



Seleção natural

Sergio Russo Matioli

Departamento de Genética e Biologia Evolutiva,
Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, SP

Autor para correspondência - srmatiol@ib.usp.br

Palavras-chave: Darwin, seleção natural,
evolução, adaptações



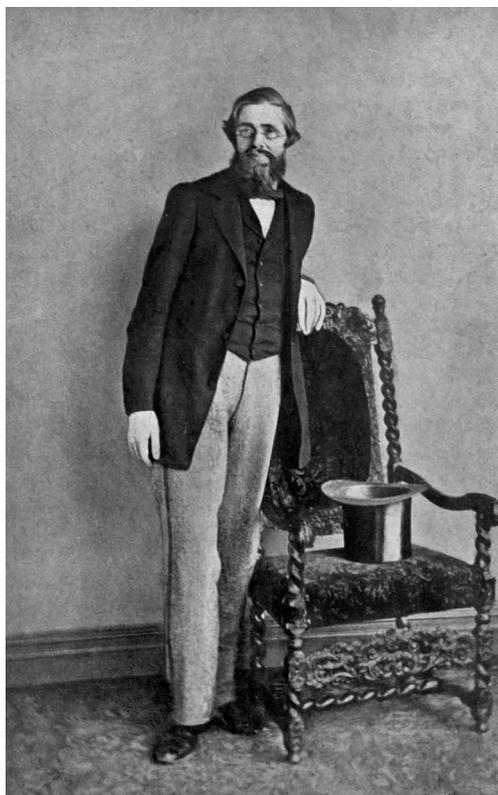
“ I have called this principle, by which each slight variation, if useful, is preserved, by the term of Natural Selection. ”

Charles R. Darwin (1859)

A evolução biológica por seleção natural tem sido considerada como uma das ideias científicas mais influentes da história da Ciência, por prover um mecanismo completamente natural para a evolução da biodiversidade, proposta que já tinha sido aventada anteriormente. O conceito de seleção natural talvez tenha demorado tanto a ser concebido, por ter uma natureza populacional, que parece romper com o pensamento tipológico, segundo o qual as variações seriam relegadas a um segundo plano, passando a fazer parte central das populações naturais e ser a própria matéria prima da evolução dos organismos. A partir das ideias originais de Darwin e Wallace, o mecanismo da seleção natural foi sendo elaborado com modelagens matemáticas e generalizado para situações que pareciam desafiá-lo.

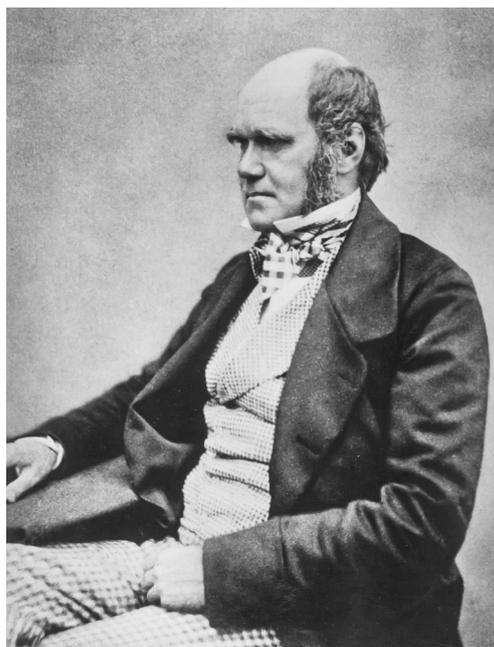
O conceito

O ano de 1858 é considerado um marco na história da Biologia, da Ciência e talvez da história da própria humanidade. No dia primeiro dia de julho desse ano, em uma reunião da Sociedade Lineana de Londres, que congregava naturalistas ingleses, foi lida uma carta, escrita por Charles Lyell e Joseph Dalton Hooker, que apresentava uma coletânea de artigos e excertos de correspondências escritos por Charles Robert Darwin e Alfred Russell Wallace, a respeito de como a variação observada em espécies vivendo em condições naturais poderia servir de substrato para a origem de outras espécies. A evolução dos seres vivos já era um assunto bastante discutido nessa época, mas a grande contribuição desses naturalistas foi a proposta de que um mecanismo completamente natural poderia ser o responsável pelo aparecimento das adaptações, características que são consideradas como aquilo que faz com que os organismos sobrevivam e se reproduzam nos ambiente nos quais vivem. O mecanismo ficou conhecido pelo nome “seleção natural”.



