

Texto Base: Aulas 5,6 e 7

História do Pensamento Evolutivo

Autores: Alessandra Bizerra, Hamilton Haddad e Suzana Ursi

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção. Ao ser produzido, o conhecimento novo supera outro que antes foi novo e se fez velho e se ‘dispõe’ a ser ultrapassado por outro amanhã” (Paulo Freire, “Pedagogia da Autonomia”, citado na Proposta Curricular do Estado de São Paulo para a Disciplina de Ciências – Ensino Fundamental, Ciclo II)

O uso da história e da filosofia no ensino de ciências

As ciências naturais – Biologia, Química e Física – são, muitas vezes, apresentadas como uma mera coleção de fatos e teorias acumulados ao longo do tempo. Essa visão da ciência, desvinculada de seu desenvolvimento histórico e filosófico, contribui para uma representação distorcida da sua real natureza. É comum entre os estudantes e entre o público leigo a ideia de que a ciência é capaz de “provar teorias”, chegando dessa forma a conhecimentos “verdadeiros e definitivos” sobre o mundo. Essa visão ingênua da ciência ignora a complexa trama por trás do desenrolar do processo de pesquisa; um processo que depende de fatores sociais, culturais, religiosos, econômicos e até políticos (nenhum cientista é uma ilha!). Um processo que se desenvolve lenta e historicamente. Um processo cuja compreensão nos ajuda a entender a ciência tal como é praticada atualmente, e a olhar para o futuro de forma crítica.

Estudar a história da ciência é conhecer suas reais virtudes e limitações. É reconhecer que ela é feita por homens e mulheres de carne e osso, que formam uma comunidade científica, e que são capazes de acertos e erros como qualquer grupo. É desmistificar a visão arrogante e dogmática de que a ciência é feita por gênios descobrindo verdades absolutas e imutáveis dentro dos laboratórios. É torná-la um empreendimento verdadeiramente interessante para os estudantes. Com isso em mente, nas últimas décadas pesquisadores têm enfatizado alguns pontos a favor do uso da história como uma importante ferramenta no ensino das ciências, entre eles:

- 1) A História promove melhor compreensão dos conceitos científicos e métodos.
- 2) Abordagens históricas conectam o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas.
- 3) A História da Ciência é intrinsecamente valiosa. Episódios importantes da História da Ciência e Cultura – a revolução científica, o darwinismo, a descoberta da penicilina etc. – deveriam ser

familiares a todo estudante.

4) A História é necessária para entender a natureza da ciência.

5) A História neutraliza o cientificismo e dogmatismo que são encontrados frequentemente nos manuais de ensino de ciências e nas aulas.

6) A História, pelo exame da vida e da época de pesquisadores individuais, humaniza a matéria científica, tornando-a menos abstrata e mais interessante aos alunos.

7) A História favorece conexões a serem feitas dentro de tópicos e disciplinas científicas, assim como com outras disciplinas acadêmicas; a história expõe a natureza integrativa e interdependente das aquisições humanas (Matthews, 1994, *apud* Prestes & Caldeira, 2009).

Com isso em mente, iremos traçar, durante as próximas aulas, um breve panorama do desenvolvimento do pensamento evolutivo, desde a antiguidade até os nossos dias. O objetivo desse relato é incluir a visão atual dos conceitos ligados à evolução biológica nos contextos históricos e filosóficos do passado, buscando o entendimento crítico dessas ideias.

O pensamento biológico na antiguidade

As duas figuras mais importantes da antiguidade para a filosofia e a ciência foram incontestavelmente os filósofos gregos Platão e Aristóteles. Mestre e discípulo, a dupla formulou uma poderosa visão de mundo que moldou e influenciou o pensamento ocidental até meados do século XIX; ou seja, que durou mais de dois mil anos! O poder das suas teorias pode ser visto em praticamente todas as ciências, como na lógica, na matemática, na física e na biologia. Nessa última, iremos ressaltar duas características marcantes do pensamento platônico-aristotélico: o **fixismo** e o **finalismo**.

