

EVOLUÇÃO Alvo de críticas, exemplo clássico de seleção natural ainda é válido

A polêmica das mariposas

Fernando Gewandsznajder *



A evolução das mariposas da espécie *Biston betularia*, da região de Manchester (Inglaterra), é considerada um exemplo clássico de evolução por seleção natural. Antes da industrialização, por volta de 1850, predominava naquela região uma população de mariposas claras com algumas manchas negras (forma conhecida como *typica*). Após a Revolução Industrial, a forma escura (*carbonaria* ou melânica) tornou-se mais freqüente nas áreas próximas a indústrias – há ainda formas de colorações intermediárias (chamadas de *insularia*), de baixa freqüência na população da espécie.

Pesquisas do biólogo inglês Bernard Kettlewell (1907-1979), feitas nos anos 50, explicaram essa mudança. Em áreas sem poluição industrial, os pássaros localizavam e comiam mais facilmente as mariposas escuras, pois as claras ficavam camufladas nos troncos cobertos de líquens brancos. A chegada da poluição destruiu os líquens e escureceu os troncos.

Com isso, as mariposas escuras passaram a ficar camufladas e protegidas dos pássaros, e seu número aumentou. O fenômeno, que ganhou o nome de 'melanismo industrial', ocorreu também com outras mariposas em áreas poluídas de outros locais do mundo. A partir dos anos 60, a redução da poluição em algumas regiões industriais, inclusive em Manches-

ter, permitiu o retorno dos líquens e, com isso, as mariposas claras tornaram-se de novo mais numerosas que as escuras.

Nos últimos anos, porém, as conclusões de Kettlewell têm sido questionadas, e algumas dessas críticas apareceram no artigo 'Girafas, mariposas e anacronismos didáticos' (*CH* nº 200). Segundo os críticos, os estudos de Kettlewell contêm falhas graves e a história das mariposas não seria um bom exemplo de evolução por seleção natural, devendo até ser retirada dos livros didáticos. Essa não é, no entanto, a opinião dos maiores especialistas em melanismo industrial.

O geneticista Michael Majerus, da Universidade de Cambridge (Inglaterra), por exemplo, afirma no livro *Melanism: evolution in action* (*Melanismo: evolução em ação*), de 1998, que "a predação diferencial das formas *typica* e *carbonaria*, feita pelos pássaros em ambientes afetados por diferentes graus de poluição, é a principal influência na evolução do melanismo da mariposa" (p. 116). No livro *Moths (Mariposas)*, de 2002, ele reafirma (p. 251) que essa é a opinião dele e dos cientistas que trabalharam com essas mariposas. Diz ainda que, para todos esses cientistas, a história das mariposas *Biston* continua a ser um dos melhores exemplos de evolução por seleção natural. A mesma opinião é expressa por outro especialista em melanismo industrial, o biólogo Bruce S. Grant, do College of William and Mary (Estados Unidos), no artigo 'Fine tuning the peppered moth' (<http://faculty.wm.edu/bsgran/>). A seguir, vamos ver por que essas mariposas continuam a ser um exemplo válido.

Para todos os cientistas que trabalham com as mariposas *Biston*, a história dessas mariposas continua a ser um dos melhores exemplos de evolução por seleção natural

* O autor, professor aposentado de biologia do Colégio Pedro II, é biólogo, com pós-graduação em educação e filosofia, e autor de livros de metodologia científica e de livros didáticos e paradidáticos de biologia e ciências.

O local de repouso

Alguns críticos afirmam que as mariposas *Biston*, em condições naturais, não repousam nos troncos e sim nos ramos das árvores. O que Majerus afirmou em 1998, no entanto, é que a maioria delas não repousa habitualmente nas partes expostas dos troncos, concentrando-se nos ramos e em partes não expostas do tronco (entre as folhas e na junção do tronco com os ramos), de modo a ficarem na sombra.

Analisando os dados de Majerus, o bioquímico Ian Musgrave, da Universidade de Adelaide (Austrália), mostrou que cerca de 25% das mariposas foram encontradas no tronco e 50% na junção do tronco com os ramos (<http://members.tripod.com/aslodge/id77.htm>). Considerando, porém, que a maioria das mariposas registradas na junção permanece a maior parte do tempo alguns centímetros abaixo da mesma, ou seja, no tronco, a parcela das que pousam neste pode se aproximar de 75%.

