nichos ecológicos explorados pelos organismos extintos são nichos potenciais que podem ser explorados por outros organismos, que não os ocupavam devido à competição dos organismos que acabaram sendo extintos.

As novidades evolutivas e a cooptação

No tópico anterior, mencionamos a aquisição de uma novidade evolutiva. Relembrando que, na evolução, não há projetos a partir do zero, ou a partir da “prancheta de desenhos”, as características de um organismo devem estar também nos ancestrais. Assim, estruturas “novas” somente podem evoluir a partir de estruturas que existiam nos ancestrais. A esse mecanismo é dado o nome de cooptação, que é sinônimo de aliciamento. Como mencionamos a capacidade de voo no tópico anterior sobre radiações adaptativas, o surgimento de asas na evolução pode ser um exemplo apropriado. Evidentemente, asas minúsculas não conferem a capacidade de voo. Por esse motivo, estruturas com outras funções devem ter originado as asas. E foi exatamente isso que ocorreu. Entre os animais, as **asas** surgiram em quatro grupos independentemente: nos insetos, nos pterodáctilos (atualmente extintos), nas aves e nos morcegos. Nos insetos, onde essa habilidade evoluiu primeiro, as asas surgiram de expansões dos apêndices locomotores, cuja função anterior estava, segundo uma teoria, relacionada com a capacidade de planar ou, segundo uma teoria alternativa, com a capacidade de deslizar em superfícies aquáticas. No caso das aves, dos pterodáctilos e dos morcegos, as asas originaram-se a partir de modificações dos membros anteriores, antes utilizados para locomoção terrestre.



Assista as partes [1](#), [2](#), [3](#) e [4](#) de um filme sobre a evolução das asas (em inglês, 43 minutos).

Cooptação molecular

Há também inúmeros exemplos de cooptação no nível molecular. Um exemplo interessante é o da proteína que existe no cristalino dos olhos dos vertebrados. A proteína que existe nessas lentes originou-se a partir de outras proteínas em diferentes eventos de cooptação, sendo que, em vários casos, as proteínas do cristalino também têm função de enzima, embora não haja o substrato nas lentes! Essas enzimas passaram a exercer a função de preenchimento da lente simplesmente pelo fato de serem proteínas solúveis estáveis e serem transparentes à luz visível quando em solução aquosa.

Genes, moléculas, desenvolvimento e evolução

Existem genes que, quando mutados, causam profundas modificações na forma geral do corpo dos indivíduos que portam tais mutações. Logo que foram descobertas, tais mutações foram consideradas como macromutações e, portanto, chegaram a ser apontadas como candidatas a serem o motor principal da macroevolução. Segundo esse raciocínio, as micromutações, causadoras de modificações pequenas, poderiam ser sujeitas à ação de seleção natural. As macromutações, que provocam alterações profundas, geram seres vivos

muito diferentes de seus genitores. Por exemplo, a mutação conhecida como “*Antenapédia*”, produz, na mosca drosófila, patas nos lugares onde normalmente se desenvolve uma antena. No entanto, essas “macromutações”, por produzirem seres muito aberrantes, seriam muito difíceis de serem fixadas em uma população. Richard Golds-

chmidt, um geneticista que estudava esse tipo de mutação na década de 1940, chamou tais seres de “monstros promissores”, pois acreditava que esses mutantes poderiam originar os grandes grupos.

Atualmente, sabe-se que existem genes que estão envolvidos no desenvolvimento embrionário e que mutações nesses genes podem causar grandes modificações morfológicas. Um grupo desses genes que controlam o desenvolvimento é conhecido como o grupo dos genes homeóticos. Mutações nesses genes causam, nos organismos segmentados, uma mudança no padrão das estruturas que ocorrem em cada um dos segmentos. O gene cuja mutação causa o aparecimento de patas no lugar das antenas pertence a esse grupo de genes homeóticos. Tais genes codificam proteínas que se ligam ao DNA inibindo a sua transcrição. Isso quer dizer que cada um dos segmentos tem o potencial de gerar quaisquer estruturas que existam em qualquer dos segmentos. Esse potencial é realizado conforme os genes que estão ativos nas células que originarão as estruturas. Esse fenômeno é claramente relacionado com o nível de pluripotência das células-tronco envolvidas.