Platão (427-347 a.C.) viveu em Atenas, principal centro político e cultural da época, e foi discípulo de Sócrates¹. Praticamente toda sua obra escrita é constituída por diálogos, nos quais Sócrates é, muitas vezes, a personagem principal. Uma das principais marcas da teoria platônica é a busca pela *episteme*, que poderíamos traduzir por “conhecimento verdadeiro”. Ora, pondera o filósofo, a verdade é uma só e é eterna, ela não pode mudar de tempos em tempos: o que é verdadeiro hoje tem que ser verdadeiro amanhã. Ela também não deve depender de pessoa para pessoa. Mas não é isso que nossos sentidos nos revelam quando olhamos para o mundo que nos cerca. Tudo muda o tempo todo! Cada um tem sua própria opinião sobre as coisas. Cada época vê e explica o mundo de uma maneira diferente. Portanto, conclui Platão, nossos sentidos não podem ser uma fonte confiável se quisermos alcançar o conhecimento realmente verdadeiro. Qual a saída

¹ Sócrates, que viveu em Atenas provavelmente entre os anos de 470 e 399 a.C., é considerado o fundador da filosofia ocidental.

então? Resta, segundo ele, desconfiar dos sentidos e nos atermos à razão; só ela é uma fonte segura para chegarmos à *episteme*.

Por meio desse raciocínio, Platão formula sua Teoria das Ideias, segundo a qual os objetos e coisas do mundo que conhecemos por meio dos sentidos não seriam exatamente reais. Elas seriam reflexos, cópias imperfeitas de formas ideais – ou essências (em grego, *eidos*) – que existiram em um plano não físico: o mundo das ideias. Esse mundo só seria acessível por meio da razão. Somos capazes, segundo essa teoria, de conhecer as coisas do mundo físico (ou sensível) apenas porque possuímos em nossa mente acesso ao mundo das ideias. Por exemplo: se eu quero conhecer um triângulo retângulo, o que importa é conhecer a forma ideal de triângulo retângulo, aquele cuja soma dos ângulos internos é 180 graus, com um de seus ângulos com 90 graus. Os triângulos físicos, por mais bem construídos ou desenhados que possam ser, são apenas cópias imperfeitas dessa forma idealizada. Da mesma forma, os diversos espécimes de cavalo que percebemos no mundo físico através dos nossos sentidos seriam cópias imperfeitas de uma forma ideal de cavalo existente no mundo das ideias.

As formas ideias seriam perfeitas, eternas, imutáveis e descontínuas (isto é, haveria uma forma de cavalo, outra de galinha, outra de águia, outra de sabiá, e assim por diante, sem formas transitórias entre elas). Enquanto tudo muda no mundo físico, nada muda no mundo das ideias. É fácil percebermos que, para Platão, o conhecimento verdadeiro, aquele que importa, é o conhecimento das formas ideais. Essa teoria, segundo a qual o que importa realmente é conhecer as essências das coisas, ou o tipo ideal de cada coisa, deu origem ao chamado pensamento **essencialista** ou **tipológico**. Podemos facilmente notar que o pensamento essencialista anda de mãos dadas com o pensamento **fixista**, posto que as essências, ou formas ideias, são eternas e imutáveis. Aplicado à biologia, isso significa que, a despeito da enorme variabilidade que enxergamos no mundo físico, os tipos ideias, ou seja, as espécies, seriam fixas e imutáveis.

Aristóteles (384-321 a.C.) nasceu na cidade de Estagira, situada na península da Calcídica, território macedônico. Aos dezoito anos, foi para Atenas estudar na Academia de Platão, tornando-se seu discípulo por vinte anos. Após a morte do mestre, deixa a Academia e realiza algumas viagens. De volta a Atenas, o estagirita funda sua própria escola, o Liceu.

Embora discordasse da Teoria das Ideias de Platão, Aristóteles, como veremos, ainda conservará um pensamento essencialista em sua visão de mundo. Uma característica central da filosofia natural aristotélica é o problema do movimento e da mudança. Por que as coisas mudam de lugar, de qualidade ou de quantidade? Por que as coisas aparecem e desaparecem, nascem, crescem e perecem? Aristóteles afirma que só podemos conhecer a natureza quando conhecermos as causas da permanência e da mudança: “conhecer é conhecer as causas”. Para ele, haveriam apenas quatro tipos de causas. A causa *material* seria responsável pela matéria da qual um ser é constituído, isto é, aquilo de que uma coisa é feita. A causa *formal* corresponderia à essência, ou forma ideal do ser – nesse ponto ele se aproxima de Platão. A causa *eficiente*, seria responsável pela presença de uma forma numa determinada matéria, ou seja, uma causa mecânica, origem

imediate de um movimento ou repouso. Finalmente, causa *final* representaria o motivo, a finalidade da existência de alguma coisa.