A. R. WALLACE SOON AFTER HIS RETURN FROM THE EAST

Alfred Russell Wallace



Charles Robert Darwin

Todo livro de Biologia traz essa informação, mas o que está abordado aqui, é como esse conceito foi concebido e algumas extensões do mesmo.

A ideia de evolução dos seres antecede em muito a ideia de seleção natural. A existência de fósseis de organismos extintos e a própria organização hierárquica dos seres vivos já tinha feito com que vários naturalistas tivessem especulado sobre uma possível origem de espécies biológicas a partir de outras já existentes anteriormente.

A ideia de seleção natural como um mecanismo da produção de adaptações é baseada em certas observações e deduções que Darwin e Wallace fizeram. Embora essa estrutura de argumentação estivesse implícita na obra de Darwin, foi o zoólogo Ernst Mayr quem a difundiu em suas obras, como aquela publicada em 1963:

Observação 1. Os seres vivos têm um potencial de gerar descendentes muito grande.

Observação 2. Os recursos naturais são limitados.

Dedução 1. Existe, portanto, uma **luta pela sobrevivência**.

Luta pela sobrevivência - A dedução 1, de que haveria luta pela sobrevivência já havia sido feita por al-Jāhīz (Abū 'Uthman 'Amr ibn Baḥr al-Kinānī al-Baṣrī, 782-869), naturalista iraquiano em seu “Livro dos animais” por volta de 850. Não há notícias do conhecimento dessa obra por Darwin ou por Wallace.

Platão - filósofo grego bastante influente na Filosofia ocidental. Foi discípulo de Sócrates e professor de Aristóteles.

Observação 3. Os indivíduos de uma população apresentam variações naturais em suas características.

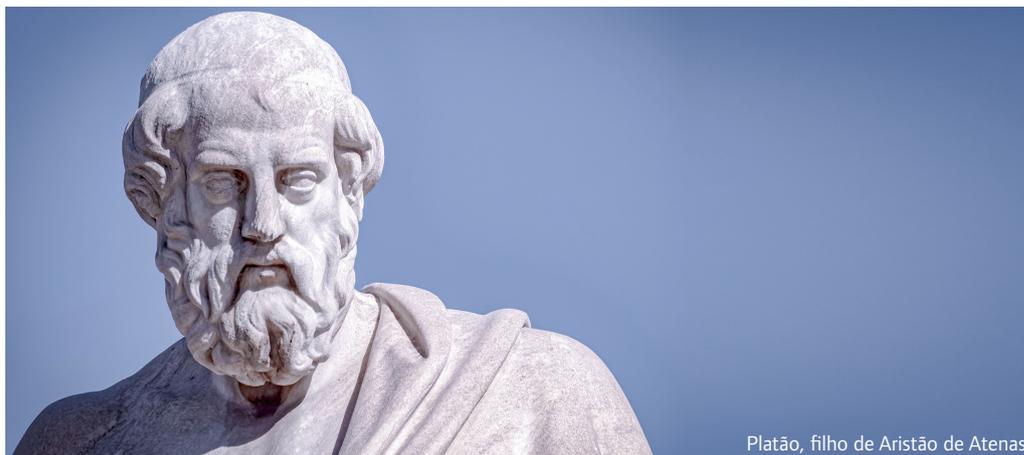
Observação 4. As características dos indivíduos das populações que variam são herdadas pelos seus descendentes.