Veja uma [fotografia](#) de mosca drosófila com a mutação **antenapédia**.



Nas últimas semanas, vimos um pouco acerca do registro fóssil e sobre o parentesco entre os seres vivos. Para saber um pouco mais sobre como estimamos esse parentesco, [veja essa apresentação](#) que dará uma introdução a como os pesquisadores estabelecem tais relações (chamamos isso de filogenia). Essa apresentação traz apenas uma breve introdução e poderá auxiliar você a realizar a atividade desta semana. Você vai aprender mais sobre esse assunto nas disciplinas de botânica e zoologia.

Interações bióticas-bióticas: a coevolução

Os organismos interagem entre si o tempo todo, podendo haver vários tipos de interações, como herbívoro-planta, presa-predador, parasita-hospedeiro, mutualismo, entre outras, tal como é estudado dentro da área da Ecologia. Nesse caso, espera-se que a evolução de um organismo influencie na evolução de outro. Se as evoluções de dois ou mais organismos se influenciam reciprocamente, caracteriza-se o fenômeno da coevolução. A verificação de coevolução efetiva pode ser feita pela correspondência que existiu entre a história evolutiva de um grupo de organismos (parasitas, por exemplo) com outro grupo com o qual há interações ecológicas (hospedeiros, por exemplo). Na figura 8.5, estão representadas duas relações hipotéticas entre grupos de parasitas e hospedeiros, onde há clara evidência histórica de coevolução entre dois grupos e ausência de coevolução entre outros dois.

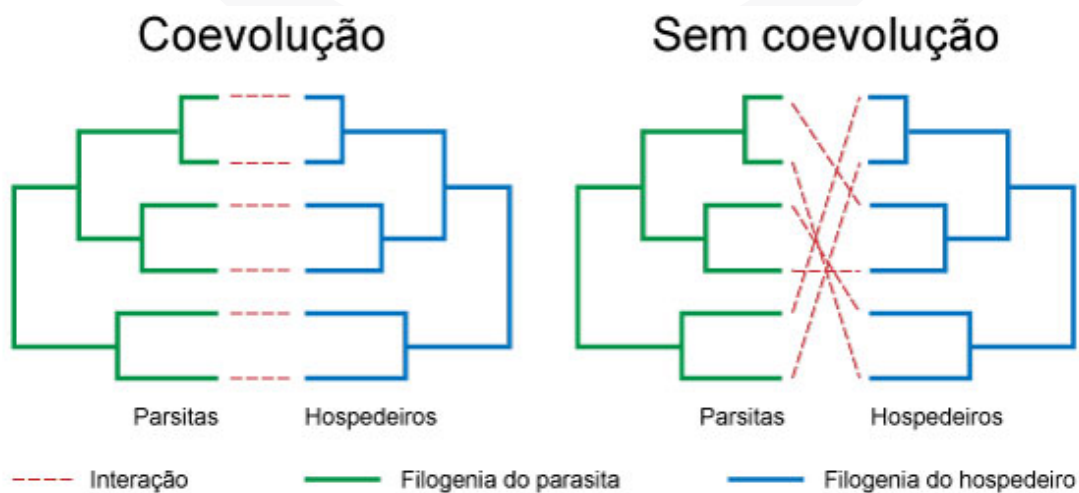


Fig. 8.5 Exemplos hipotéticos de coevolução

Interações biótico-abióticas

Evidentemente, existem interações entre fatores abióticos e a evolução dos seres vivos. Estes precisam adaptar-se às condições abióticas do ambiente, como a temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes minerais, acidez etc. Mas existem também as interações no sentido contrário, ou seja, a evolução dos organismos também influencia as condições abióticas do ambiente. A atmosfera atual, rica em oxigênio, resulta do acúmulo de produtos da fotossíntese durante bilhões de anos. Existem imensos depósitos minerais calcários, que resultam do acúmulo de conchas e outras estruturas secretadas por seres vivos. O petróleo e o carvão mineral resultam da fixação de carbono, a partir do gás carbônico atmosférico, também por seres vivos. A evolução dos seres vivos é influenciada pelos acontecimentos do planeta (glaciações, vulcanismo, impactos extraterrestres) e a evolução dos organismos influencia o planeta, até mesmo em escala global. No quadro ao lado, estão representadas as grandes interações que ocorreram entre eventos dos ambientes biótico, abiótico e extraterrestre.