Essas quatro causas possuiriam uma hierarquia de importância, sendo o conhecimento das causas finais e formais superior e mais valioso do que o das causas materiais e eficientes. No caso dos animais, por exemplo, Aristóteles considera que a presença de uma determinada forma na matéria deve-se a uma causa mecânica imediata (eficiente), mas que obedece a uma finalidade última presente no seio da natureza. O pensamento **finalista**, ou **teleológico**, está, portanto, no centro de sua biologia. Em grego, o termo *télos* significa fim, finalidade, pleno desenvolvimento. A palavra *teleologia*, inicialmente o “estudo dos fins”, acabou por designar qualquer doutrina que identifica a presença de metas, fins ou objetivos últimos guiando a natureza e a humanidade, considerando a finalidade como princípio explicativo fundamental na organização e nas transformações de todos os seres. Ao estudar uma parte de um animal – um órgão, por exemplo – o cientista deve buscar explicar “em vista de que” aquele órgão existe, ou seja, qual sua finalidade, qual a sua *função*. Aristóteles usa como exemplo o fato de que quando analisamos o trabalho de um carpinteiro, não estamos interessados na força e no ângulo com o qual ele desfere seus golpes na madeira (causa eficiente), mas sim na razão, no objetivo final pelo qual ele está esculpindo.

Sem dúvida alguma, Aristóteles foi o maior biólogo da antiguidade. Observador diligente, foi pioneiro na realização de uma extensa e detalhada classificação dos seres vivos, formando a primeira ordenação taxonômica dos seres vivos em função da comparação de sua morfologia, comportamento e reprodução: a *scala naturae*. Essa escala baseava-se no pensamento essencialista de que cada ser possuiria um conjunto de **características essenciais**, derivadas de sua forma ideal (de seu *eidos*) e um conjunto de **características acidentais**, ou fortuitas. Possuir quatro patas e sangue, por exemplo, podem ser as características essenciais de um cavalo; isto é, elas definem o que é um cavalo. Já a cor seria uma característica acidental – ser branco, preto ou malhado, não faz parte do conjunto de traços que definem um cavalo.

Percebemos assim que o mundo ocidental herdou dos dois maiores mestres da antiguidade um pensamento essencialista, fixista e tipológico de um lado, e um pensamento finalista, ou teleológico, por outro. Como veremos, é impossível subestimar o impacto da visão de mundo platônico-aristotélica nas ciências praticadas nos séculos seguintes. O estabelecimento do pensamento evolutivo na comunidade científica, que depende invariavelmente de uma visão transformista do mundo natural, terá ainda que esperar ainda muitos séculos.

Fixismo e criacionismo

Um exemplo marcante do alcance da visão de mundo grega no pensamento científico posterior pode ser visto na obra do taxonomista mais influente da era moderna, o naturalista Carl Linneu (1707-1778). Fixista estrito, Lineu construiu um sistema de classificação baseado na morfologia dos seres vivos mais de dois mil anos depois do sistema aristotélico. Sua invenção da

nomenclatura binomial para a identificação do gênero e da espécie, baseava-se numa visão herdada da tradição. O gênero – peça fundamental do seu sistema – corresponderia às essências imutáveis, criadas desde o princípio como tais. Seriam entidades naturais (como as formas platônicas ideias), que caberia ao taxonomista descobrir. Podemos perceber a lógica essencialista nesse sistema. Podemos perceber também agora, o **dogma criacionista** de tradição cristã, uma vez que Lineu, como a maioria dos naturalistas da época, concebia as essências com tendo sido criadas por Deus.