Majerus comenta que é baixo o número de mariposas observadas em repouso, em muitos anos de pesquisa, e que, por isso, são necessários mais estudos sobre o local de repouso. Isso ocorre, em parte, porque elas ficam em locais não expostos no alto das árvores, dificultando a observação. Mas ele diz também (em *Melanism*, p. 125) que está provado que os pássaros comem um número significativo de mariposas e que essa predação é uma das principais causas de mortalidade em muitas espécies. Há evidências também de que a camuflagem dá alguma proteção às mariposas em repouso, que os pássaros as procuram em todas as partes da árvore (troncos, ramos e folhas) e que a maioria desses locais é escurecida pela poluição. A diferença de camuflagem entre as duas formas é menor nas partes mais protegidas das árvores, mas alguns estudos mostraram que também nesses locais a predação das mariposas brancas era maior em regiões poluídas, ocorrendo o inverso nas não-poluídas.

Kettlewell realizou vários experimentos com objetivos diferentes. Em um deles, pôs mariposas na parte exposta do tronco para poder filmar a ação dos pássaros. Nesse caso, ele queria mostrar a alguns ornitologistas da época que os pássaros são predadores das diversas formas do inseto. O que serviu como evidência do papel seletivo da predação foi outro experimento, em que foram soltas (vivas e antes do nascer do Sol) mariposas marcadas, recapturadas depois e contadas para determinar as frequências das duas formas após a predação (figura 1).

Os críticos disseram que as mariposas, nas fotos em que aparecem pousadas em árvores, “não estavam vivas: foram coladas nos troncos”, como citado no artigo da *CH*. Mas a função das fotos tradicionais usadas em artigos e em livros é ilustrar a camuflagem das duas formas e não servir como evidência do

papel da seleção natural ou do local de repouso – as evidências vêm dos experimentos (para investigar a predação, Kettlewell soltou mariposas vivas). Em experimentos de outros cientistas, as mariposas foram coladas nos troncos na posição de repouso para verificar, por exemplo, o efeito da densidade populacional (número de mariposas por área) na predação. Se esse fato for citado fora do contexto, como fazem muitos críticos, as conclusões ficam distorcidas.

Novos estudos

A evolução é provocada por vários fatores além da seleção natural – entre eles migração, mutação e deriva genética. Todos estes podem alterar a frequência relativa dos genes e dos indivíduos em uma população, ou seja, podem provocar evolução.

No caso do melanismo industrial, porém, a mudança na proporção relativa das mariposas claras e escuras foi muito rápida e sistemática: a população escura crescia muito rapidamente à medida que os níveis de poluição aumentavam e diminuía com a redução desses níveis, e isso ocorreu em várias regiões geográficas. Entre os mecanismos evolutivos citados, apenas uma pressão seletiva do ambiente (ou seja, só a seleção natural), provoca mudanças adaptativas tão rápidas e sistemáticas.

Kettlewell deduziu que os fatores seletivos envolvidos seriam a camuflagem e a predação dos pássaros. Mas outras explicações foram propostas: alguma vantagem fisiológica da forma escura sobre a clara (o que é refutado pelo declínio da forma escura após a redução da poluição); uma alteração fisiológica causada pela fuligem, tornando a mariposa escura (o que é refutado pela demonstração, através de grande número de cruzamentos, de que a cor é

FLORESTA NÃO-POLUÍDA

	Mariposas escuras	Mariposas claras
Soltas	488	496
Recapturadas	34 (7%)	62 (13%)

FLORESTA POLUÍDA

	Mariposas escuras	Mariposas claras
Soltas	493	137
Recapturadas	131 (27%)	18 (13%)

FONTE: ADAPTADO DE KETTLEWELL, *HEREDITY*, 1955 E 1956

Figura 1. Os resultados do experimento de Kettlewell em florestas não-poluídas indicam que as mariposas claras têm mais chance de sobreviver do que as mariposas escuras, ocorrendo o inverso nas florestas poluídas

determinada geneticamente). Só a predação diferencial como fator seletivo foi confirmada nos testes experimentais, como afirma Grant no artigo ‘Sour grapes of wrath’ (disponível no *site* desse autor).