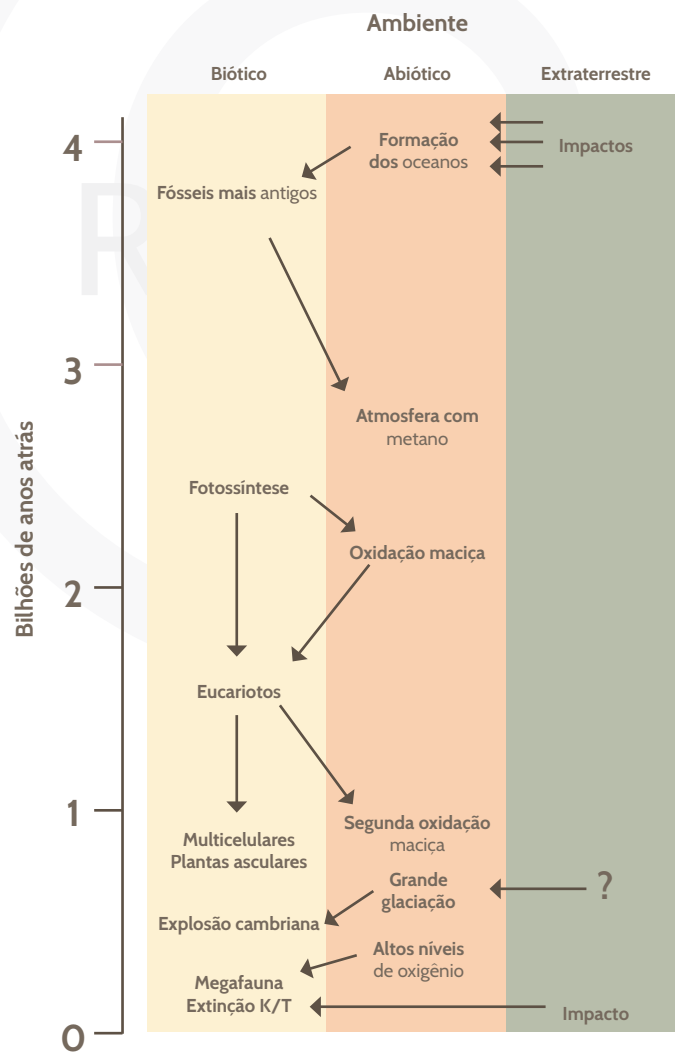


Fig. 8.6 Grandes interações que ocorreram entre eventos dos ambientes biótico, abiótico e extraterrestre

Texto Complementar: Todos os olhos

Parte I

Às vezes é complicado entender a possibilidade da evolução de estruturas complexas. Podemos medir a evolução alterando o tamanho do bico das aves ou selecionando bactérias resistentes a antibióticos, mas não podemos observá-la, em tempo real, criando órgãos ou vias celulares complexas. Às vezes é difícil imaginar como a seleção natural, agindo sobre a variabilidade gerada ao acaso, poderia construir a complexidade que observamos no mundo natural.

Um bom exemplo para esse enigma é a estrutura do olho humano. Trata-se de uma estrutura de câmara, finamente regulada para captar imagens, com um sistema para correção do foco e da entrada de luminosidade. O próprio Charles Darwin se admirava com a estrutura do olho e apresenta em sua obra “A Origem das Espécies” a seguinte citação (que, como veremos adiante, até hoje é extraída de seu contexto original):

“Supor que o olho com todos os seus dispositivos para ajustar o foco a distâncias diferentes, para admitir quantidades de luz diferentes, e para a correção de aberração esférica e cromática, podia ter sido formado pela seleção natural parece, confesso livremente, absurdo no mais alto grau.” (Darwin, 1872)

De fato, falar apenas do olho humano talvez não faça jus ao problema. Pesquisadores estimam que os olhos evoluíram, independentemente, ao menos **40 vezes ao longo da evolução!**

Antes de mostrar alguns desses 40 “tipos” de olhos, seria interessante tentar responder ao aparente ceticismo de Darwin em relação à evolução dos olhos de acordo com sua própria teoria.