Durante os séculos XVIII e XIX, o criacionismo cristão aparece de forma acentuada nos chamados “teólogos naturais”. Para esses pensadores, a formidável variedade e complexidade dos seres vivos eram manifestações da grandeza do Criador. As incríveis formas e adaptações perfeitas encontradas nos organismos vivos para desempenhar as mais variadas funções teriam sido obras planejadas na mente desse Criador. A teologia natural foi um movimento muito forte na Inglaterra nos séculos XVIII e XIX. Willam Paley (1743-1805), uma de suas figuras mais influentes publicou, em 1802, a obra *Teologia Natural: ou Evidências da Existência e Atributos da Divindade Coletadas a partir das Aparências da Natureza*, em que utiliza a famosa “analogia do relojoeiro”. Ela postula que a complexa e harmônica maquinaria de um relógio só existe porque um relojoeiro a planejou. Do mesmo modo, se há *design* na natureza, tem que existir o *designer*, o grande arquiteto. Podemos notar o intenso criacionismo e finalismo desse argumento. A teleologia, contudo, aqui não é mais intrínseca da natureza, como em Aristóteles, mas transcendente: os propósitos e os fins estão na mente de Deus.

O criacionismo é ainda hoje um movimento religioso e pseudocientífico muito presente em nossa sociedade, assumindo por vezes o nome de *design inteligente*. Entretanto, é preciso deixar claro que não existe atualmente nenhum respaldo da comunidade científica a essas ideias.

Entre o fixismo e o evolucionismo

Em meados do século XVIII, entretanto, um novo tipo de pensamento começou a surgir na Europa, opondo-se ao essencialismo e ao fixismo: o evolucionismo ou transformismo, que focava na compreensão da origem e das transformações de diversos componentes e fenômenos do mundo natural, como as estrelas, o sistema solar e o relevo. Várias teorias de evolução biológica também fizeram parte desse movimento intelectual. A ideia central do evolucionismo é a de que o estado natural de todas as coisas que existem no mundo é a mudança e não a permanência, como apregoava o fixismo. Ou ao contrário, a permanência, quando ocorre na natureza, é tida pelos evolucionistas como uma situação de exceção. É importante observar que, durante os séculos XVII e XIX, o pensamento essencialista e o pensamento evolucionista coexistiram na comunidade científica europeia. Muitas vezes na mesma pessoa!

Vale ressaltar também a importância das coleções dos museus de história natural para a elaboração do pensamento evolutivo. Os museus foram instituições essenciais para a organização e

conservação de objetos mineralógicos, mas também dos espécimes representantes da biodiversidade coletada no período das grandes navegações, bastante utilizados por cientistas de diferentes épocas.

Conde de Buffon

George Louis Leclerc, o conde de Buffon (1707-1788), nasceu no mesmo ano que Lineu, embora fosse diferente desse último em quase tudo, incluindo nas ideias científicas. O complexo pensamento de Buffon é difícil de interpretar, pois foi mudando ao longo de sua vida. Ele encara a fusão do essencialismo com o transformismo em um mesmo pensador.

Buffon propôs que cada espécie possuía um tipo de “molde interno” que determinava sua forma, e esse molde era preservado de uma geração para outra. No entanto, a teoria não explicava totalmente o funcionamento de tal molde. Para muitos historiadores, esse molde desempenha um papel parecido ao das essências (*eidós*, ou formas) aristotélicas. Todavia, continua ele, se uma espécie ocupasse diferentes partes do planeta, o ambiente distinto ocasionaria um desvio em relação à forma original, o que resultaria no surgimento de novas variedades. Ele propôs que existiria, por exemplo, um gato ancestral que, ao se dispersar pelo planeta, teria dado origem a diferentes felinos, como os leões, os tigres, os pumas, etc. Por essa razão, a Buffon são atribuídas as primeiras ideias evolucionistas. É importante notarmos o papel que o ambiente assume na transformação dos organismos, segundo essa teoria. Nesse ponto ela se aproxima muito das ideias darwinistas e atuais do processo evolutivo!

Para explicar a origem das espécies, no entanto, Buffon não endossa o conceito de “descendência comum”, ou seja, de que uma espécie surge da outra. Em vez disso, recorre à teoria da geração espontânea – muito aceita na época – para explicar como os protótipos, como o gato ancestral, teriam surgido. Apesar disso, suas ideias são muito importantes por conterem traços do que hoje é aceito como ancestralidade e parentesco entre seres vivos. A teoria poderia, de forma resumida, ser assim postulada: a geração espontânea origina um conjunto de seres vivos e a influência do ambiente faz com que esses seres vivos deem origem a novas formas, o que aumenta a diversidade de seres vivos no planeta.