Estudos mais recentes revelam que a frequência relativa das formas escura e clara também é afetada pela migração (fator não seletivo) entre regiões com diferentes frequências de cada forma. Assim, embora a conclusão de Kettlewell esteja correta em termos qualitativos, é preciso aferir a influência da migração nos estudos quantitativos que buscam medir o valor adaptativo de cada forma (esse valor dá uma idéia do sucesso reprodutivo, ou seja, das chances de sobreviver e deixar descendentes). Isso significa que os dados da recaptura de mariposas (figura 1) não podem ser usados no cálculo do valor adaptativo de cada forma, já que o efeito da migração tem de ser descontado. Por isso, em termos quantitativos, é mais exato dizer, como faz Majerus, que “a predação diferencial dos pássaros, juntamente com a migração em regiões mais ou menos poluídas, são primordialmente responsáveis – a ponto de os demais fatores não contarem quase nada – pelo aumento e diminuição da forma melânica” (*Melanism*, p. 155).

O estudo de Kettlewell apresenta algumas situações artificiais. Mas é impossível controlar todos os fatores envolvidos em um fenômeno. Qualquer experimento envolve alguma artificialidade (mariposas soltas em horários em que normalmente estariam em repouso, mariposas criadas em laboratório etc.). O que se pode fazer é tentar controlar algumas dessas artificialidades em novos experimentos. No entanto, quando o tipo de artificialidade varia de um estudo para outro e estes apresentam o mesmo resultado, a evidência para a conclusão torna-se fortíssima. Por isso, Majerus afirma, em palestra de fevereiro último (<http://www.gen.cam.ac.uk/newdept/research/labs/majerus.htm>), que “é difícil acreditar que a artificialidade em cada caso produza, aleatoriamente, exatamente os resultados que apóiam a hipótese da predação dos pássaros”.

Em algumas regiões, o aumento da forma clara parece ter ocorrido antes da recolonização dos troncos pelos líquens. Para Majerus, no entanto, seria preciso uma observação mais detalhada e sistemática da árvore – inclusive das partes mais altas – para confirmar isso. Além disso, em ambientes onde a poluição atmosférica é baixa, a distribuição

dos líquens é mais heterogênea, mas em locais de alta poluição eles estão praticamente ausentes. Outra explicação é que, em certas regiões, a superfície da árvore, mesmo sem líquens, é clara e serve de camuflagem para a forma clara. A poluição muda a cor da superfície e favorece a forma escura. Outros estudos também mostram que a fuligem escurece as árvores, existam ou não líquens, e que, após a redução da poluição, houve aumento de outros tipos de árvores (bétulas) de casca mais clara, o que também favorece a mariposa clara.

Em resumo, vários estudos mostram que a mudança no número de mariposas está correlacionada aos níveis de poluição atmosférica (sempre levando em conta também a migração), que a poluição torna as árvores (inclusive ramos e folhas) menos claras, que em árvores nas quais há fuligem a forma escura é menos visível e a clara mais visível (com ou sem líquens e onde quer que a mariposa repouse) e que os pássaros têm mais dificuldade em localizar e pegar mariposas melânicas em um fundo com fuligem e mariposas claras em um fundo sem fuligem. Tais conclusões estão em artigo sobre o tema do geneticista James Mallet (<http://abacus.gene.ucl.ac.uk/jim/pap/malletpeppered04.pdf>) e no artigo ‘Sour grapes of wrath’ (de Bruce Grant). Mallet acrescenta que cerca de 30 testes feitos por outros cientistas e estudos de mais de 70 espécies de mariposa em áreas geográficas diferentes onde ocorreu o melanismo industrial fornecem evidências favoráveis às conclusões de Kettlewell.

Criticando os críticos

Toda a polêmica começou com a resenha do livro de Majerus, *Melanism*, feita pelo biólogo evolucionário Jerry Coyne na revista *Nature* (v. 396, p. 35, 1998), dizendo que os fundamentos da história das mariposas “estão construídos em um castelo de cartas” e que esta deveria ser descartada como exemplo de seleção natural. Para Majerus, porém, essa resenha não reflete o conteúdo do livro nem suas opiniões. Segundo Grant, os argumentos de Majerus, no livro, a favor da história das mariposas são convincentes porque os fundamentos da explicação são fáceis de entender e porque as evidências que os apóiam são esmagadoras.

