

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE BIOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

FERNANDA GONÇALVES ARCANJO

**A “HIPÓTESE PROVISÓRIA DA PANGÊNESE” NO SÉCULO XXI:
UMA RELEITURA MATERIALISTA DIALÉTICA DO EQUÍVOCO
DE DARWIN**

**Niterói
2015**

FERNANDA CONÇALVES ARCANJO

**A “HIPÓTESE PROVISÓRIA DA PANGÊNESE” NO SÉCULO XXI:
UMA RELEITURA MATERIALISTA DIALÉTICA DO EQUÍVOCO
DE DARWIN**

Monografia de Bacharelado apresentada à coordenação do Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Dr. Edson Pereira da Silva

**Niterói
2015**

FERNANDA CONÇALVES ARCANJO

Monografia de Bacharelado apresentada à coordenação do Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em _____ / _____ / _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Antônio Botelho Andrade
Departamento de Imunobiologia
Universidade Federal Fluminense
Presidente

Prof. Dr. Manuel Gustavo Leitão Ribeiro
Departamento de Biologia Celular e Molecular
Universidade Federal Fluminense
Titular

Prof. Dr. Luis Mors Cabral
Departamento de Biologia Celular e Molecular
Universidade Federal Fluminense
Titular

Prof. Dr. Edson Pereira da Silva
Departamento de Biologia Marinha
Universidade Federal Fluminense
Suplente

**Niterói
2015**

“Se dois homens se querem entender verdadeiramente, têm primeiro de se contradizer. A verdade é filha da discussão e não filha da simpatia.”

Gaston Bachelard

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e minha mãe, meus primeiros professores, meus grandes exemplos, aqueles que fizeram toda a minha caminhada acadêmica possível. E, mais do que isso, aqueles que me ensinaram o valor do conhecimento e me apresentaram aos prazeres que o aprender pode nos fornecer. Um muito obrigado em especial ao meu pai por me apresentar ao fabuloso mundo dos porquês, pelas centenas de histórias mirabolantes contadas ao longo destes 22 anos, por ter sempre uma resposta para as minhas perguntas (mesmo que ela fosse “Não sei, vamos procurar isso!”), por ter sempre alguma piada sem graça para contar, pelas sessões “Vocês sabia...?!” de curiosidades aleatórias. Obrigada, é claro, por ter sido o primeiro a me apresentar a estranha palavra “epistemologia”, por me ajudar a trilhar o caminho intrigante da filosofia e por sempre me incentivar e acreditar em mim, até quando eu mesma duvidava. E, por isso, obrigada também, mãe, a mestre (ou melhor, doutora!) em não me deixar escorregar na minha poça de dúvidas, por sempre me lembrar de como o caminho profissional que eu escolhi é, mesmo, cheio de incertezas, mas que duvidar de si não ajuda e, no entanto, acreditar em si mesmo pode te levar longe. Obrigada por ser aquela pessoa que, tão parecida comigo, me entende mesmo quando as palavras fogem da boca. Enfim, obrigada ao melhor pai e a melhor mãe que eu poderia ter (e não porque, de fato, eu só poderia ter vocês, mas porque vocês são sensacionais)!

A minha irmã, que de meio não tem nada. Obrigada, Dani, por, desde sempre, estar por perto para me defender e apoiar. Obrigada por ser uma das grandes responsáveis pela minha escolha pela Biologia. Por ter, sem intenção, me feito optar pela medicina (afinal, você sempre foi, para mim, aquilo que eu queria ser quando crescer) para, depois, me lembrar que há muito mais no mundo da Biologia que a medicina e que, talvez, outros caminhos fossem mais compatíveis comigo. Tenho que agradecer pela ótima influência que você foi para mim ao longo de toda a minha vida, em todos os sentidos, que vão muito, muito além do profissional. Obrigada, é claro, por ter me concedido a honra de ser madrinha (no sentido mais especial da palavra) da Catarina e da Isadora e, assim, ter me apresentado a um novo nível de amor. A você e a elas eu devo os melhores momentos dos últimos anos e os melhores dias de descontração e carinho dessa fase final da monografia. Eu amo muito vocês três, muito obrigada.

Aos mais queridos e essenciais amigos. Primeiro, àquelas que estiveram sempre por perto, que traçaram comigo os mais importantes momentos da minha vida até chegar onde estou. Obrigada Juliana, Márcia, Luana e Dandara, minhas maiores parceiras, por estarem sempre presentes, mesmo que não fisicamente, quando eu mais precisei. Segundo, àqueles que traçaram comigo uma jornada chamada BioUFF. Não citarei todos os nomes, pois, num gradiente tão delicado de sentimentos, incorro no grande risco de me arrepender por não citar alguém. No entanto, aqueles que fizeram parte das minhas mais memoráveis lembranças da universidade, saibam que estarão sempre com o nome cravado sob estas palavras. Obrigada pela melhor época da minha

vida! Um obrigado especial àqueles que, além de tudo, dividiram momentos de desespero nesta reta final e que, daqui para frente, continuarão ao meu lado trilhando o restante dessa jornada. Os escolhi porque vocês são algumas das pessoas mais maravilhosas que já tive o prazer de conhecer. Agora sigamos cada um seu caminho, mas, espero eu, sempre juntos! Ah, não posso esquecer-me de agradecer nominalmente ao Eduardo que, além de já incluso neste parágrafo, também foi de direta ajuda nesta monografia produzindo algumas figuras – as mais bem feitas são dele. Obrigada, lindo!

Aos meus colegas de laboratório. Obrigada a todos os que dividiram e vem dividindo a experiência singular de participar do grupo LGME, obrigada pelos conselhos de alguns, obrigada pelas palavras de conforto de outros nos momentos mais complicados. Somente nós sabemos quão afortunados somos pela orientação que nos é oferecida nesse laboratório, mas, também, quão difícil pode ser trabalhar no nível que nos é requisitado. Obrigada, é claro, pelas grandes reuniões de quarta-feira, pelo conhecimento que tenho adquirido e pelos maravilhosos momentos de descontração. Tudo isso foi de grande importância para que, todas as vezes, eu tenha optado por ficar. Vocês são ótima companhia, muito obrigada!

Por último, mas não menos importante, ao meu orientador, Edson, sem o qual nada disso seria possível. Foi ele, a minha luz no fim do túnel na UFF, quem me mostrou que havia mais na Biologia do que pipetagens e análises estatísticas e quem me apresentou à área mais apaixonante e instigante da Biologia, a evolução. O que seria da minha carreira científica se eu jamais tivesse cruzado o seu caminho? É difícil dizer, mas, certamente, eu não poderia estar estudando nada que me fizesse mais feliz. Mas, acima de tudo, eu tenho que agradecer pela parceria, por se preocupar com o nosso trabalho tanto quanto eu e, mais do que isso, por se preocupar comigo tanto quanto com o meu trabalho. É só olhar para os lados e percebo que encontrá-lo foi como ganhar na loteria. A verdade é que não foi sempre fácil, mas o que, nessa vida, que realmente vale a pena, é de todo fácil? Obrigada por ter me ensinado, tanto como professor de evolução quanto como pessoa, as coisas mais importantes que eu aprendi na faculdade. Jamais os agradecimentos serão suficientes, mas muito, muito obrigada.

RESUMO

Além da evolução, Charles Darwin também se dedicou a temas como variação, herança e desenvolvimento em seu livro *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* (1868), onde publicou sua “Hipótese Provisória da Pangênese”. Por apresentar diversas incoerências com nosso conhecimento atual a respeito de herança e desenvolvimento, a teoria da pangênese darwiniana é tida, por muitos, apenas como “o fracasso de Darwin”. A partir de um levantamento bibliográfico, em que se visou compreender a evolução das concepções de herança desde o século XIX até hoje e, o papel do desenvolvimento dentro da biologia evolutiva no mesmo período, objetivou-se, neste trabalho, a construção de uma releitura da teoria da pangênese tendo como referencial teórico o materialismo dialético, no intuito de rediscutir seu valor histórico. Pode-se concluir que ela estava bem adequada ao seu tempo e, mais do que isso, quando analisados os trabalhos em biologia evolutiva do desenvolvimento (evo-devo) e em epigenética, é possível identificar muito do foco da teoria da pangênese ressurgindo no século XXI. Também se sugere que a abordagem da teoria de herança de Darwin, em sala de aula, pode servir, primeiro, na reestruturação de tópicos que fazem parte do conteúdo de evolução e que são, frequentemente, abordados de maneira equivocada na escola. E, segundo, na introdução didática de discussões a respeito do funcionamento da ciência.

ABSTRACT

Besides evolution, Charles Darwin also dedicated himself to topics such as variation, inheritance and development. An example is his book *The Variation of Animals and Plants under Domestication* (1868), in which he published his “Provisional Pangenesis Hypothesis”. By presenting several inconsistencies with our current knowledge about inheritance and development, the darwinian theory of pangenesis is regarded by many simply as “Darwin's failure”. From a literature review, which aimed to understand the evolution of the concept of inheritance from the nineteenth century to today, and the role of development within evolutionary biology in the same period, the aim of this work is a reinterpretation of the theory of pangenesis. The theoretical tool used was the dialectical materialism, in order to reopen the discussion of pangenesis historical value. It could be concluded that this theory was well-suited to its time. Moreover, by analyzing works in evolutionary developmental biology (evo-devo) and epigenetics, it is possible to identify much of the focus of the theory of pangenesis resurfacing in the XXI century. It is also suggested that the use of Darwin's theory of inheritance in classroom can be useful, first, on restructuring the presentation of topics within the theme of evolutionary biology. And, second, as a didactic way to introduce discussions on the way science operates.

SUMÁRIO

Agradecimentos	V
Resumo	VII
Abstract.....	VIII
1. Introdução	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo geral.....	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. Metodologia.....	5
4. Capítulo 1: Primeiro Argumento - Uma Discussão em História das Ideias	7
4.1. Uma hipótese provisória	8
4.1.1. Pangênese e herança	9
4.1.2. Pangênese e variação	11
4.1.3. Pangênese e teoria evolutiva	13
4.2. Uma teoria de desenvolvimento.....	15
4.2.1. Pangênese e genes	16
4.2.2. Pangênese e evo-devo	18
4.3. Uma teoria (não) lamarckista	21
4.3.1. Herança dos caracteres adquiridos	21
4.3.2. Pangênese e epigenética.....	23
4.4. Considerações finais.....	28
5. Capítulo 2: Segundo Argumento - Uma Breve Discussão em Ensino	30
5.1. Pangênese e desenvolvimento em sala.....	31
5.1.1. Um pouco mais da “hipótese provisória”.....	31
5.1.2. As teorias de Darwin e Lamarck	34
5.1.3. História e novidade no ensino de biologia	35
5.2. Pangênese e (mais) HCA em sala de aula.....	38
5.3. Considerações finais.....	41
6. Conclusão	43
7. Bibliografia.....	46
8. Apêndices	51
8.1. A hipótese darwiniana da pangênese	52
8.2. A pangênese darwiniana: o uso de velhas ideias para introduzir novidades no ensino de biologia	61

1. INTRODUÇÃO

O naturalista inglês Charles Robert Darwin (1809-1882) é considerado o grande nome da evolução graças ao seu livro *A Origem das Espécies* (1859), no qual ele expôs sua teoria evolutiva definindo evolução como descendência com modificação guiada por seleção natural. Pouco se fala, no entanto, de seu outro livro *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* (1868), no qual que ele publicou a “Hipótese Provisória da Pangênese”, sua teoria para herança (Castañeda, 1994).