Dedução 2. As características mais favoráveis em relação aos ambientes em que vivem os descendentes estarão mais presentes proporcionalmente nessa geração.

Se a ideia da seleção natural parece bastante simples e lógica, por que demorou tanto para que tivesse sido formulada? Houve, é claro um grande rompimento com a ideia das espécies serem fixas, o que seria compatível com os ensinamentos das grandes religiões abramícas (judaísmo, cristianismo e islamismo). Entretanto, o dogma da fixidez das espécies já havia sido desafiado por várias vezes dentre naturalistas. A ideia de que a variação seja herdável também fazia parte de senso comum, dado que o conhecimento de que os filhos assemelham-se aos pais é universal tanto para humanos como para animais e vegetais. O fato de não haver consenso sobre os mecanismos que atuam na hereditariedade na época tampouco parecia algo impeditivo

para o lançamento da ideia. Um rompimento talvez mais impactante tenha sido a respeito da aceitação da diversidade. Segundo a concepção de **Platão**, o que existe na natureza são desvios imperfeitos de um tipo perfeito que existe apenas no mundo ideal. Podemos argumentar que a ideia do *tipo perfeito* é bastante arraigada não apenas por causa das ideias de Platão, mas também por que a cognição humana é muito baseada em abstrações.

As abstrações tem um papel fundamental na sobrevivência humana pois nos permite classificarmos as entidades da natureza conforme sua essência para assim podermos fazer uso adequado delas. Por exemplo, podemos abstrair aquilo que seria essencial de um grupo de vegetais que os tornaria passíveis de serem comidos em contraposição a um grupo de vegetais que seriam indigestos ou venenosos. Essa abstração oculta a diversidade que existe dentro de cada um desses grupos distintos, e é essa variação que é essencial para que o mecanismo de seleção natural possa operar. Assim, a própria evolução dos seres humanos por seleção natural, que moldou nossa cognição, teria sido um empecilho para o desenvolvimento do próprio conceito de seleção natural.



Platão, filho de Aristão de Atenas

O fitness ou a aptidão darwiniana

Se um determinado indivíduo logrou sobreviver e se reproduzir, parece razoável afirmar que ele passou pelo filtro da seleção natural e encontra-se portanto adaptado ao seu ambiente (com poderia também não sê-lo em

outro). Entretanto, como o fenômeno da seleção natural tem uma natureza populacional, de cunho probabilístico, e não individual, normalmente se mede a aptidão de um grupo de indivíduos que compartilham determinada característica, por exemplo, as probabilidades de sobrevivência e reprodução. A medida da aptidão é normalmente empregada de forma relativa. A medida da

aptidão é chamada de valor adaptativo, por exemplo, podemos dizer que o valor adaptativo dos indivíduos com genótipos A_1A_1 ou A_1A_2 é de 100% (ou 1,0) em relação aos indivíduos A_2A_2 cujo valor adaptativo é de 80% (ou 0,8), em um caso em que o alelo A_1 é dominante sobre o alelo A_2 .

Modelo matemático de seleção natural

Suponhamos uma população diploide de fertilização cruzada, para um locus gênico que segrega 2 alelos, A_1 e A_2 com frequências p e q , respectivamente. Assim, ao nascimento, após cruzamentos ao acaso, teremos as frequências genótípicas:

A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
p^2	$2pq$	q^2

As probabilidades relativas de sobrevivência e de reprodução são representadas pelos valores adaptativos, sendo o valor mais alto arbitrado como a unidade (1,00):

W_1	W_2	W_3
-------	-------	-------

Após a incidência da seleção, as frequências genótípicas serão:

$\frac{p^2W_1}{\bar{W}}$	$\frac{2pqW_2}{\bar{W}}$	$\frac{q^2W_3}{\bar{W}}$
--------------------------	--------------------------	--------------------------

sendo que \bar{W} , que é chamado de valor adaptativo médio, é a média dos valores adaptativos ponderada pelas frequências genótípicas $= p^2W_1 + 2pqW_2 + q^2W_3$.