As ideias de Lamarck

Em Buffon, percebemos um pensamento evolucionista ainda tímido, uma vez que as transformações somente se davam de maneira limitada, entre espécies aparentadas. A natureza é concebida, assim como em seus predecessores, ainda como relativamente estática. Coube ao seu antigo assistente substituir essa imagem da natureza pela de um mundo dinâmico, em constante fluxo e transformação. Seu nome é Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, o Cavaleiro de Lamarck.

Sua teoria é muitas vezes apresentada ainda hoje de forma simplificada e equivocada. Vamos, portanto, aprofundar um pouco o estudo desse importante biólogo para o entendimento da história do pensamento evolutivo.

Assim como Buffon, Lamarck incorporou a geração espontânea em alguns pontos de sua teoria. Para ele, o processo evolutivo ocorria em uma escala de complexidade, na qual os seres primitivos se transformavam gradualmente, ficando cada vez mais complexos. Ele acreditava que, a partir de cada ser simples, originado por geração espontânea, se estabelecia uma sequência lenta e linear de aumento de complexibilidade em direção à perfeição. Esse processo culminava no homem. Para Lamarck, portanto, a evolução resultava em progresso, ideia que atualmente não é mais aceita pela maioria da comunidade científica.

Na teoria de Lamarck, o ambiente tinha um papel secundário. Ele não explicava o aumento da complexidade na sequência linear proposta por Lamarck como ideia central de sua teoria. Para o naturalista, ao contrário do pensamento normalmente exposto nos livros didáticos, o ambiente ficava em segundo plano, já que o aumento de complexidade não era perfeito (o ambiente forçaria os seres vivos a modular seus hábitos). Isso resultaria em uma alteração no padrão de uso e desuso dos órgãos, de modo que passassem a ser mais desenvolvidos ou atrofiados. Sua teoria postulava também que as alterações decorrentes do uso e do desuso também seriam herdadas. Na época de Lamarck, a herança de características adquiridas era praticamente um consenso entre os naturalistas.

Pelas breves explicações até aqui apresentadas, vemos que a teoria de Lamarck vai muito além do uso-desuso e da herança das características adquiridas. Ele focou em outras ideias centrais que raramente são discutidas, como a questão da geração espontânea e do aumento linear de complexidade dos seres vivos. Lamarck passou à história como o principal defensor da ideia de herança de características adquiridas. Na realidade, a ideia não foi proposta por ele; essa era uma visão consensual em sua época. Por outro lado, algumas ideias centrais de sua teoria permanecem esquecidas.

A construção de uma nova teoria evolutiva

Cerca de 50 anos depois da publicação de *Filosofia Zoológica* (a obra mais importante de Lamarck), foram apresentados em Londres dois trabalhos que continham uma nova teoria evolutiva: um de autoria de Charles Darwin (1809-1882) e outro de autoria de Russell Wallace (1823-1913).

O trabalho de Darwin foi publicado em forma de livro (*A Origem das Espécies*) em 1859. Uma das grandes inovações introduzidas no livro é a ideia de que a evolução das espécies não ocorre de forma linear, mas sim por processos de divergência a partir de um ancestral comum. Duas espécies atuais semelhantes seriam descendentes de uma que teria existido no passado. Assim, o homem não descende do macaco, mas ambos, homem e macaco descendem de um ancestral comum. Outra ideia central do trabalho de Darwin (e que foi postulada de forma independente por Wallace) é

a seleção natural.

Em 1855, Russell Wallace publicou um importante artigo, intitulado *Sobre a Lei que Regulou a Introdução das Espécies*, enfocando aspectos biogeográficos, e concluiu que cada espécie surge coincidindo, tanto em espaço quanto em tempo, com outra espécie a ela associada de maneira muito próxima. Esse artigo foi um prenúncio do impactante texto publicado em 1858: *Sobre a Tendência das Variedades de se Separarem Indefinidamente do Tipo Original*.

Darwin e Wallace foram correspondentes e abordaram a questão que interessava a ambos: a origem das espécies. Dois dos princípios propostos por eles (evolução não linear e noção de seleção natural) são a base da teoria evolutiva aceita atualmente pela maioria da comunidade científica. Mas antes de entrarmos nas ideias atuais, vejamos como a concepção de “evolução” permeia o nosso dia a dia e influencia as aulas de ciências.