De fato, enquanto a teoria evolutiva darwiniana é a base do que se entende, hoje, por evolução, o mesmo não se pode dizer da teoria da pangênese em relação ao que se entende atualmente por herança. Alocada junto às demais ideias de herança anteriores ao século XX, a teoria da pangênese darwiniana é tida como absolutamente equivocada frente à revolucionária genética, filha dos trabalhos de Gregor Mendel (1822-1884). Se Darwin pode ser considerado o nome da evolução, Mendel é, certamente, o nome da herança biológica, tendo esta se tornado, ao longo do século XX, quase sinônimo de genética. É por este motivo que grande parte do conhecimento a respeito de herança produzido antes do século XX e que, portanto, não se adéqua à perspectiva genética da herança é, hoje, menosprezado. Neste sentido, não sendo coerente com o modelo mendeliano de herança, a teoria da pangênese darwiniana é rotulada, por muitos, apenas como o “fracasso de Darwin”.

É possível, no entanto, que o valor histórico da “Hipótese Provisória da Pangênese” esteja sendo subestimado. Isto porque são facilmente identificadas nela características muito particulares em relação às demais ideias de herança que se propagavam em sua época. Serão estas características que se procurará explorar ao longo deste trabalho. A partir de uma análise crítica da teoria da pangênese, com os olhos do século XXI, estruturar-se-á uma releitura desta, no intuito de discutir se ela merece o seu lugar no lixo da história da ciência.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Interpretar a história da “hipótese provisória da pangênese” a partir de uma perspectiva materialista dialética.

2.2. Objetivos Específicos

- a. Descrever a teoria da pangênese darwiniana;
- b. Explicitar os principais objetivos de Darwin com a publicação da teoria da pangênese;
- c. Relacionar a teoria da pangênese com os desenvolvimentos atuais da Biologia Evolutiva (evo-devo e epigenética);
- d. Discutir o uso da teoria da pangênese como ferramenta didática para clarificar as diferenças entre as ideias de Lamarck e Darwin em relação a evolução e herança e introduzir temas atuais em Biologia como evo-devo e epigenética;
- e. Analisar a utilização da teoria da pangênese como exemplo histórico do modo de funcionamento do empreendimento da ciência.

3. METODOLOGIA

A interpretação da história das ideias apresentada neste trabalho teve como referencial teórico o materialismo dialético, na vertente epistemológica desenvolvida nos trabalhos de Silva (2001) e Solha & Silva (2004). Segundo estes autores existem dois aspectos importantes com relação à atividade científica. O primeiro diz respeito à ontologia, entendida como as relações materiais entre elementos, tais quais o estado de desenvolvimento das técnicas, a tradição e interesses específicos da sociedade a que atendem as teorias. O segundo aspecto, de caráter epistemológico, é a relação entre o conhecimento e o seu referencial. Neste sentido, assume-se a posição de que o conhecimento científico é não representativo, embora traga alguma informação sobre o mundo. Isto é o que Marx (1858) chamou de “concreto de pensamento” e Althusser (1985) de “objetos de pensamento”. Assim, a ideia de progresso do conhecimento é substituída por certa incomensurabilidade produzida em saltos qualitativos. Deste modo, é possível imaginar situações nas quais teorias consideradas “ultrapassadas”, como a teoria darwiniana da pangênese, possam ser ressignificadas.

Com base neste referencial teórico foi realizada uma exegese do texto *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* (*The variation of animals and plants under domestication*, Darwin, 1868). A exegese consiste na leitura e interpretação crítica de um texto com o intuito de retirar deste apenas seu conteúdo fundamental, às vezes não inteiramente explícito (Althusser, 1967). No caso deste trabalho o foco foi a “Hipótese Provisória da Pangênese” (capítulo 27 d’*A Variação*).

4. CAPÍTULO 1

PRIMEIRO ARGUMENTO: UMA DISCUSSÃO EM HISTÓRIA DAS IDEIAS

Adaptação do artigo “PANGÊNESE, GENES E EPIGÊNESE”, submetido para publicação na revista *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, em agosto de 2015.

4.1. Uma Hipótese Provisória

Em 1859 foi publicado pela primeira vez o livro icônico de Charles Darwin, *A Origem das Espécies*, no qual o naturalista inglês apresentou sua teoria evolutiva. Cinco outras edições foram publicadas, sendo a sexta, e última, datada de 1872. Sua teoria provocou uma avalanche de críticas positivas e negativas nos primeiros anos que seguiram sua publicação. As posições a respeito da teoria darwiniana amadureceram. Surgiram cada vez mais adeptos, mas também cresceu o número de seus críticos tais como George Mivart (1827-1900), Samuel Butler (1835-1902), William Thomson (1827-1907) e Fleming Jenking (1833-1885). As críticas negativas tinham natureza diversa, mas grande parte dizia respeito às lacunas no sistema explicativo da teoria, as quais Darwin esteve ciente, mas não pode preencher de início. Por exemplo, a falta dos elos perdidos que demonstrariam a “descendência com modificação”, ou a falta de dados empíricos para se verificar a atuação da seleção natural ou, ainda, a falta de uma explicação para a origem e natureza da variação e de um mecanismo de herança bem definido.

Dentre essas lacunas, o problema da origem e natureza da variação herdável era crucial. Isto porque as grandes novidades da teoria darwiniana eram (1) a identificação da variação presente nas populações naturais a partir de uma perspectiva materialista¹, assim, a variação individual deixou de ser vista como uma imperfeição em relação a um tipo ideal e passou a ser entendida como a realidade do mundo natural e (2) a ideia de especiação como um processo de transformação desta variação individual (intrapopulacional) em variação entre grupos (interpopulacional). Era, portanto, pressuposto da teoria que houvesse um estoque infinito de variação herdável nas populações naturais para que o processo evolutivo descrito pudesse gerar tão grande

¹ **Perspectiva Materialista:** A perspectiva materialista sustenta que a única coisa da qual se pode afirmar a existência é a matéria, assim, todas as coisas são compostas de matéria e todos os fenômenos são o resultado de interações materiais. Esta perspectiva se opõe ao idealismo que admite que a ideia (alma, essência etc.) como base da existência e, também, ao dualismo que produz dicotomias do tipo corpo e alma, aparência e essência etc. No caso do darwinismo, a perspectiva materialista deixou de encarar a variação individual como estática, o resultado da expressão imperfeita de uma essência imaterial ou um ruído a ser evitado na atividade de ordenação (classificação) do mundo vivo. A variação individual passou a ser encarada como a realidade do mundo biológico e o material da evolução. A partir desta perspectiva materialista, Darwin pôde entender o processo de especiação como um processo de conversão da variação entre indivíduos, dentro de uma determinada população, em variação entre populações diferentes, no tempo e no espaço. Ou seja, o processo de especiação passou a ser entendido como um processo de transformação de variação intrapopulacional em variação interpopulacional.

variedade de espécies. Nas palavras de Darwin, “O poder da seleção [...] depende absolutamente da variação entre seres vivos. Sem variação nada pode ser produzido²” (Darwin, 1868a, p. 192).

Embora Darwin não tenha discutido apropriadamente n'A *Origem* quais deveriam ser a origem e a natureza da variação e como ela seria herdada ao longo das gerações, ele abordou brevemente, no livro, algumas noções acerca do assunto que eram amplamente aceitas e muito populares nos séculos XVIII e XIX, como o “uso e desuso” e a “herança de caracteres adquiridos”. No entanto, essas noções apenas faziam parte das elaboradas ideias de Darwin, que viriam à tona mais tarde, a respeito do tema.

É apenas em 1868 que Darwin vem a publicar pela primeira vez sua teoria da hereditariedade, no último capítulo de seu livro *A Variação de Animais e Plantas Sob Domesticação*. Esta obra foi uma extensão do primeiro capítulo d'A *Origem* que, assim como ele, tratava de temas importantes a respeito da evolução na perspectiva da domesticação e da seleção artificial, muito explorada por Darwin na proposição da seleção natural como uma importante força atuando sobre a transmutação das espécies. No capítulo XXVII d'A *Variação*, nomeado “A Hipótese Provisória da Pangênese”, Darwin transcreve a teoria na qual seus estudos a respeito da variação, herança, desenvolvimento e reprodução culminaram (Olby, 1963).

Embora Darwin tenha identificado a pangênese como uma hipótese, é seguro se referir a ela como uma teoria. Isto porque, apesar do seu caráter especulativo, a pangênese fornecia um sistema explicativo completo para o fenômeno da herança, rico em evidências empíricas e capaz de explicar a maioria dos problemas entendidos na época como questões de herança, mas que, até então, continuavam sem respostas.

4.1.1. Pangênese e herança

A teoria da pangênese (do grego *pan-* todo e *genesis-* origem/nascimento) se baseia na proposta de que toda a organização do corpo é capaz de reproduzir a si mesmo através de suas partes. Na seguinte passagem d'A *Variação* Darwin resume os principais pressupostos de sua teoria:

² Tradução livre da autora. Original: “The power of Selection [...] absolutely depends on the variability of organic beings. Without variability nothing can be effected.”

Eu assumo que as células, antes de sua completa conversão em material completamente passivo ou ‘material formado’, liberam pequenos grânulos ou átomos, que circulam livremente através do sistema e, quando nutridos apropriadamente, multiplicam-se por auto-divisão, transformando-se subsequentemente em células como aquelas das quais derivam. Esses grânulos, por questão de distinção, podem ser chamados gêmulas celulares, ou, como a teoria celular ainda não se encontra completamente estabelecida, apenas gêmulas. Elas supostamente são transmitidas dos parentais para a progênie, e, geralmente, se desenvolvem na geração seguinte, mas, frequentemente, são transmitidas em estado dormente por várias gerações até que, então, se desenvolvem. O desenvolvimento das gêmulas é, supostamente, dependente da união destas com outras células ou gêmulas parcialmente desenvolvidas que lhe precedem no curso regular de crescimento. [...] Gêmulas, supostamente, são liberadas por toda célula ou unidade [do corpo], não apenas no estado adulto, mas durante todas as etapas do desenvolvimento. Por fim, eu assumo que as gêmulas em seu estado dormente apresentam uma afinidade mútua entre si, levando a sua agregação nas sementes ou órgãos sexuais. Portanto, rigorosamente, não é o sistema reprodutivo, nem as sementes, que são responsáveis pela geração de novos organismos, mas sim as células do corpo propriamente ditas. Essas premissas constituem a hipótese provisória que eu nomeei Pangênesse³ (Darwin, 1868a, p. 374).