Em dezembro de 2000, o próprio Coyne disse (<http://www.indiana.edu/~ensiweb/lessons/icon.cr.html>) que a predação dos pássaros pode ser o fator seletivo no caso, mas que, em sua opinião, os experimentos ainda deixam dúvidas. Ele concordou que a história das mariposas é um exemplo válido de evolução por seleção natural e disse que criacionistas caracterizaram erroneamente seu pedido por mais pesquisas sobre o tema como indício de alguma falha grave na teoria da evolução.

Qualquer experimento envolve alguma artificialidade (...). O que se pode fazer é tentar controlar algumas dessas artificialidades em novos experimentos

A resenha de Coyne é citada em *Of moths and men* (*De mariposas e homens*, 2002), livro em que a jornalista Judith Hooper também critica Kettlewell. Para Grant, porém, o livro de Hooper está desfigurado por erros factuais e por uma apresentação distorcida de conceitos e controvérsias. Hooper não considera, por exemplo, os testes realizados por outros cientistas e critica a hipótese da predação diferencial como se esta dependesse apenas dos experimentos de Kettlewell. Já Mallet diz que Hooper foi fortemente influenciada pelo biólogo Theodore Sargent, que discorda do papel atribuído à predação dos pássaros, e comenta que não parece ter ocorrido a ela que os experimentos usados por Sargent para apoiar suas críticas falharam. Segundo Grant, Sargent usa em suas críticas experimentos refutados ou que não produziram os supostos resultados quando reproduzidos por outros cientistas, como a tentativa de mostrar que o melanismo seria induzido pela exposição à fumaça (repetidos estudos confirmaram a herança genética da forma escura).

Mesmo Coyne, que critica Kettlewell, escreveu, ao resenhar o livro de Hooper na *Nature* (v. 418, p. 19, 2002): “Sua frágil teoria conspiratória (...), sua falta de atitude crítica quando defende a teoria de indução fenotípica de Ted Sargent, encobrendo convenientemente o simples e irrefutável fato de que os genes alelos para a forma clara e escura se segregam de forma mendeliana (...). Hooper prestou um desserviço à comunidade científica.”

Hooper levanta ainda a suspeita de que Kettlewell teria fraudado seus dados, por causa do aumento rápido, em pouco tempo, no número de capturas de mariposas. Mas tanto Grant quanto Majerus mostram que Hooper deixou de levar em conta vários fatores óbvios que provocam esse aumento, e uma análise estatística dos resultados, feita pelo físico Matt Young, mostra claramente isso, levando-o a concluir que a suspeita de Hooper baseia-se “em uma falta de conhecimento dos experimentos de Kettlewell, em particular, e de ciência experimental, em geral” (<http://www.talkreason.org/articles/moonshine.cfm>).

Outro crítico, o biólogo e defensor do criacionismo Jonathan Wells, afirma em seu livro *Icons of evolution: science or myth? (Ícones da evolução: ciência ou mito?)*, de 2000, que algumas das maiores evidências a favor do darwinismo são falsas (a crítica ao caso das mariposas está em <http://trueorigin.org/pepmoth1.htm>). Para Majerus, Wells comete erros e omissões semelhantes às de Hooper. Grant também considera que as críticas de Wells estão repletas de erros e omitem detalhes relevantes, e outros cientistas também as contestam (<http://www.talorigin.org/faqs/wells/iconob.html#moths>).

O ensino da evolução e o livro didático

Novos experimentos vêm sendo feitos para testar com mais precisão o papel dos pássaros, os locais de repouso das mariposas e outras variáveis. A história ainda está incompleta e, sem dúvida, a realidade é mais complexa do que a versão apresentada nos livros didáticos ou a de Kettlewell (que, não podemos esquecer, fez seus estudos há cerca de 50 anos). Mas isso vale para muitas outras teorias científicas presentes nesses livros e não invalida as conclusões básicas de Kettlewell. Afinal, todo o conhecimento científico é incompleto e inexato. A ciência propõe modelos e teorias que são necessariamente inacabados e sujeitos a reformulações.

O artigo publicado na *CH* critica os livros didáticos por não trazerem a polêmica sobre as mariposas. Essa discussão, porém, está presente na 11ª edição de *Biologia Hoje* (v. 3, p. 155), de 2003, deste autor (em co-autoria com Sergio Linhares).