A imagem ao lado mostra um esquema do olho humano com “todas as peças” necessárias para que uma imagem clara seja captada, transformada em sinais elétricos e enviada até o cérebro para ser “traduzida”.

O que acontece se perdermos uma das peças? O cristalino, por exemplo? O cristalino funciona como uma lente com capacidade de alterar o seu foco. Caso pudéssemos imaginar um olho sem cristalino, poderíamos ter certeza de que tal olho não formaria uma imagem clara. O mesmo serve para qualquer uma das partes do olho: imagine um olho sem a íris, os músculos que regulam a abertura da pupila e/ou a angulação do cristalino; ou mesmo o

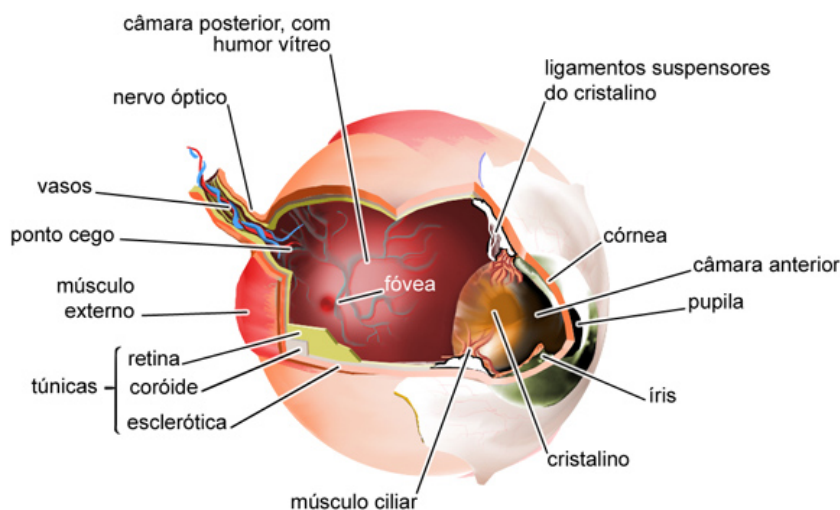


Fig. 8.7 Desenho esquemático do olho humano

humor vítreo (o líquido que preenche a câmara do olho). Tire do olho qualquer um desses elementos e teremos um olho em que não pode ser formada uma imagem nítida!

É simplesmente impossível que uma estrutura complexa como o olho tenha sido formada em um único passo por uma “mutação fortuita” e subsequentemente tenha sido selecionada. Qualquer estrutura complexa que observamos hoje deve ser resultado de inúmeros e sucessivos pequenos passos, todos eles úteis e favorecidos pela seleção natural, culminando na estrutura complexa que é hoje observada.

A pergunta que fica então é: Como pode o olho que conhecemos ter tido inúmeros e sucessivos passos, sendo cada um deles útil ao organismo? Para que serviria um olho simplificado, em que está ausente o cristalino (e que, portanto, não forma imagem)? Ou um olho no qual falta a musculatura que controla a íris e o cristalino? Para que serviria um olho incompleto?

De fato, à primeira vista pode ser difícil imaginar qualquer funcionalidade possível para um “olho incompleto” e, se não existirem estágios transicionais úteis para essa estrutura, então ela simplesmente não pode ter surgido através de seleção natural.

Entretanto, as nossas indagações com relação ao olho começam a ser respondidas ao nos voltarmos para os diversos tipos de olhos presentes na natureza. Na verdade, parece que muitos animais se dão muito bem com olhos simplificados em que falta uma, ou mais, das estruturas presentes nos olhos dos vertebrados. Vamos ver alguns exemplos!

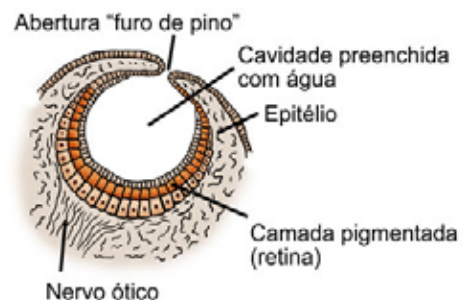
- 1) O olho de platelmintos: Não se pode sequer chamar tal estrutura de “olho”; trata-se apenas de uma camada de células fotorreceptoras: não existe uma câmara para direcionar a luz ou formar imagem, uma lente ou uma camada córnea para prover proteção. Esse “ocelo” é capaz apenas de captar a intensidade da luz.