É ao desenvolvimento mediado pelas gêmulas que Darwin atribui o poder de explicar como se dava a herança. A transferência de gêmulas dos parentais para os descendentes explicava a semelhança entre estes. A transferência de gêmulas em estado de dormência era capaz de explicar o atavismo, ou reversão, que dizia respeito ao reaparecimento de uma característica ancestral num dado indivíduo após ausente na população por curto ou longo período de tempo. A reversão foi um dos tópicos mais desenvolvidos por Darwin ao longo do capítulo d’A Variação dedicado à pangênese,

³ Tradução livre da autora. Original: “I assume that cells, before their conversion into completely passive or ‘formed material’, throw off minute granules or atoms, which circulate freely throughout the system, and when supplied with proper nutriment multiply by self-division, subsequently becoming developed into cells like those from which they were derived. These granules for the sake of distinctness may be called cell gemmules, or, as the cell theory is not fully established, simply gemmules. They are supposed to be transmitted from the parents to the offspring, and are generally developed into the generation which immediately succeeds, but are often transmitted in a dormant state during many generations and are then developed. Their development is supposed to depend on their union with other partially developed cells or gemmules which precede them in the regular course of growth. [...]Gemmules are supposed to be thrown off by every cell or unit, not only during the adult state, but during all the stages of development. Lastly, I assume that the gemmules in their dormant state have a mutual affinity for each other, leading to their aggregation either into buds or into the sexual elements. Hence, speaking strictly, it is not the reproductive system, nor the buds, which generate new organisms, but the cells themselves throughout the body. These assumptions constitute the provisional hypothesis which I have called Pangenesis.”

onde se refere a ela como “o mais admirável de todos os atributos da herança⁴” (Darwin, 1868a, p. 372). De acordo com Geison (1969), a possibilidade de um modelo para explicar o problema da reversão foi um dos pontos fundamentais para que Darwin pudesse elaborar sua teoria da hereditariedade.

Já o pressuposto de que as gêmeulas seriam produzidas ao longo de toda a vida do indivíduo corroborava com a lei da herança de caracteres adquiridos. Neste sentido, todas as mudanças que o organismo sofresse ao longo da vida seriam codificadas em gêmeulas, numa quantidade proporcional a idade em que a mudança se desse (que seria proporcional, também, à influência desta mudança sobre as gerações seguintes, processo sobre o qual haveria, ainda, a ação da seleção natural). Assim como a reversão, a herança do adquirido foi, indiscutivelmente, um dos grandes focos da teoria da pangênese, na qual foi incorporada como mais do que uma simples repetição elaborada da herança “lamarckista”.

O objetivo explícito de Darwin com a teoria da pangênese, portanto, era fornecer uma explicação unificada e universal para aquele conjunto de fenômenos, até então, não esclarecidos, mas que ele acreditava estarem envolvidos com a herança. No entanto, este, certamente, não era seu único objetivo. A pangênese havia sido proposta, não apenas para explicar a variação herdável, mas, também, um grande conjunto de fenômenos do desenvolvimento, como será discutido melhor adiante.

4.1.2. Pangênese e variação

Desde 1838, Darwin teorizava sobre as possíveis causas da variação herdável nos seres vivos (Winther, 2000). Com a publicação, em 1875, da segunda e última edição d’*A Variação* ele concluiu seus estudos acerca do assunto incorporando-os à pangênese, de modo a fornecer uma explicação única para todos os mecanismos que, de acordo com Darwin, eram responsáveis pelo surgimento da variação entre indivíduos. Neste fragmento retirado da segunda edição d’*A Variação*, ele resume suas “leis da variação”:

Finalmente, nós vemos na hipótese da pangênese que a variação depende de, pelo menos, dois grupos de causas distintos.

⁴ Tradução livre da autora. Original: “The most wonderful of all the attributes of Inheritance”.

Primeiramente, a deficiência, superabundância e transposição de gêmulas, e o redesenvolvimento daquelas que há muito se encontravam dormentes: as gêmulas, elas próprias, não tendo sofrido nenhuma modificação; e tais mudanças vão contar amplamente por grande parte na variação flutuante. Segundamente, a ação direta de mudanças nas condições sobre a organização, e do uso e desuso de partes; e, neste caso, as gêmulas das unidades modificadas serão, elas mesmas, modificadas e, depois de suficientemente multiplicadas, vão suplantar as gêmulas antigas e se desenvolver em novas estruturas⁵ (Darwin, 1868a, p. 390).

Os dois grupos de causas a que Darwin se refere neste parágrafo são os que ele denominou, em outros momentos, de mecanismos de efeito indireto e direto. No que dizia respeito aos eventos que geravam variação, Darwin entendia que a causa primária era, na esmagadora maioria dos casos, uma mudança nas condições de vida, ou seja, no ambiente. Nos mecanismos de efeito indireto o ambiente afetaria apenas os órgãos reprodutivos do indivíduo – regiões que ele considerava mais suscetíveis – produzindo variação a partir de alterações na organização dos agregados de gêmulas, sem que houvesse qualquer mudança nas gêmulas propriamente ditas. A mudança, portanto, seria expressa apenas nas gerações seguintes. É importante ressaltar que, embora no trecho d'A Variação destacado acima Darwin tenha assumido a reversão como uma fonte de variação, em outros momentos do livro ele enfatiza que os caracteres retomados por reversão não poderiam ser qualificados como variação nova (Darwin, 1868a, p. 304; 1875, p. 239). Neste sentido, as novas variações resultantes de mecanismos de efeito indireto seriam aleatórias, ou seja, poderiam ser vantajosas ou desvantajosas para o indivíduo na dependência das condições do meio e dos outros indivíduos da população. Sendo assim, seria sobre este grupo de variação que a seleção natural poderia agir.

Já nos mecanismos de efeito direto, alterações nas condições do meio provocariam mudanças no próprio corpo do indivíduo afetado e essas mudanças seriam passadas através das gerações pela herança de gêmulas também modificadas. Dentre os

⁵ Tradução livre da autora. Original: “Finally, we see on the hypothesis of pangenesis variability depends on at least two distinct groups of causes. Firstly, the deficiency, superabundance and transposition of gemmules, and the redevelopment of those which have long been dormant: the gemmules themselves not having undergone any modification; and such changes will amply account for much fluctuating variability. Secondly, the direct action of changed conditions on the organization, and of the increased use or disuse of parts; and in this case the gemmules from the modified units will be themselves modified, and, when sufficiently multiplied, will supplant the old gemmules and be developed into new structures.”

mecanismos de efeito direto estavam “ação direta do meio sobre o organismo”, “aclimatização através da mudança de hábitos” e “uso e desuso” (Winther, 2000). Darwin acreditava que o “uso e desuso” era o mecanismo fonte de maior quantidade de variação por efeito direto. Portanto, as variações originadas por mecanismo de efeito direto eram, geralmente, variações necessariamente adaptativas.

“Uso e desuso” foi um dos temas a que Darwin mais se dedicou no capítulo XXIV “Leis da Variação” d’*A Variação*, principalmente na sua segunda edição. No entanto, Darwin tinha consciência de que a maior parte das variações não poderia ser adaptativa, pois, deste modo, não haveria material para que a seleção natural pudesse agir. Em correspondência com Asa Gray datada de 8 de maio de 1868, Darwin explicita o problema de que “se as variações corretas ocorressem, e nenhuma outra, a seleção natural seria supérflua”⁶ (Darwin, 1868b). Até suas últimas publicações Darwin insistiu que a maior parte da variação herdável surgia por mecanismo de efeito indireto e a “seleção natural era o mais importante, embora não único, meio de modificação (das espécies)”⁷ (Darwin, 1859, p. 6; e edições subsequentes).

4.1.3. Pangênese e teoria evolutiva

A publicação do livro *A Variação de Animais e Plantas Sobre Domesticação* em 1868, nove anos após a primeira publicação d’*A Origem*, no florescer das críticas à sua teoria evolutiva, levou alguns autores a propor que Darwin teria escrito a pangênese no intuito de utilizá-la como uma hipótese *ad hoc* para sua teoria evolutiva (Geison, 1969). No entanto, as críticas que mais repercutiram na época, como a de Fleming Jenking (1867), foram manifestadas pouco antes da publicação d’*A Variação*, inclusive depois que o livro já havia sido entregue para impressão (Vorzimmer, 1963). Além disso, em correspondência com o geólogo Charles Lyell (1797-1875), datada de 1867, Darwin explicita que já trabalhava nesta teoria há mais de 25 anos (Darwin, 1867). Deste modo, ele não teria produzido sua teoria de herança apenas para tentar salvar sua teoria

⁶ Tradução livre da autora. Original: “If the right variations occurred and no others natural selection would be superfluous.”

⁷ Tradução livre da autora. Original: “Natural selection has been the main, but not exclusive, means of modification.”

evolutiva (Olby, 1963; Ghiselin, 1975). Seus objetivos com a teoria da pangênese, na verdade, vinham de muito antes das críticas à *Origem*.

Não faria sentido, no entanto, enxergar a teoria da pangênese como independente ou desconectada da teoria evolutiva darwiniana. Ambas estão intimamente relacionadas em diversos sentidos, como identificado, por exemplo, na discussão muito enfatizada na pangênese de que as espécies de reprodução sexuada, reprodução assexuada, reprodução por partenogênese ou com alternância reprodutiva, todas apresentam a mesma base de desenvolvimento. Embora não seja explicitado, essa relação intrínseca entre os diferentes tipos de reprodução observados em populações naturais seria uma clara evidência para o argumento da evolução como “descendência com modificação” Olby (1966) defende, inclusive, que este tema teria sido o ponto de partida da teoria da pangênese.

Embora Darwin não tenha escrito sua teoria de herança numa tentativa de salvar sua teoria evolutiva, é indiscutível que, para ele, dar uma resposta para a origem e natureza da variação era um dos seus principais objetivos com a sua “Hipótese Provisória da Pangênese”, senão o objetivo principal. Afinal, ele sabia que suas conclusões a respeito do processo de transmutação das espécies permaneceriam incompletas até que apresentasse fundamentos para herança e variação (Liu & Li, 2012).