Para o biólogo David Rudge, com pós-graduação em história e filosofia da ciência, da Universidade Western Michigan, o exemplo das mariposas constitui uma estratégia bastante apropriada para introduzir o conceito de seleção natural e os professores estão certos em ensinar a versão ‘clássica’ dessa história, omitindo os detalhes mais complexos, quando julgarem que os alunos não estão preparados para entendê-los (www.ed.psu.edu/CI/Journals/2001aets/f1_10_rudge.rtf). Para ele, a maior parte do debate gira em torno da importância relativa de outros fatores, como a migração diferencial e a concentração de dióxido de enxofre (poluente que causa a morte dos líquens).

Portanto, o que livros e professores podem fazer é mencionar que outros fatores, como a migração, devem estar envolvidos nessa história e que os cientistas continuam estudando a questão. Deve-se levar em conta ainda que o livro didático tem limitações de espaço e que professores do ensino médio não dispõem de tempo para discutir em detalhes esse e outros temas. Cabe ao livro didático dar uma visão resumida e geral sobre o tema, podendo sugerir leituras e pesquisas adicionais aos alunos. Mesmo com as limitações apontadas, os livros didáticos apresentam várias evidências da evolução dos seres vivos: fósseis, anatomia e embriologia comparada, órgãos homólogos e vestigiais e outras. Para o conceito de seleção natural também são fornecidos muitos exem-

O que livros e professores podem fazer é mencionar que outros fatores, como a migração, devem estar envolvidos nessa história e que os cientistas continuam estudando a questão

plos, como a resistência das bactérias aos antibióticos, a resistência dos insetos a inseticidas e a evolução da anemia falciforme na espécie humana, entre outros.

Não se pode atribuir todas as características de um ser vivo à seleção natural e nem todas as características são adaptativas. Para não cair em um 'adaptacionismo ingênuo', que consiste em atribuir arbitrariamente um valor adaptativo a determinada característica de um ser vivo, qualquer suposta vantagem adaptativa precisa ser complementada por observações adicionais. Isso significa que é preciso, para afirmar que alguma coisa é uma adaptação, apontar evidências independentes, baseadas em estudos da anatomia, fisiologia e ecologia do organismo. É preciso também encontrar evidências de que a característica em foco é determinada, ou ao menos influenciada, por genes – já que sem essa condição não pode haver seleção natural.

No caso das mariposas e dos exemplos citados acima, ocorreram esses estudos e testes. No entanto, alguns exemplos presentes nos livros didáticos não preenchem esses requisitos. É o caso da explicação

para o aumento do pescoço da girafa.

Os zoólogos Robert Simmons e Lue Scheepers, em artigo de 1996 na revista *The American Naturalist* (nº 148, p. 771) procuram mostrar que o longo pescoço da girafa não confere vantagem para a alimentação no alto das árvores, como muitos cientistas pensam e como os livros didáticos afirmam. O longo pescoço, dizem, seria vantajoso na luta dos machos pelas fêmeas, mas novas pesquisas e evidências são necessárias para comprovar isso. Além disso, mesmo aceitando a nova tese, o longo pescoço pode ter conferido uma vantagem alimentar em épocas passadas.

O mais importante, porém, é que o exemplo da girafa não é usado nos livros didáticos como evidência de evolução por seleção natural, e sim para mostrar as diferenças entre uma explicação darwinista e uma lamarckista. O exemplo não é dado como prova de que o darwinismo (ou neodarwinismo) está correto e o lamarckismo errado. Para isso são citadas outras evidências, como a de que os descendentes não herdam as alterações no fenótipo que não alteram genes. ■

Dê um brilho especial a suas aulas.

Use os livros desta coleção.

Ciência Hoje na Escola é uma série de 12 livros paradidáticos que abordam temas da atualidade e abrangem diversas áreas do conhecimento. Cada volume é composto por artigos escritos por alguns dos melhores pesquisadores do país. Todos os livros contêm índice por palavra-chave e um caderno especial para auxiliar o trabalho do professor em sala de aula. Bem ilustrados, os volumes trazem ainda experimentos que apóiam as atividades curriculares.



A MELHOR DA SALA
Ela não pode faltar

CONHEÇA OS TÍTULOS DA COLEÇÃO

Céu e Terra
Bichos
Corpo Humano e Saúde
Meio Ambiente e Águas
Ver e Ouvir
Química do dia-a-dia
Tempo e espaço
Matemática
Evolução
Geologia
Sexualidade
Eletricidade

NA INTERNET: www.ciencia.org.br PELO TELEFONE: 0800-264846