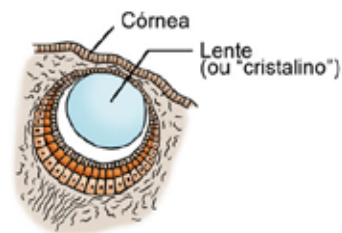
- 2) Olho formando uma concavidade: presente em alguns vermes, tal olho apresenta um diferencial, que é o fato de que suas células formam uma concavidade que direciona os fótons a serem recebidos.



- 3) Olho presente em alguns gastrópodes, no qual a concavidade forma uma taça que dá ao animal maior capacidade de distinguir o ângulo de incidência da luz.



- 4) Olho do Nautilus , com abertura em “pin hole” permite a formação de imagens nítidas.



- 5) Olho do polvo: além da abertura em um furo, possui uma camada córnea protetora e uma lente (cristalino), que direciona os fótons de luz e forma uma imagem mais nítida.



- 6) Olho de vertebrado: Finalmente chegamos, novamente, ao olho complexo dos vertebrados com todos os elementos previamente descritos:

Essa sequência mostra que um “olho incompleto” pode ser muito útil ao seu portador, e que alterações em sua estrutura, ainda que sejam pequenas (como um pequeno aumento na angulação da concavidade), podem ser mais úteis e favorecidas pela seleção!

É importante lembrar que estamos observando apenas olhos de animais que existem hoje! Não estamos traçando a evolução do olho, pois para isso precisaríamos analisar a estrutura dos olhos dos fósseis presentes em nossa linhagem ao longo da evolução. Estamos apenas constatando que, mesmo hoje, podemos observar olhos funcionais, com diversos graus de complexidade estrutural, em vários grupos vivos.

Não há melhor conclusão para a as nossas indagações do que continuar a transcrever aqui a continuação do texto de Darwin em “A Origem das Espécies” falando sobre o olho e fechando o seu raciocínio:

“...Quando foi dito pela primeira vez que o sol estava parado e o mundo girava à sua volta, o senso comum da humanidade declarou que essa doutrina era falsa; mas conforme todos os filósofos sabem, em ciência não se pode confiar no velho lema Vox populi, vox Dei. A razão diz-me que se for possível mostrar que existem numerosas gradações desde um olho simples e imperfeito até um olho complexo e perfeito, cada gradação sendo útil para o seu possuidor, como certamente é o caso; se, além disso, o olho alguma vez variar e as variações forem herdadas, como certamente também é o caso; e se tais variações forem úteis para qualquer animal sob condições de vida em mudança, então a dificuldade em acreditar que um olho perfeito e complexo podia ser formado por seleção natural, embora insuperável pela nossa imaginação, não devia ser considerada como subversiva da teoria.”

Parte II

Continuemos nossa conversa sobre a estrutura do olho. Como já foi dito anteriormente, os olhos evoluíram, independentemente, pelo menos 40 vezes ao longo da evolução. Sabemos disso, pois podemos traçar as origens embrionárias dos olhos dos diferentes filos de animais e analisar sua estrutura e, com isso, chegamos à conclusão de que muitos dos olhos presentes nos animais não têm a mesma origem embrionária.

Talvez a melhor forma de comparar as diferentes estruturas dos olhos seja analisar dois tipos de olhos bastante diferentes! Os olhos dos vertebrados e os olhos dos insetos.

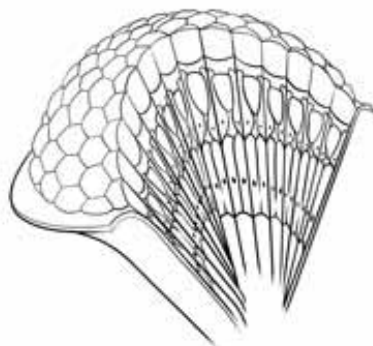


Fig. 8.8 Desenho esquemático do olho composto de inseto

Com todos esses esquemas e imagens, poderíamos dizer que os olhos em mamíferos e em insetos são estruturas **análogas**. Mas vamos nos aprofundar um pouco no desenvolvimento do olho!!