Em maio de 1865, Darwin enviou, pela primeira vez, um manuscrito recém-acabado da pangênese para seu colega e crítico Thomas Huxley (1825-1895). Fica claro pelo conteúdo de uma das cartas trocadas entre eles que o estímulo de Huxley (Huxley, 1865; Darwin, 1865) a favor da publicação da pangênese foi crucial para a decisão que Darwin tomou de incorporá-la à versão final d’*A Variação*. Isto, associado à intensa demanda da comunidade científica por uma resposta para a origem e natureza da variação e sua herança, formaram, provavelmente, o conjunto de motivações que encorajaram Darwin a publicar sua “Hipótese Provisória”.

4.2. Uma Teoria do Desenvolvimento

Assim como muitos de seus contemporâneos, Darwin acreditava que a evolução biológica deveria estar intimamente relacionada com o processo de desenvolvimento dos seres vivos. No século XIX, o estudo do desenvolvimento era quase que sinônimo de embriologia e boa parte dos trabalhos na área apresentavam algum viés evolutivo. Estava bem estabelecida a visão de que a evolução era movida, basicamente, por alterações no desenvolvimento (Gilbert *et al.*, 1996).

Em 1866 Ernst Haeckel (1834-1919) postulou o que seria chamado posteriormente de teoria da recapitulação com a noção de que a “ontogenia recapitula a filogenia”. De acordo com esta, o estudo de morfologia e embriologia comparativas das espécies seria capaz de evidenciar o caminho do processo evolutivo a partir das semelhanças entre grupos. A teoria ganhou muitos adeptos e, em pouco tempo, paleontólogos se inseriram, também, nesta linha, com o estudo do registro fóssil. Alguns associavam os resultados destes estudos a um processo evolutivo linear de progresso, na tradição lamarckista, outros, defensores da teoria evolutiva darwiniana, associavam estes resultados a ramos de uma árvore da vida e perseguiam a identificação de ancestrais comuns (Bowler, 2002).

No entanto, não havia propostas sólidas para um mecanismo fisiológico que sustentasse estas noções. Os numerosos estudos em evolução acoplados ao desenvolvimento prosseguiam, portanto, de maneira pouco sistemática, incapazes de fornecer explicações gerais para o processo evolutivo. Darwin, por sua vez, compreendia que, uma vez desvendados os mecanismos do desenvolvimento, muito seria esclarecido a respeito da evolução, principalmente no que dizia respeito às causas da variação, responsáveis por mover este processo.

Neste sentido, a pangênese foi, também, a inauguração da busca de um mecanismo do desenvolvimento capaz de fornecer uma orientação geral para estudos específicos sobre a evolução dos táxons. Mais do que uma teoria de herança, a pangênese era uma teoria do desenvolvimento. Como aponta Ghiselin (1975), “ela foi uma tentativa de lidar com esse aspecto de desenvolvimento da biologia, com suas implicações evolutivas, essa era a racionalização básica da pangênese⁸”.

⁸ Tradução livre da autora. Original: “It was an attempt to deal with this developmental aspect of biology, with its evolutionary implications, that was the basic rationale of pangenesis”.

Portanto, é possível identificar um último, e particularmente ambicioso, objetivo de Darwin com a publicação de sua teoria da pangênese. Ela parece ser, também, um projeto darwiniano de sintetizar o estudo do desenvolvimento com o estudo da evolução (Ghiselin, 1975). Era, no entanto, apenas uma “hipótese provisória”, Darwin não esperava que a pangênese respondesse a todos os problemas do desenvolvimento e se encaixasse perfeitamente com os estudos em evolução. Mas, provavelmente, acreditava que ela era um primeiro passo para o enquadramento das duas disciplinas numa só área de estudo.

4.2.1. Pangênese e genes

Apesar de se configurar em uma iniciativa notável, a pangênese darwiniana jamais teve chance, em seu tempo, de ser apreciada sob esta perspectiva. Em algumas décadas os trabalhos em evolução/desenvolvimento cairiam num abismo conjectural devido ao salto qualitativo⁹ que viria a ser estabelecido na área. Este se iniciava na virada do século XIX para o século XX, com a “redescoberta” do trabalho de Gregor Mendel com ervilhas de cheiro (1865) de modo independente pelos pesquisadores Carl Erich Correns (1864-1933), Erich von Tschermak (1871-1962) e Hugo de Vries (1848-1935).

Ao propor a herança particulada a partir de pares de fatores hereditários com segregação independente, Mendel produziu um mecanismo absolutamente heurístico para explicar a herança e que tinha como base a linguagem objetiva da matemática. Com a redescoberta do trabalho de Mendel era inaugurada, então, a disciplina da genética, que teve como um de seus principais continuadores o “grupo das drosófilas”, comandado por Thomas Morgan (1866-1945).

A ascensão da genética, no entanto, teve como consequência uma rediscussão dos trabalhos de Darwin. A evolução darwiniana entrava em contradição direta com a herança mendeliana, afinal, uma teoria se dedicava a explicar o fenômeno da mudança e

⁹ **Salto Qualitativo:** Numa lógica dialética, a ciência se desenvolve pela recorrente superação das contradições que se instalaram no seio da produção científica. A constante luta dos contrários é marcada pelo acúmulo quantitativo de pequenas mudanças que, eventualmente, promovem uma mudança qualitativa. Este salto qualitativo (a superação da contradição), na ciência, representa uma mudança no modo de enxergar o mundo. São criadas novas técnicas e nova linguagem para produção, comunicação e interpretação dos dados. É estabelecida, portanto, forte incomensurabilidade entre os períodos que procedem e antecedem um salto, de modo que aquilo antes considerado essencial perde lugar e sentido dentro da nova estrutura.

a outra, o fenômeno da estabilidade (Silva, 2001). Naquele momento, a teoria de Mendel parecia, para muitos, mais alinhada com a teoria evolutiva mutacionista de DeVries.

Porém, apesar da bem estabelecida contradição entre a evolução darwiniana e a herança mendeliana, havia aqueles, como Hermann Joseph Muller (1890-1967), aluno de Morgan, que acreditavam que tais teorias poderiam ser, de alguma forma, complementares e buscavam conectá-las (Silva, 2001). Foi, no entanto, apenas na década de 30 que a contradição entre o darwinismo e o mendelismo pode ser superada, o que se deu através dos trabalhos de Ronald Fisher (1890-1962), com seu livro *The genetical theory of natural selection* (1930), John Haldane (1892-1964), com o livro *The causes of evolution* (1932) e Sewall Wright (1889-1988), com seu artigo *Evolution in Mendelian Populations* publicado na revista *Genetics* (1931). Nascia, assim, a Teoria Sintética da Evolução (TSE), alinhando a perspectiva materialista da evolução darwiniana ao modelo matemático de herança mendeliano (Silva & Andrade, 2012).

Neste sentido, embora a teoria evolutiva de Darwin houvesse prevalecido, não havia mais lugar para a sua “Hipótese Provisória da Pangênese”. Os pares de fatores mendelianos, agora genes, explicavam a herança de maneira muito mais coerente que as gêmeas de Darwin. Mesmo que não houvesse evidência física para nenhum dos dois, experimentos matematicamente robustos corroboravam a existência de genes segregando independentemente através das gerações. As gêmeas, por sua vez, foram esquecidas envoltas no campo das especulações abstratas.

Somado a isso, os embriologistas desacreditavam cada vez mais que os trabalhos em evolução pudessem gerar frutos concretos (a teoria da recapitulação havia perdido relevância na comunidade científica e viria a ganhar um viés pseudocientífico) e passaram a perseguir uma abordagem mais experimental do estudo de embriologia, sem grande correlação com evolução, de modo que a disciplina recuperasse credibilidade (Gilbert *et al*, 1996). O estudo do desenvolvimento havia rompido com a evolução e, neste contexto, foi excluído da síntese evolutiva. O poder heurístico do modelo mendeliano de herança redefinía a evolução apenas como “mudança nas frequências

gênicas” (Dobzhansky, 1937) e a macroevolução passava a ser compreendida como o acúmulo do processo microevolutivo¹⁰.

4.2.2. Pangênese e Evo-Devo

A genética, no inicio do século XX, havia se tornado “a menina dos olhos” da teoria evolutiva. Havia, no entanto, um pequeno grupo inserido no núcleo de pesquisa que se desenvolvia em torno da teoria sintética que insistia na importância do acoplamento do desenvolvimento à revolucionária genética para o estudo da evolução. Entre eles estavam Ernst Hadorn (1902-1976) e Conrad Waddington (1905-1975) que exerceram papel coadjuvante nesta tendência. Hadorn trabalhou por muitos anos no efeito de mutações sobre o desenvolvimento de moscas do gênero *Drosophila*. Waddington também produziu diversos trabalhos em genética e desenvolvimento com o modelo de *Drosophila* e acreditava que essas duas áreas se uniriam, eventualmente, levando a formação de uma nova disciplina (Holliday, 2006). Em boa parte de sua carreira Waddington se empenhou em trabalhos teóricos e, hoje, ele é mais conhecido por suas noções de canalização – que se refere ao fato de que o desenvolvimento, geralmente, leva aos mesmos resultados independente de variações nos genes ou nas condições ambientais, consequência da seleção natural agindo de modo conservador – e plasticidade fenotípica – que diz respeito ao fato de que células geneticamente idênticas podem desenvolver estrutura e função completamente diferentes. Também é frequentemente lembrado por ter cunhado o termo *epigenética* para designar os eventos responsáveis pelo desdobramento do programa genético do desenvolvimento.

Apesar dos trabalhos destes e outros pesquisadores interessados na relação ontogenia-filogenia, seria apenas no final do século XX que o desenvolvimento começaria a voltar a interessar os evolucionistas. De acordo com Carroll (2008), a biologia evolutiva do desenvolvimento como disciplina (conhecida hoje como evo-devo) teve seu início com a evidenciação, durante a década de 80, de sequências *homeobox* em genes *Hox*, genes extremamente conservados e presentes em diferentes

¹⁰ **Microevolução X Macroevolução:** A microevolução pode ser entendida como o conjunto de processos evolutivos observáveis em nível de espécie. Diz respeito, portanto, às mudanças de frequências gênicas numa população. Já a macroevolução diz respeito à mudança evolutiva em grande escala, responsável por explicar a origem dos táxons. Eventos macroevolutivos ocorrem na faixa dos milhões de anos e são, geralmente, estudados através do registro fóssil.

classes de animais exercendo papel crucial na ontogenia. Outros autores defendem que a inauguração da evo-devo estaria relacionada com o livro *Ontogeny and Phylogeny* de Stephen Jay Gould (1977) reinstituindo, a partir das novas técnicas da biologia molecular, a importância da heterocronia – mudança no momento do início do desenvolvimento de uma determinada estrutura – como um mecanismo de produção de mudança para o processo evolutivo (ideia originalmente proposta por Heackel no século XIX e discutida, também, na pangênese darwiniana). Para Hall (2003), a verdadeira origem da evo-devo remete ao século XIX, com a publicação da *Origem das Espécies* de Darwin. Este teria sido um marco para o início da tradição do estudo de evolução através da embriologia comparativa que, associada às inovações da biologia molecular no final do século XX, definiu o início da produção da evo-devo como disciplina.