Assim, na próxima geração, as novas frequências alélicas serão:

$$p_1 = \frac{p^2 + pqW_2}{\bar{W}} \text{ e } q_1 = 1 - p_1.$$

Essas fórmulas são aplicadas recursivamente e permitem prever a variação das frequências alélicas ao longo do tempo.

Se $W_1 > W_2 > W_3$ (caso de codominância), o alelo A_2 tende a ser extinto.

Se $W_1 = W_2 > W_3$ (caso de dominância A_1 sobre A_2), o alelo A_2 também tende a ser extinto, porém mais lentamente do que no caso anterior.

Se $W_1 < W_2 > W_3$ (caso de sobredominância), os alelos se mantêm na população em equilíbrio.

Se $W_1 > W_2 < W_3$ (caso de subdominância), um dos alelos tende a ser eliminado dependendo das condições iniciais (relação entre os valores adaptativos e as frequências alélicas iniciais).

A seleção natural é um conceito tautológico?

A indagação decorre da própria definição do processo de seleção natural, já que uma adaptação pode ser definida como uma condição que aumenta a probabilidade de sobrevivência ou de reprodução de um indivíduo e, os indivíduos mais adaptados podem ser definidos como aqueles que têm maior probabilidade de sobreviver ou se reproduzir. Da maneira que estão colocadas, essas definições realmente parecem tautológicas, pois a definição de seleção natural remete à definição de adaptação e vice-versa. O sistema de referência externo, isto é, o ambiente onde vivem os organismos, é que faz com que a seleção natural deixe de ser um conceito tautológico, pois aquilo que pode ser mais adaptado em um determinado ambiente pode não ser em outro. Uma analogia pode ser feita com o dicionário de uma determinada língua. Podemos argumentar que um dicionário é um sistema de referências tautológico por ser um conjunto finito de palavras onde cada uma das palavras é definida por um subconjunto de palavras no qual cada uma delas também é definida no próprio dicionário! Entretanto o dicionário de uma língua é útil pelo sistema de referências externas que é o significado das palavras. Isso acontece explicitamente em um dicionário ilustrado onde as palavras ou determinados conjuntos de palavras são referenciados por objetos e situações representados graficamente. Concluindo: se há referências externas, a tautologia deixa de existir.

Tautologia - Tautologia ou raciocínio circular é a condição que surge quando duas afirmações significam a mesma coisa. Por exemplo, o ar está úmido quando há muita água dissolvida nele, e quando há muita água dissolvida no ar, ele fica úmido.

Deriva genética - Deriva genética é o fenômeno de natureza probabilística, que acontece em populações de tamanho finito, e que pode produzir alterações nas proporções alélicas de uma geração para outra, produzindo efeito maior em populações pequenas.

Marcas epigenéticas - Porções do genoma são constantemente “marcadas epigeneticamente”, por alterações químicas de bases nitrogenadas do DNA (acetilação, metilação, p. ex.) que alteram a sua funcionalidade.

Lamarck - Jean Baptiste Pierre Antoine Auguste de Monet (1744-1829), que tinha o título nobiliárquico de “Chevalier de Lamarck”, foi um naturalista francês que propôs mecanismos naturais para a evolução dos seres vivos.

Polimorfismo genético - Considera-se uma população como polimórfica com relação a um locus gênico quando este possui mais que um alelo segregando, sendo que um deles, com menor frequência, ultrapasse um valor determinado, normalmente de 1%.

Evolubilidade - o termo cunhado em inglês é “evolvability”, que também é traduzido para evolvibilidade.

Marcas epigenéticas hereditárias são uma alternativa lamarckista que explicam as adaptações?