Como você deve saber, o desenvolvimento de qualquer organismo é mediado por seus genes. Nós, por exemplo, temos cerca de 300.000 genes, mas apenas uma porção deles está expresso em cada uma de nossas células (neurônios expressam genes distintos dos de células musculares cardíacas, por exemplo). Também em nosso desenvolvimento, os genes têm o importante papel de sinalizar para as células “como” se desenvolver. Alguns genes irão, ao longo do desenvolvimento embrionário dos animais, transcrever para proteínas sinalizadoras que vão ativar (ou inibir) outros genes. O resultado final é o gene, quando ativado, dizer à célula em que ele está: “você vai ser uma célula muscular”, ou “continue a se dividir, vamos construir um braço aqui”.



Acesse a apresentação de slides “[A evolução do olho](#)” no site da revista Scientific American Brasil.

O mesmo serve para os olhos! Pesquisadores, estudando a mosca da fruta *Drosophila melanogaster*, conseguiram identificar um gene, chamado “*ey*”, que expressa uma proteína que diz à célula em que está: “faça um olho!”. Normalmente, o gene *ey* é expresso apenas na cabeça da mosca em seu desenvolvimento (obviamente, porque é ali que se desenvolvem os olhos); entretanto, os pesquisadores foram capazes de realizar experimentos com o gene e fazer com que ele fosse expresso, ao longo do desenvolvimento embrionário da mosca, em diversas regiões como antenas e pernas. O resultado: olhos compostos cresceram nas antenas e pernas em que o gene “*ey*” era ativado! Impressionante, não?!

A história fica ainda mais impressionante! Em camundongos, o gene com a instrução “faça olhos!” se chama **Pax6** e ele funciona da mesma forma que o *ey*, com a diferença de que os olhos de camundongo são olhos em forma de câmara e não olhos compostos. No entanto, ao comparar a sequência de DNA de ambos, os genes “*ey*” de *Drosophila* e *Pax6* de camundongos, os cientistas descobriram que ambos os genes **compartilham quase a mesma sequência! Trata-se de genes homólogos!**

Encucados e insatisfeitos, os pesquisadores continuaram a realizar experimentos em *Drosophilas*. Eles trocaram o *ey* de um embrião de mosca-de-fruta por um gene *Pax6* de camundongo. Resultado: a mosca nasceu com olhos normais (olhos compostos de mosca).

O que isso significa?! Significa que o *Pax6* foi capaz de realizar a mesma função do gene 'ey' em *Drosophila* e desencadear toda a cadeia de desenvolvimento do olho. Simplificando, o *Pax6* de camundongo foi capaz de, mesmo inserido nas células de uma *Drosophila*, dar a ordem: "Faça um olho!". A maquinaria genética da *Drosophila* então respondeu "fazendo o olho que estava no programa": um olho composto!

Atividades

Questionário

Após ler o Texto Complementar, responda às questões.

1. Genes homólogos ao *Pax6* foram encontrados em diversos grupos de animais: moluscos, vermes marinhos e túbicados. Sempre com a mesma função de "desencadear" o desenvolvimento do olho. Evolutivamente, o que isso significa? O que podemos dizer acerca do ancestral comum de todos os animais modernos, que viveu há 520 milhões de anos no período Cambriano (talvez antes)?
2. Com as conclusões acima apresentadas, será que podemos dizer que os olhos de vertebrados e de insetos não evoluíram independentemente, mas que se trata de estruturas homólogas, uma vez que compartilham o gene *Pax6* em seu desenvolvimento?

Referências bibliográficas

- RIDLEY, M; *Evolução* 3ª ed. Editora Artmed. p.600-602. 2004.
DAWKINS, R. *Climbing Mount Improbable*. Penguin Publishers. p. 170-180. 1996.
HALDER, G.; CALLAERTS, P.; GEHRING, W.J. **Introduction of ectopic eyes by targeted expression of the eyeless genes in *Drosophila***. Science n.267. p.1788-1792. 1995.
DARWIN, C.R. *A Origem das Espécies* 6ª ed. 1872.