Hoje, as linhas de pesquisa enquadradas na evo-devo são inúmeras, mas todas elas se propõe, de maneira geral, a compreender os mecanismos do desenvolvimento que geram variação fenotípica e tem influência determinante na evolução da forma (Hall, 2003). Questões como “Como se originou o desenvolvimento?”, “Como evoluiu o repertório de desenvolvimento?”, “Como processos do desenvolvimento estabelecidos são modificados evolutivamente?”, “Qual a contribuição do desenvolvimento para a geração de novidades fenotípicas?”, “Como o meio ambiente interage com o fenótipo?” são algumas das perguntas que envolvem a pesquisa dentro da evo-devo atualmente (Müller, 2008).

Com o *boom* da evo-devo no século XXI, se iniciou uma discussão polêmica a respeito da possibilidade de uma nova síntese evolutiva que englobasse novos mecanismos evolutivos trazidos pelas pesquisas nesta área. Alguns autores acreditam que as novidades trazidas pela evo-devo não tem aspecto revolucionário e podem ser enquadradas na síntese moderna (Sandvik, 2000; Richardson, 2003). Outros defendem que a volta do desenvolvimento para o estudo da evolução respaldado pela biologia molecular vem demonstrando que os mecanismos evolutivos propostos pela genética de populações, base da TSE, não são capazes de explicar o processo evolutivo em larga-escala, mas apenas em nível populacional ou de espécies. Acreditam que uma síntese estendida está em emergência (Carroll, 2000; Raff, 2000; Pigliucci, 2007; Carroll, 2008).

Esta discussão parece estar apenas no começo, mas independente disso, o fato é que, indiscutivelmente, o desenvolvimento readquire, em pleno século XXI, grande relevância nos estudos em evolução. Com auxílio da biologia molecular, esses trabalhos confrontaram os evolucionistas com novos dados no campo da genética, principalmente no que diz respeito à evolução da forma, que só podem ser plenamente apreciados se analisados sob a perspectiva do desenvolvimento dos organismos.

Como tantos defenderam durante o século XIX, e aqui se destaca o nome de Darwin, é restabelecido que a evolução não pode ser plenamente compreendida sem o estudo do desenvolvimento. É inevitável, neste momento, questionar uma ideia quase que estabelecida nos estudos teóricos de caráter histórico e/ou filosófico a respeito de Darwin, evolução, herança e genética, ou seja, a ideia de que a teoria da pangênese darwiniana representa apenas um fracasso de Darwin.

Para muitos o papel da pangênese na história da ciência não pode ir além da desconstrução da imagem do cientista como “gênio”, uma vez que sujeito a graves erros de julgamento e interpretação dos fenômenos naturais. Embora este tipo de análise seja extremamente importante (Allchin, 2003), o papel da pangênese na história da ciência merece ser reavaliado.

Mesmo sem conhecimento dos pares de fatores mendelianos, Darwin elaborou uma teoria coerente para herança inteiramente baseada no pressuposto de que o desenvolvimento era fundamental para compreensão do processo evolutivo. Muito antes da biologia molecular, Darwin chegou à mesma conclusão a que os teóricos da evo-devo chegam hoje. Assim, a teoria da pangênese representa um exemplo de como a ciência funciona submetida ao conhecimento e às técnicas disponíveis e aos interesses da sociedade em que se desenvolve. A ciência, como atividade humana, é, portanto, incapaz de produzir certezas atemporais.

4.3.Uma Teoria (Não) Lamarckista

A teoria da pangênese foi elaborada a partir de uma perspectiva do desenvolvimento e baseada em três pilares (correlação intrínseca dos diferentes tipos de reprodução, a reversão e a herança de caracteres adquiridos-HCA). Dentre estes pilares, a HCA é que tem inspirado a maior parte das leituras históricas modernas sobre a pangênese darwiniana, provavelmente, devido a uma influência da hegemonia da perspectiva genocêntrica da moderna genética. A HCA diz respeito à herança de qualquer modificação no corpo de um indivíduo provocada, necessariamente, por influências externas que tenha ocorrido ao longo da sua vida.

4.3.1. Herança dos caracteres adquiridos

O conceito de herança de caracteres adquiridos é associado hoje, quase que universalmente, ao nome de Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829), responsável pela elaboração do primeiro sistema teórico completo em defesa do processo de transmutação das espécies. No entanto, a herança do adquirido era utilizada para explicar a semelhança de descendentes com seus parentais desde a Grécia antiga (Zirkle, 1946). Mais do que isso, a HCA era, tanto no século XVIII, quando Lamarck elaborou sua teoria evolutiva, quanto no século XIX, quando Darwin elaborou sua teoria de herança, uma ideia aceita quase como senso-comum. Lamarck não fez mais do que incluí-la junto à lei do “uso e desuso” (também já aceita em sua época) como pressupostos fundamentais de sua teoria. As grandes novidades do seu sistema estavam nas duas primeiras leis – “tendência para o aumento da complexidade” e “surgingimento de órgãos em função de necessidades que se fazem sentir e se mantém” – nas quais propunha um processo pelo qual as espécies sofreriam mudanças ao longo do tempo, em contraposição ao paradigma¹¹ fixista¹² predominante na época (Rodrigues & Silva, 2011).

¹¹ **Paradigma:** Um paradigma é uma teoria geral pela qual, em detrimento de outras, vemos e interpretamos os dados da realidade (uma forma de “viseira conceitual”). Ou seja, diferentes paradigmas trazem consigo uma linguagem com a qual descrevemos os dados e a forma como fazemos nossas observações e organizamos nossos experimentos. O termo foi definido desta forma por Thomas Samuel Kuhn (1922-1996), um físico estadunidense conhecido pelo seu trabalho com a história e filosofia da ciência. Seu livro mais conhecido é “A Estrutura das Revoluções Científicas”, publicado em 1962.

Apesar disso, muitos autores afirmam que a teoria da pangênese de Darwin não passa de uma reapresentação das “leis lamarckistas” do uso e desuso e da herança de caracteres adquiridos. Considerando que essas duas leis não eram novidades da teoria de Lamarck [ambas já haviam sido, inclusive, associadas à transmutação das espécies por Erasmus Darwin (1731-1802) (Zirkle, 1946)] e não traziam nenhuma nova perspectiva ao conceito em relação ao que já se discutia no meio científico, essa visão se mostra equivocada. Principalmente porque Darwin foi muito além de Lamarck – e, consequentemente, de todo o consenso a respeito de herança de sua época – em sua defesa da HCA na “Hipótese Provisória da Pangênese”. Ele ofereceu um mecanismo fisiológico para o fenômeno e, consequentemente, a possibilidade de seu estudo sistemático. Este fato não é de se estranhar, uma vez que a teoria de Lamarck era, fundamentalmente, uma teoria sobre a evolução e, a pangênese darwiniana era, fundamentalmente, uma teoria a respeito de herança e desenvolvimento.

A noção de herança do adquirido começou a perder força apenas no final do século XIX, com a publicação do livro de August Weismann (1834-1914) *A Teoria do Plasma Germinativo* (*The Germ-Plasm Theory*; 1893). Neste o autor enunciou sua famosa “teoria da continuidade do plasma germinativo” na qual propõe a existência de uma separação entre o soma (células que compõe o corpo) e o germe (células reprodutivas), conhecida como barreira de Weismann. Esta teoria foi um marco no século XIX, definindo que apenas a informação presente no plasma germinativo poderia ser herdada. Em pouco tempo a teoria de Weismann seria testada e conquistaria larga aceitação na comunidade científica.

Posteriormente, logo no início do século XX, seria inaugurada a genética moderna com a redescoberta dos trabalhos de Mendel. A herança genética somada, então, à separação entre células somáticas e células germinativas culminou no total descrédito da HCA. Desta forma, no século XX, o modelo mendeliano de herança e a

¹² **Paradigma Fixista:** O paradigma fixista é o conjunto de ideias que assume que todos os seres vivos pertencem a grupos fixos, os quais foram criados por um ou mais deuses e por ele(s) ordenado em uma escala hierárquica imóvel, na qual a espécie humana representa seu ponto mais elevado. Esse paradigma engloba o pensamento de Platão (428/427-348/347 a.C.), Aristóteles (384-322 a.C) e a Bíblia (1500-450 a.C., livros do Antigo Testamento e 45-90 d.C., livros do Novo Testamento). Tal conjunto de ideias é parte fundamental da nossa cultura, a cultura ocidental, e é fortemente marcado pela noção de perfeição. Vem daí a crença de que a Natureza é uma total harmonia, de que todos os seres vivos foram desenhados, de que todos os órgãos e sistemas funcionam da melhor maneira possível etc.

TSE promovem a superação categórica dos dois grandes eixos da teoria da pangênese darwiniana: a HCA e o desenvolvimento.

Há menos de cinco décadas atrás, qualquer trabalho que trouxesse alguma discussão a respeito da herança de caracteres adquiridos, só poderia estar reforçando sua incompatibilidade com a genética mendeliana. Contudo, a revolução molecular na biologia que se iniciou ao final de século XX trouxe, em pouco tempo, evidências de que os mecanismos de expressão gênica e herança são muito mais complexos do que se imaginava (Solha & Silva, 2004). E, neste contexto, percebeu-se que fatores externos (ambientais) provavelmente exercem muito mais influência sobre o desenvolvimento dos seres vivos do que o assumido até então.

4.3.2. Pangênese e epigenética

A renovação da biologia do desenvolvimento (antes sinônimo de embriologia, agora o estudo de todos os aspectos do desenvolvimento tanto numa perspectiva genética quanto epigenética) a partir do final do século XX abriu espaço para o desenvolvimento de diversas linhas de pesquisa que se haviam mantido marginais desde a elaboração da teoria sintética. Uma das disciplinas instituídas neste processo seria a evo-devo, como já visto, e tangenciando-a, a epigenética.

Desde a sua proposição por Waddington (1942), o termo epigenética foi utilizado em diferentes sentidos, sendo difícil a obtenção de uma definição geral. Inicialmente, a epigenética se relacionava ao interesse de pesquisadores nas áreas de genética e biologia do desenvolvimento nos fatores responsáveis por promover a diferenciação celular a partir de um único genótipo. As explicações dos padrões de herança observados eram buscadas a nível mitótico, ou seja, como informações epigenéticas eram passadas da célula-mãe para as células-filhas. A associação destes estudos com o termo epigenética, no entanto, ainda era rara (Holliday, 2005).