Uma das bases da teoria da evolução proposta por **Lamarck** é a herança de caracteres adquiridos. Atualmente se sabe que existem marcas epigenéticas, que são consequências de eventos acontecidos durante a vida do organismo e que podem ser herdadas. Tais marcas, que têm o potencial de alterar o fenótipo dos indivíduos, satisfazem portanto a premissa da possibilidade da existência de herança de caracteres adquiridos. Entretanto, para que um caráter adquirido seja realmente adaptativo, é necessário que a marca produza efeitos na direção correta com relação ao que seria mais vantajoso no ambiente onde o indivíduo viver. Somente a seleção natural pode determinar uma das duas direções que o uso mais intenso de músculos pode causar: o aumento ou a diminuição da massa muscular. Não há nada que impeça, fisiológica ou bioquimicamente, que o uso dos músculos os reduza. Mesmo havendo herança de caracteres adquiridos, a seleção natural estará sempre por trás de uma adaptação.



Jean-Baptiste de Monet Chevalier de Lamarck

A deriva genética pode produzir adaptações?

A deriva genética, assim como a seleção natural, pode alterar proporções de indivíduos em populações que possuem características fenotípicas herdáveis. Entretanto, o efeito da deriva genética é aleatório, enquanto que o efeito da seleção natural é direcional conforme o ambiente. O resultado da ação combinada da seleção natural e da deriva genética sobre um determinado **polimorfismo genético** dependerá da intensidade relativa desses fatores. A intensidade da seleção natural dependerá da diferença dos valores adaptativos, enquanto que a intensidade da deriva genética dependerá do tamanho da população. Pode haver sinergia entre os fatores com consequente contribuição na produção da adaptação, mas pode haver também antagonismo, resultando em uma população menos adaptada, quando a intensidade da deriva genética for maior que a intensidade da seleção natural.

Todas as adaptações são resultado da ação de seleção natural?

Para os seres vivos, a resposta para essa questão é sim, mas apenas se considerarmos o destino da variação genética já existente na população. Normalmente não se considera a seleção natural como um processo que produza a variação genética. Há, entretanto, uma discussão sobre aquilo que seria a **evoluibilidade** de populações. Certas populações, por causa da sua maior variabilidade genética, seriam mais passíveis de sofrer mais seleção natural que populações equivalentes, mas sem o mesmo nível de variabilidade genética. Entretanto, se empregarmos o conceito de adaptação exclusivamente para os organismos e não para populações ou quaisquer outros níveis de organização, essa questão deixa de existir.



Alexandre Ultré, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

Exemplos clássicos de seleção natural atualizados

Usamos aqui dois exemplos tradicionalmente empregados para ilustrar a seleção natural, o caso do pescoço das girafas e o caso do melanismo industrial. Na primeira edição d’*A origem das espécies* (Darwin, 1859), Darwin comenta sobre a interpretação de Lamarck (Lamarck, 1809) de que as girafas teriam evoluído na direção do aumento dos seus pescoços pela ação do esforço contínuo dos antepassados em esticar os pescoços para se alimentarem de folhas nas partes superiores das copas das árvores. A interpretação de Darwin, explorada em mais detalhes na 6ª edição d’*A origem das espécies* (Darwin,

1872), é de que, dentre as girafas com pequenas variações em altura, aquelas maiores teriam mais facilidade de se alimentar sem competição e teriam maior probabilidade de deixar mais descendentes. O exemplo do pescoço das girafas é frequentemente citado em livros desde o ensino fundamental para ilustrar a comparação entre as ideias de Lamarck e Darwin na evolução dos pescoços avantajados desses animais. Entretanto, alguns pesquisadores têm levantado a hipótese de que a disputa entre machos teria sido o fator que teria levado ao aumento dos pescoços desses animais que empregam essas estruturas nas disputas. O fato é que nada impede que a seleção tenha agido simultaneamente nas duas habilidades: de conseguir folhas nos lugares altos das copas das árvores e também pelo sucesso na disputa entre machos da espécie.