Evolução biológica

A palavra evolução está presente em nosso dia a dia, e é usada de diferentes maneiras, em situações diversas. Geralmente, empregamos o termo com o sentido de uma mudança gradual que caminha em determinada direção, envolvendo a ideia de progresso e melhoria. Às vezes, nos referimos a um processo; outras, ao produto desse processo. É comum, por exemplo, dizermos:

“Nosso time está evoluindo no campeonato.”

“A gente não pode deixar de considerar a evolução dele ao longo do ano.”

“O *iphone 6* é a evolução do *iphone 5*.”

Entretanto, nem sempre empregamos a palavra evolução como uma mudança voltada para algo melhor. Quando dizemos, por exemplo, “coitado, a doença evoluiu rapidamente”, estamos nos referindo a um aumento de complexidade da enfermidade, que deixou o doente em uma situação pior. Às vezes, ainda, é usada sem um direcionamento positivo ou negativo: “O universo não é estático, está sempre em evolução”.

Mas o que é comum a essas falas? Por trás de todas elas, está a ideia de evolução como modificações ao longo do tempo. Quando falamos, porém, em evolução, não falamos simplesmente em mudanças, mas sim em mudanças que ocorrem de tal forma que cada nova parte do processo está ligada à anterior. Assim, nas nossas ações cotidianas, assumimos que as entidades evoluem, sejam elas biológicas (como nós) ou culturais (como os carros ou a linguagem), em um processo de modificações sucessivas.

E o conceito científico de evolução biológica como fica nessa história?

Em um documento publicado por várias entidades estadunidenses (“[Evolução, Ciência e Sociedade](#)”), encontramos uma definição construída a partir de uma consulta aberta à comunidade científica geral (via internet). Nesse documento, temos a seguinte definição de evolução biológica:

“A evolução biológica consiste na mudança das características hereditárias de grupos de organismos ao longo das gerações. Grupos de organismos, denominados populações e espécies, são formados pela divisão de populações ou espécies ancestrais; posteriormente, os grupos descendentes passam a modificar-se de forma independente. Portanto, numa perspectiva de longo prazo, a Evolução é a descendência, com modificações, de diferentes linhagens a partir de ancestrais comuns.”

Nessa concepção, a Evolução (usaremos a palavra com a inicial em maiúscula quando nos referirmos à evolução biológica) mantém a ideia de descendência com modificação proposta por Darwin, mas sem as noções antropocêntricas de progresso e melhoria tão comuns aos usos cotidianos da palavra e com uma proposta diferenciada: as linhagens possuem ancestrais comuns.

Como veremos também, outra novidade introduzida pelo darwinismo foi a substituição do pensamento tipológico-essencialista platônico por um enfoque populacional variacional na biologia.

Identificando o processo evolutivo

Já vimos que o conceito de Evolução, em sua construção histórica, refere-se a modificações em grupos de organismos, passadas de geração a geração, ao longo do tempo. Compare estes dois exemplos de mudanças em populações de besouros. Qual deles é um exemplo de Evolução?

Exemplo 1 (besouros em dieta):

Imagine um ou dois anos de seca em um local onde existem poucas plantas que uma determinada população de besouros possa comer. Todos esses insetos têm as mesmas chances de sobrevivência e reprodução, mas, por causa das restrições alimentares, os besouros dessa população são um pouco menores do que os das gerações anteriores, que não estavam sujeitas à seca.

Exemplo 2 (besouros com uma cor diferente):

A maioria dos besouros na população (digamos 90%) tem os genes para a coloração verde brilhante e alguns deles (10%) têm um gene que os torna mais amarronzados. Após algumas gerações, as coisas mudaram: besouros marrons são mais comuns do que costumavam ser e, agora, compõem 70% da população.

Qual exemplo ilustra descendência com modificação (mudança na frequência gênica ao longo do tempo)? A diferença de tamanho dos besouros no exemplo 1 surgiu por causa das influências ambientais (a baixa oferta de alimentos), e não por causa de uma mudança na frequência de genes. Portanto, não é um exemplo de Evolução. Como o menor tamanho corporal nessa população não foi

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

Os mecanismos evolutivos

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

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

Outro mecanismo que pode causar mudanças na composição genética de uma população é o **fluxo gênico**. Poucas populações estão totalmente isoladas de outras da sua espécie. Os organismos podem migrar de uma população para outra, levando seus genes para o novo local. Se eles conseguem se reproduzir ali, podem adicionar seus **alelos** à estrutura genética da nova população (obs.: alelos são as formas variantes de um gene que surgiram por mutação).