Posteriormente, a epigenética adquiriu uma definição mais elaborada e passou a disputar espaço com a genética do desenvolvimento, dentro da grande biologia do desenvolvimento, no sentido de que, como marcaram Jablonka e Lamb (2002), a genética do desenvolvimento estava preocupada com o acoplamento da variação genotípica à variação fenotípica, enquanto a epigenética estava preocupada com o desacoplamento, seja quando a variação no genótipo não produzia nenhuma variação

sobre o fenótipo, ou quando a variação do fenótipo não poderia ser explicada por uma variação no genótipo. Hoje, os estudos voltados para o desenvolvimento envolvendo expressão gênica já pressupõe a existência de redes complexas de interação entre genes e fatores epigenéticos dando origem às variações fenotípicas, superando a contradição ingênuas entre as perspectivas genética e epigenética do desenvolvimento.

Com a popularização da biologia do desenvolvimento e sua estirpe evolutiva, a evo-devo, começou a surgir uma diversidade de trabalhos voltados para uma perspectiva mais epigenética de produção e análise de dados moleculares. Metilação de DNA, configurações cromossômicas, interferência de RNA e alguns padrões de sinalização celular vêm sendo os principais mecanismos epigenéticos estudados para explicar os fenômenos epigenéticos tais quais diferenciação e herança somática, herança meiótica, imprinting etc. (Jablonka & Lamb, 2010a; Holliday, 2005).

Atualmente, o campo de estudo da epigenética se encontra razoavelmente estabelecido, mas a palavra é, ainda hoje, utilizada em sentidos diversos, bem diferentes daquele cunhado por Waddington. Dentro todas as novidades evidenciadas pela epigenética, uma tornou-se particularmente popular e controversa: o fenômeno da herança epigenética (ou herança meiótica ou, ainda, herança epigenética transgeracional). Sendo os sistemas de herança celular a base de estudo da epigenética, a herança epigenética é, justamente, o fenômeno de herança de marcações epigenéticas, não somente no nível do desenvolvimento (nível celular, mitótico), mas através de gerações. Nem toda a variação epigenética é herdada e, muitas vezes, quando herdadas, se mantém por poucas gerações. Porém, já foram evidenciados casos de herança epigenética estável por dezenas de gerações, o que promove hoje intensa discussão a respeito da influência que este fenômeno pode ter sobre o processo evolutivo (Jablonka & Lamb, 2010b).

Curiosamente, herança epigenética é, hoje, para muitos, sinônimo de epigenética e isso se deve a grande difusão deste tema frente a sua constante e polêmica associação ao nome de Lamarck (Burggren, 2014; Haig, 2007; Sano, 2002). Jablonka e Lamb (1995) denominaram a herança epigenética como a “dimensão lamarckiana da evolução”. No entanto, quando se referem à epigenética como neo-lamarckista, não poderiam está-la associando às leis da “tendência para o aumento da complexidade” e do “surgimento de órgãos em função de necessidades que se fazem sentir e se mantém”

– as verdadeiras novidades da teoria de Lamarck. Estas leis se contrapõem veementemente ao processo evolutivo como o entendemos hoje (na perspectiva darwiniana), onde não há lugar para a ideia de progresso.

De acordo com a teoria de Lamarck as variações novas – mudanças que ocorriam nos indivíduos ao longo de suas vidas – surgiam com função determinada, como uma resposta a uma necessidade do organismo. Seriam, portanto, necessariamente úteis à sobrevivência dos organismos e manutenção da espécie. Tendo em vista que as variações têm como origem primária mutações genéticas ou epigenéticas e que, em última instância, essas mutações são cegas, aleatórias, a mudança específica que ocorrerá através de uma mutação não pode sequer ser deduzida previamente, muito menos atender a qualquer “necessidade” do organismo. Neste sentido, a teoria evolutiva de Lamarck não só nada tem a ver com a epigenética, como contradiz em mais de um aspecto a concepção de evolução que contorna todos os campos de estudo atuais dentro das ciências biológicas, incluindo, portanto, a epigenética.

De fato, não é a concepção de mudanças evolutivas como respostas a necessidades específicas que representa a associação da epigenética à teoria lamarckista feita pelos teóricos da área. O objetivo da comparação é fazer referência à lei da HCA, pois, uma vez que variações epigenéticas podem surgir por estímulo externo, ambiental, a herança epigenética pressupõe a possibilidade de herança transgeracional estável de mudanças provocadas pelo estilo de vida do indivíduo (mesmo que sem alteração da sequência de DNA).

Neste sentido, a epigenética parece ter muito mais em comum com a teoria da pangênese darwiniana do que com a teoria de Lamarck. Partindo do fato de que a teoria de Lamarck é, fundamentalmente, uma teoria evolutiva, enquanto que a teoria da pangênese é uma teoria de herança, e/ou variação, e/ou desenvolvimento, é possível afirmar que existe uma maior afinidade da moderna epigenética com a “Hipótese Provisória da Pangênese” de Darwin. Mais do que isso, ao contrário da teoria de Lamarck, a pangênese, uma vez alinhada à teoria evolutiva darwiniana, não pressupõe a noção de melhora.

Ainda permanece, no entanto, o incômodo de que a HCA do século XIX entra em contradição direta com a noção de continuidade do plasma germinativo, bem estabelecida até hoje. Porém, uma análise mais cuidadosa da teoria da pangênese neste

aspecto, revela que a contradição só se aplica a uma visão ingênuas da HCA (herança soma-soma), como a reproduzida por Lamarck. Darwin, corroborando a HCA, propôs um mecanismo de desenvolvimento em que as variações adquiridas ao longo da vida fossem incorporadas à linhagem germinativa e, somente deste modo, seriam herdadas através das gerações (Griesemer, 1998; Figura 1). Embora o mecanismo em si seja falho (o que, de novo, não surpreende considerando as ferramentas de estudo disponíveis na época), a proposta é, em muitos níveis, afinada ao que se entende hoje por herança epigenética.

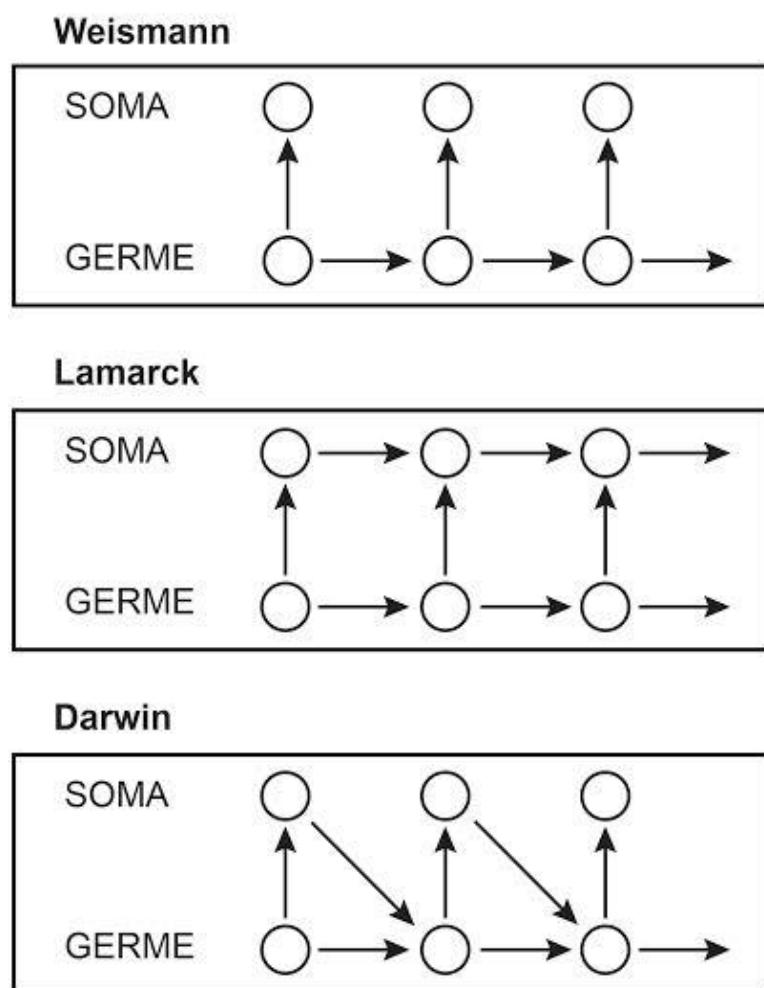


Figura 1 – Esquema idealístico das concepções de herança presentes na teoria da continuidade do plasma germinativo, de Weismann, na teoria evolutiva de Lamarck e na teoria da pangênese, de Darwin, interpretadas sob a perspectiva das noções de “germe” e “soma” sobre a qual os estudos atuais de herança e desenvolvimento estão estabelecidos (mas que não compuseram, de fato, nem a teoria lamarckista, nem a darwinista). Adaptado de Griesemer (1998, p.105).

Embora Lamarck tenha exercido papel importante em sua época com sua teoria evolutiva, rejeitando o fixismo e abrindo mão de causas sobrenaturais para explicar a biodiversidade, sua fama ficou restrita àquilo com que ele menos se preocupou – a herança. Quando comparadas as qualidades da herança por Lamarck e da herança por Darwin, a associação entre epigenética e Lamarckismo parece um mero artifício de *marketing* frente a maior afinidade que existe entre esta e a teoria da pangênese. Nas palavras de Griesemer (1998, p. 106) em sua revisão de Jablonka e Lamb (1995): “Eu apenas gostaria que elas houvessem alegado em seu subtítulo que a herança epigenética é a “dimensão pangenética” ao invés da dimensão lamarckiana¹³”. Aqui, mais uma vez, o rótulo de fracasso da teoria darwiniana de herança parece não ser justo.

¹³ Tradução livre da autora. Original: “I only wish they had claimed in their subtitle that epigenetic inheritance is ‘the pangenetic dimension’ rather than the Lamarckian dimension.”

4.4. Considerações Finais

O objetivo explícito deste trabalho foi elaborar a defesa de um argumento particular: a teoria da pangênese darwiniana não deveria ser relegada apenas ao lixo da história da ciência. Apropriando-se, em parte, da metodologia da história das ideias (Barros, 2007), buscou-se contextualizar o ambiente histórico em que Darwin desenvolveu sua hipótese provisória e os motivos que o teriam levado a escrevê-la e publicá-la. Afinal, “compreender a instrução do momento é tão importante quanto expor as razões da destruição na sequência” (Canguilhem, 2012, p. 7). Neste sentido, a teoria darwiniana demonstra absoluta coerência com seu tempo, fato que a primeira vista já invalida qualquer discurso de desvalorização das ideias de herança de Darwin. Em tempo, mesmo que seus resultados com cruzamento de variedades de boca-de-leão (*Antirrhinum majus*) apresentassem valores equivalentes às razões mendelianas de herança (Jablonka & Lamb, 2010b) e que ele houvesse tido contato com o trabalho de Mendel e/ou com os mesmos autores lidos por Mendel (Bizzo, 2002), Darwin, provavelmente, pouco assumiria, uma vez que estava em um ambiente científico francamente favorável à ideia de “herança dos caracteres adquiridos” e nesta havia baseado décadas de trabalho em herança. Como bem pontuou Bizzo (2002), “ao observar a natureza, e mesmo ao ler um livro, é impossível que o cientista deixe de projetar suas convicções e interesses”.