Bjorn Christian Torrissen, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons

Outro caso emblemático de seleção natural foi descrito com a espécie de mariposa que ocorre na Inglaterra, chamada localmente de *peppered moth*, *Biston betularia*. Até meados do século XIX, os naturalistas ingleses conheciam muito bem a forma *typica*, com coloração esbranquiçada, mas sabiam que, na mesma espécie, também havia indivíduos muito raros, com corpo preto, com a forma chamada *carbonaria*. Em coletas feitas a partir de 1848, a forma *carbonaria* passou a ser muito mais frequente que a forma *typica*. A explicação para a mudança, feita através de uma série de observações e experimentos, era de que os líquens que recobriam as árvores haviam diminuído muito por causa da poluição atmosférica gerada durante as fases iniciais da Revolução Industrial. Foi o naturalista inglês James J. Tutt quem inicialmente forneceu a explicação para o ocorrido em termos de seleção natural (Owens, 1997): O líquen anteriormente abundante favorecia o disfarce da forma *typica*, mas as árvores com cascas escuras passaram a favorecer a forma *carbonaria*. Mais tarde, no século XX, quando medidas para diminuir a poluição atmosférica foram tomadas, os líquens voltaram às cascas das árvores e a situação se reverteu, também por seleção natural, onde novamente a forma *typica* voltou a ser abundante. Houve uma tentativa, por parcela do movimento criacionista norte-americano, de desmerecer esse exemplo tão emblemático da seleção natural em ação, mas

que somente conseguiu atacar certos detalhes metodológicos das pesquisas feitas, sem que as principais conclusões tenham sido abaladas (Grant, 2002).

Agradecimentos

Agradeço imensamente à Profa. Dra. Eliana Maria Beluzzo Dessen, que me incentivou a escrever o artigo e ao Prof. Diogo Meyer pelas valiosas sugestões e observações.

Referências

- DARWIN, C. *The origin of the species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*. John Murray, London, 1959.
- DARWIN, C. *The origin of the species*. 6th edition. John Murray, London, 1872.
- GRANT, B. S. (2002) Sour grapes of wrath. *Science* v. 297, n. 5583, p.940-941, 2002.
- LAMARCK, J. B. P. A. *Philosophie zoologique ou exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux*. Musée d'Histoire Naturelle, Paris, 1809.
- MAYR, E. (1963) *Animal species and evolution*. Harvard University Press, 1963.
- OWEN, D. F. "Natural Selection and Evolution in Moths: Homage to J. W. Tutt". *Oikos*. V. 78, n.1, p. 177–181, 1997.

Atividades de seleção natural

- COSWOSK, J. A.; TEIXEIRA, M. C.; BARATA, D. O jogo da seleção natural em plantas. *Genética na Escola* v. 11, n.1, p. 66-73, 2016 (https://7ced070d-0e5f-43ae-9b1c-aeef006b093c9.filesusr.com/ugd/b703be_f21847daa-41d4082a072a98878ae6aa5.pdf)
- MORI, L; MIYAKI, C. Y. E ARIAS, M. C. A seleção natural em ação: o caso das joaninhas. *Genética na Escola* v. 4, n. 2, p. 41-46, 2009. (https://7ced070d-0e5f-43ae-9b1c-aeef006b093c9.filesusr.com/ugd/b703be_a52c6de435664db78feb-2973baae8d64.pdf)
- OLEQUES, L. C., NASCIMENTO, L.; BARTOLOMEI-SANTOS, M. L.; TEP, D. S. Entendendo a seleção natural. *Genética na Escola* v. 7, n. 2, p. 78-83, 2012 (https://7ced070d-0e5f-43ae-9b1c-aeef006b093c9.filesusr.com/ugd/b703be_466ecce-00cb149d7bcdfa2c8fc852ff4.pdf)



Forma *typica* de *Biston betularia*



Forma *carbonaria* de *Biston betularia*