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

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

- 1) deve haver variação entre os organismos (se todos os organismos de uma população são iguais, como poderá ocorrer seleção?);
- 2) é necessária uma reprodução diferenciada entre os que possuem a variação e os que não a possuem (os organismos mais aptos para uma determinada condição ambiental terão maior sobrevivência e maior chance de deixar descendentes);
- 3) a característica tem de ser herdável (deve ter uma base genética, podendo ser transmitida à geração seguinte). Portanto, se houver variação, reprodução diferencial e herança, haverá evolução por seleção natural como resultado.

Mecanismos evolutivos – seleção natural

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

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

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

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

Assim, dizer que as bactérias adquiriram resistência aos antibióticos nos leva a entender que esses medicamentos causaram alguma alteração nas bactérias, deixando-as mais resistentes. Se pensarmos segundo os mecanismos que já vimos (como mutação e seleção natural), algumas

poucas bactérias já continham um tipo de mutação que as tornava mais resistentes. Essas bactérias mutantes sobreviveram em organismos tratados com antibióticos. A resistência (já presente antes do contato com os fármacos) é passada às suas células-filhas, aumentando cada vez mais a frequência dessa característica na população.

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

Vale lembrar ainda que a Evolução não é linear. É comum ouvirmos que “os peixes viraram sapos” ou que “o homem veio do macaco”. Essas colocações são bastante equivocadas, pois dão a impressão de que os peixes se transformaram em anfíbios (bem como os macacos em humanos) e deixaram de existir há tempos! Essa visão linear da Evolução fortalece a ideia errônea de progresso no processo evolutivo.

Outro ponto relevante é o fato de que, embora não seja um processo ao acaso, já que há pressões seletivas específicas para cada caso, a Evolução não tem uma finalidade, não há um projeto que visa à “melhor adaptação”. Entretanto, é comum encontrarmos, em livros didáticos ou revistas de divulgação científica, expressões como “o coração foi feito para bombear o sangue” ou “os animais precisavam ocupar o ambiente terrestre, então desenvolveram quatro patas e um ovo com casca”. Com essa forma de falar, muitas vezes induzimos os estudantes à ideia de que as adaptações que vemos hoje surgiram para satisfazer as necessidades dos organismos em algum momento de suas vidas. Vimos que, ao longo da história, essa maneira finalista ou teleológica de pensar foi amplamente aceita. Lembre-se que, para Aristóteles, a causa final era a causa mais importante. Um dos grandes trunfos da teoria darwinista foi conseguir explicar em termos puramente mecânicos como os organismos e suas partes se modificam (releia os três itens no final da seção anterior). Ela representou, portanto, uma pá de cal no pensamento finalista na biologia, embora ainda hoje muitas pessoas ainda pensem assim.

Uma dificuldade no Ensino da Evolução é justamente essa: nossas concepções cotidianas influenciam nossas falas de tal forma que, muitas vezes, não nos damos conta de que podemos levar a um pensamento que não é coerente com o aceito cientificamente.

Como a evolução pode resultar em características novas e complexas?

Outra dificuldade encontrada no Ensino da Evolução refere-se à escala do processo evolutivo. Nos exemplos que vimos até agora (e os que comumente aparecem em livros didáticos e em outros

materiais de apoio), aceitamos que os mecanismos evolutivos (mutação, fluxo gênico, deriva genética e seleção natural) explicam pequenas alterações em populações, mas eles são também capazes de explicar as grandes mudanças evolutivas?

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

Considerações finais

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

Bibliografia

- Mayr, E. O desenvolvimento do pensamento biológico. Editora da UnB, 1998.
- Meyer, D. & El-Hani, C.N. Evolução: o sentido da Biologia. Editora da Unesp, 2005.
- Prestes, M.E.B. & Caldeira, A.M.A. Introdução: A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia*, v. 4, p. 1-16, 2009.