No intuito de reabrir a discussão da relevância histórica da teoria da pangênese utilizou-se como segunda ferramenta uma análise do que se assume hoje, no século XXI, por desenvolvimento e herança (dois temas centrais da teoria da pangênese), tendo como foco a evo-devo e a epigenética. Não se pretendeu, contudo, colocar a pangênese numa posição de precursor da evo-devo ou da epigenética. A busca por precursores incorre no risco de cometer erros de anacronismos na interpretação da história de uma ideia ou conceito (Martins, 2005). Fatores históricos críticos, como o advento da biologia molecular, separam a pangênese da evo-devo e da epigenética por um grande salto qualitativo na biologia. Menos na história da ciência e mais na epistemologia, a intenção foi explicitar o paralelismo que se apresenta entre a teoria da pangênese, foco do trabalho, e os lugares do desenvolvimento e da herança dos caracteres adquiridos dentro da biologia hoje (especialmente pelo fato de que estes dois foram fatores cruciais

para o fracasso da teoria darwiniana em sua época). Neste sentido, este trabalho é, acima de tudo, uma discussão sobre a natureza e a lógica da ciência.

Também não se defende aqui que se volte a utilizar a pangênese para explicar a herança ou, ainda, que se volte a procurar gêmulas nos fluidos corporais de organismos multicelulares. Desde o início da genética moderna, novos conhecimentos surgiram e as técnicas e a linguagem dos estudos em herança e evolução sofreram mudanças dramáticas. Portanto, o resgate ingênuo de velhas ideias não faz sentido. Porém, reconstruindo historicamente o desenvolvimento das ideias de herança (mesmo que apenas parcialmente), percebe-se que hipóteses e teorias antes ignoradas podem ser ressignificadas à luz dos conhecimentos atuais. Percebe-se que teorias como a pangênese darwiniana, uma vez bem adequadas ao seu tempo, não podem, nem devem, ser menosprezadas por sua incongruência com conhecimentos subsequentes, principalmente quando muito do seu foco ressurge nas mais recentes produções da área.

Como frisou Ghiselin (1975), a teoria da pangênese de Darwin apresentava apenas um grande problema: respondia uma questão do século XVIII – qual a explicação para a semelhança entre descendentes e parentais, atavismo, aberrações? – com o conhecimento do século XIX – evidências empíricas provindas da literatura e do questionário com criadores de gado – quando a resposta estava no século XX – biologia molecular! Hoje, no século XXI, é possível concluir que Darwin estava certo mesmo quando errado, um feito (involuntário) digno de sua genialidade.

5. CAPÍTULO 2

**SEGUNDO ARGUMENTO: UMA BREVE DISCUSSÃO EM
ENSINO**

5.1. Pangênese e Desenvolvimento em Sala de Aula

Adaptação do artigo “A HIPÓTESE DARWINIANA DA PANGÊNESE”, publicado na revista *Genética na Escola*, v. 10, n. 2, pp. 102-109, em setembro de 2015.

A “Hipótese Provisória da Pangênese” de Darwin apresenta diversas incoerências com nosso conhecimento atual de genética e, portanto, não é aceita hoje. Quanto a isso não há discussão, a hipótese da pangênese não é relevante no que diz respeito ao conhecimento atual sobre a fisiologia dos mecanismos hereditários. Contudo, ela pode ser relevante num sentido histórico, como discutido, e, também, num sentido pedagógico.

5.1.1. Um pouco mais da “hipótese provisória”

Embora *A Origem das Espécies* seja, comumente, a única obra de Darwin citada em salas de aula, ele é reconhecido, também, por sua vasta produção em diversas áreas tais como geologia, zoologia e botânica. *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* (1868) é um de seus trabalhos pouco mencionados nos livros texto (Figura 2). Além da problemática da herança a que Darwin se dedica especialmente no último capítulo, neste livro ele também trata de questões como ‘variedades domésticas produzidas pelo homem através de seleção artificial’, ‘o tempo para domesticação e seleção de variedades de interesse’ e ‘porque há mais variação no estado doméstico do que no estado selvagem’.

Como dito anteriormente, a primeira versão da hipótese da pangênese foi escrita mais de vinte anos antes da sua publicação n’*A Variação*. Em 1868, Darwin a publicou na forma de uma “Hipótese Provisória”, ou seja, uma teoria não definitiva, mas que ele considerava muito provável, assim como aconselhado por Huxley.

“Alguém mexendo nos seus papéis daqui a meio século vai encontrar a Pangênese e dizer “Olhe esta maravilhosa antecipação de nossas teorias modernas e aquele idiota estúpido, Huxley, impediu que ele a publicasse”. [...] Tudo que eu vou dizer é: publique suas ideias, não tanto na forma de conclusões definitivas, mas como desenvolvimentos

hipotéticos das únicas pistas que temos no momento¹⁴” (Huxley, 1865).

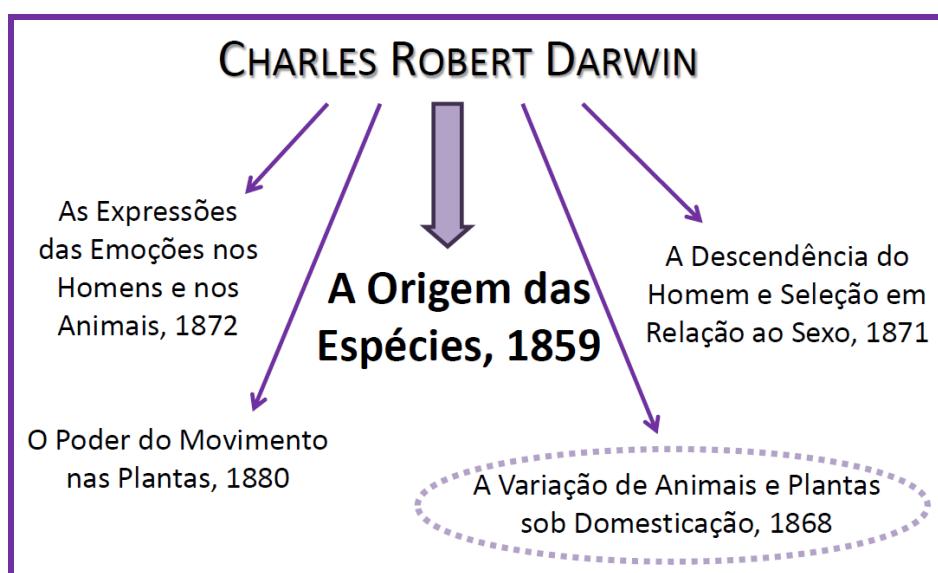


Figura 2 – Darwin produziu muitas obras importantes ao longo de sua vida. Além do livro em que publicou sua teoria evolutiva (*A Origem das Espécies*), destaca-se o livro *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* em que publicou sua hipótese de herança, a “Hipótese Provisória da Pangênese”.

Dentre os fenômenos que Darwin buscou explicar na pangênese estavam:

(1) A semelhança de descendentes e parentais: durante a fertilização, o conjunto de gêmeulas de cada progenitor se associaria de modo a iniciar a formação de um novo indivíduo, o qual expressaria características de ambos os pais (Figura 3).

(2) Reversão ou atavismo: as gêmeulas poderiam eventualmente entrar em estado dormente sendo, então, repassadas por diversas gerações sem se manifestar até que, em dada geração, as características codificadas numa gêmeula dormente, voltassem a ser expressas.

(3) HCA: As gêmeulas seriam continuamente produzidas pelo organismo ao longo de toda a vida do indivíduo, portanto, gêmeulas de todas as épocas do desenvolvimento seriam armazenadas nos órgãos reprodutivos. Deste modo, as mudanças que ocorressem no corpo de um indivíduo ao longo de sua vida também

¹⁴ Tradução livre da autora. Original: “Somebody rummaging among your papers half a century hence will find pangenesis and say ‘See this wonderful anticipation of our modern theories – and that stupid ass, Huxley, prevented his publishing them’. [...] All I say is publish your views — not so much in the shape of formed conclusions — as of hypothetical developments of the only clue at present accessible”.

passariam a ser codificadas em parte de suas gêmeulas (somente naquelas produzidas após a mudança ter acontecido), podendo, portanto, ser passadas aos seus descendentes.

(4) Desenvolvimento de determinada característica na mesma idade em descendentes e parentais: além dos caracteres, o momento em que uma gêmeula passaria a ser expressa estava, também, codificado nela. Isto se deve ao fato de que uma determinada gêmeula somente se desenvolve por completo (se torna uma célula diferenciada) após receber estímulo de células já diferenciadas que lhe precedem no desenvolvimento do organismo.

(5) Aberrações do desenvolvimento: ainda na formação do embrião, as diferentes gêmeulas se associavam em grupos de modo a formar cada estrutura num tempo e local apropriado. Assim, a pangênese era, também, capaz de explicar a manifestação de diversas anormalidades pela ocorrência de erros nessas associações, que provocavam a expressão de características em locais do corpo, ou épocas do desenvolvimento, inadequados.

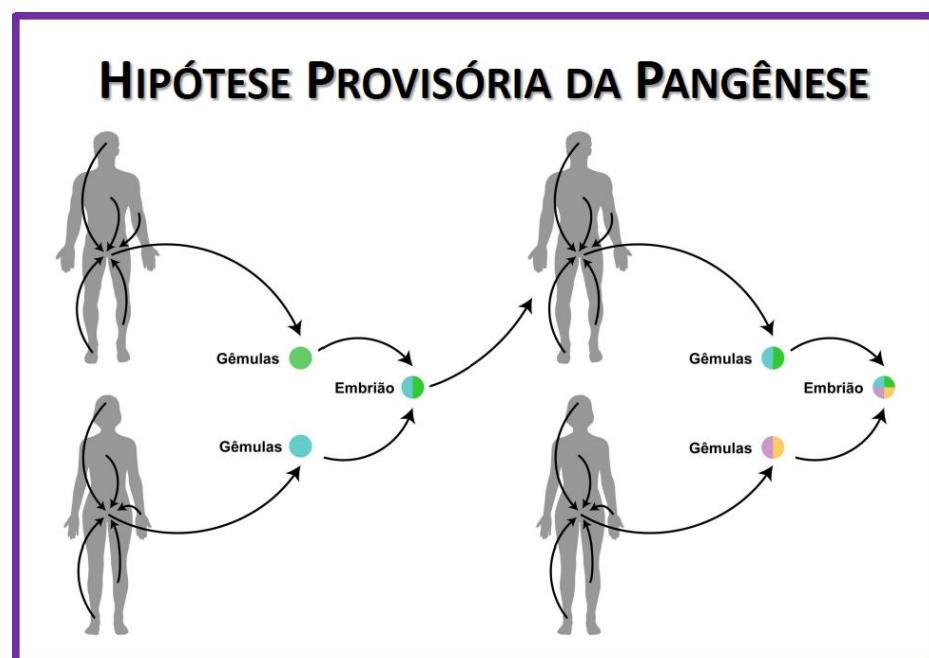


Figura 3 – Esquema representando o processo de geração de novos indivíduos, por reprodução sexuada, de acordo com a hipótese da pangênese darwiniana. O embrião seria o conjunto de unidades – células, ou apenas gêmeulas, parcialmente desenvolvidas – liberadas pelo corpo do parental ao longo de todo o seu desenvolvimento.

Todas essas, e outras questões que Darwin se propôs a responder com a hipótese da pangênese estavam até então sem uma resolução e eram motivo de debate entre os

estudiosos da época. Com a pangênese, além de uma só resposta para todas estas perguntas, Darwin forneceu uma explicação para a origem e natureza da variação.

5.1.2. As teorias de Darwin e Lamarck

A diferença entre as teorias evolutivas de Lamarck e Darwin é apresentada em sala de aula, muitas vezes, como sendo fundada na discordância entre eles em relação às leis de ‘uso e desuso’ e ‘herança dos caracteres adquiridos’. Contudo, tendo em vista a clara defesa darwiniana de ambas estas leis em sua teoria da pangênese, fica claro que, no que diz respeito ao mecanismo de produção de variação nova e ao modo como ela é repassada aos descendentes, Darwin e Lamarck tinham algumas ideias muito semelhantes. O que não é de se estranhar, afinal eram concepções amplamente aceitas nos séculos XVIII e XIX (Rodrigues & Silva, 2011).

Portanto, a real discordância entre as teorias dos dois naturalistas diz respeito ao entendimento do processo evolutivo. Para Lamarck, o processo evolutivo se definia como uma tendência natural ao aumento de complexidade dos seres vivos, o que era explicitado nas duas leis que representavam as verdadeiras novidades do seu sistema teórico – “tendência para o aumento da complexidade” (1^a lei) e “surgimento de órgãos em função de necessidades que se fazem sentir e se mantém” (2^a lei). Darwin, por outro lado, não via tendência alguma na evolução que não fosse aquela da transformação da variação intrapopulacional em variação interpopulacional por força da seleção natural. E ainda rompia abertamente com o paradigma fixista e a ideia de perfeição ao apresentar a variação numa perspectiva materialista.

Portanto, na teoria evolutiva darwiniana não havia mais espaço para a ideia de aumento da complexidade dos seres vivos. A evolução acontecia sem propósito e não estava mais associada ao progresso, visto que os conceitos de melhora e complexidade se tornam relativos a determinado tempo, espaço e outro indivíduo (ou espécie) usados como referência. Evolução, segundo a concepção darwinista, se definia por mudança e ramificação. Embora, atualmente, não se aceite a explicação de Darwin para hereditariedade, sua teoria evolutiva é um marco na história do estudo da evolução.

Uma vez que o professor esteja apropriadamente informado sobre o conteúdo da teoria da pangênese, assim como das teorias evolutivas de Darwin e de Lamarck, a abordagem da pangênese em sala de aula tem o potencial de reconstruir a relação entre

Darwin e Lamarck que hoje é frequentemente passada de maneira equivocada aos alunos. Uma introdução das teorias evolutivas associando-as à pangênese permite esclarecer quais são as verdadeiras semelhanças e diferenças entre as ideias de Darwin e Lamarck (Figura 4), ao evidenciar inicialmente que um dos principais tipos de herança que Darwin queria explicar era a herança de caracteres adquiridos, noção defendida também por Lamarck. Se tornando possível, depois, explicar que a discordância entre ambos dizia respeito ao processo evolutivo, de fato, e não à herança, enfatizando que estes conceitos são tão diferentes quanto complementares.

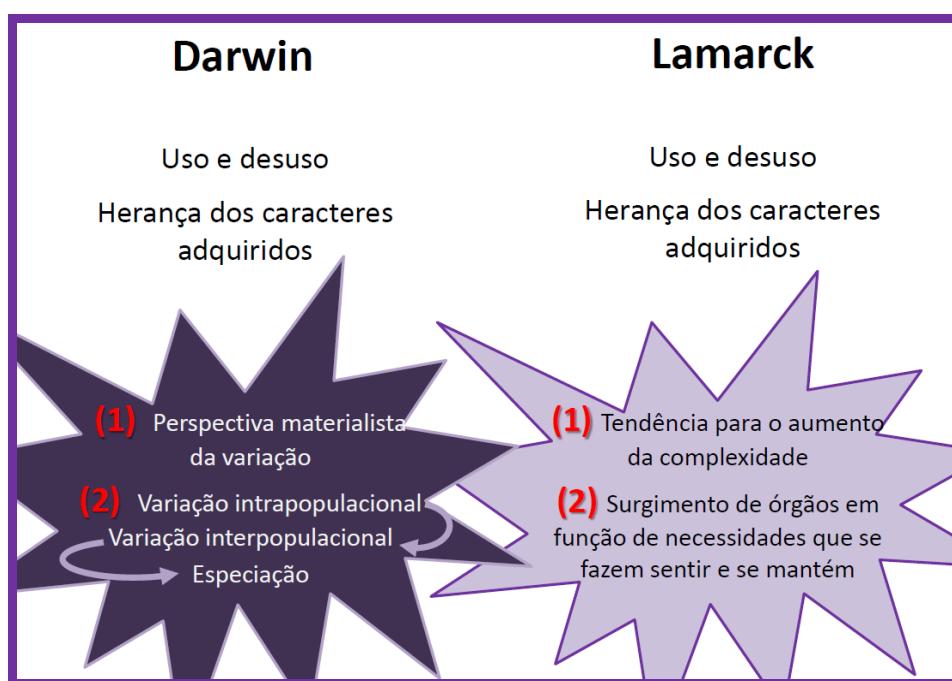


Figura 4 – Esquema representando as concordâncias entre as ideias de Darwin e Lamarck, que diziam respeito à origem da variação e ao modo como ela era herdada, assim como as contradições entre as teorias evolutivas de ambos os naturalistas.

5.1.3. História e Novidade no Ensino de Biologia

Mesmo em sua época, a “Hipótese Provisória da Pangênese” de Darwin não obteve o mesmo êxito de sua teoria evolutiva. A aceitação da pangênese pela comunidade científica da época não foi unânime, mas apesar das críticas recebidas, Darwin se manteve sempre convicto em relação à sua plausibilidade. Depois da publicação da teoria da continuidade do plasma germinativo no final do século XIX e da ascensão da genética no início do século XX, a pangênese foi definitivamente

desacreditada e passou a ser considerada como um dos grandes equívocos de Darwin, sendo, ainda hoje, historicamente menosprezada e esquecida.

Contudo, na época em que foi desenvolvida, a hipótese da pangênese representava uma boa resposta para as perguntas a que se propôs responder (qual o mecanismo para os efeitos do uso e desuso e para herança do adquirido, como se dá o atavismo, qual a origem das anormalidades etc.). Ela não foi, simplesmente, uma repetição do senso comum da comunidade científica a respeito da hereditariedade naquele tempo. Os mecanismos de herança apresentados por Darwin eram mais sofisticados. Eles compunham uma hipótese heurística que poderia ser adotada como diretriz, mesmo que provisória, para o estudo da hereditariedade. Serviu, por exemplo, para determinar experimentos realizados por Francis Galton (1822-1911), primo de Darwin. Os experimentos de Galton envolviam a transfusão sanguínea em coelhos para testar a circulação das gêmeas na corrente sanguínea (Stanford, 2006). As explicações de Darwin para o problema da hereditariedade estavam, sem dúvida, de acordo com seu tempo.

Mais do que isso, a hipótese da pangênese como um projeto para a unificação do estudo da evolução com o estudo da embriologia demonstra, também, o reconhecimento, por parte de Darwin, de que os estudos embriológicos poderiam trazer esclarecimento sobre o processo evolutivo, no sentido de que a variação presente no mundo natural poderia ser mais bem compreendida através do estudo da morfogênese.

“É seguro dizer que ela (a hipótese da pangênese) não estava errada no sentido de ser falsa, pois não estava tão distante do que nós consideramos verdade. A ideia de que a evolução envolve mudanças nos mecanismos de desenvolvimento é um fato, sua utilidade somente os imprudentes e desinformados poderiam negar.¹⁵” (Ghiselin, 1975, p. 55).

Com o uso da história da ciência, é possível rediscutir o lugar da hipótese da pangênese na história da biologia do desenvolvimento, da genética e da biologia evolutiva. Afinal, era uma hipótese que, além de responder elegantemente às mais

¹⁵ Tradução livre da autora. Original: “It is safe to say that it, was not wrong in the sense of being false, for it wasn't all that far from what we consider as true. The idea that evolution involves changes in developmental mechanisms is an enduring truth, the utility of which only the rash and uninformed would deny”.

diversas questões em herança da época e cumprir seu papel de definir a origem e natureza da variação e como ela seria herdada, apresentava um grande poder heurístico. Hoje, levando em consideração a atual emergência da evo-devo, é possível dizer que a pangênese foi, e continua sendo, historicamente injustiçada ao ser apresentada, apenas, como o “erro de Darwin”.

Este argumento, já desenvolvido anteriormente, é trazido de volta, porque acredita-se que a discussão da hipótese da pangênese de Darwin em sala de aula pode proporcionar aos alunos, de maneira didática, esclarecimentos sobre o empreendimento científico. Apropriando-se da história da ciência é possível iniciar na escola um debate a respeito da maneira como a ciência, tão idealizada pela mídia, funciona. Com o exemplo da pangênese pode-se mostrar que algumas ideias não aceitas atualmente foram consideradas plausíveis em períodos históricos anteriores e que, do modo geral, as explicações dependem do conhecimento que se tem na época. E, mais do que isso, mostrar que noções tidas a pouco como incorretas ou irrelevantes, podem ressurgir associadas a novas técnicas de estudo, como acontece hoje na evo-devo, pós-revolução molecular, com o “renascimento” do desenvolvimento como fator de importância dentro da biologia evolutiva.

5.2. Pangênese e (mais) HCA em Sala de Aula

Adaptação do artigo “A PANGÊNESE DARWINIANA: O USO DE VELHAS IDEIAS PARA INTRODUZIR NOVIDADES NO ENSINO DE BIOLOGIA”, publicado na revista SBEnBIO, v. 7, pp. 2053-2061, em outubro de 2014.

Como visto, na pangênese, Darwin lançou mão de mecanismos para explicar a lei do uso e desuso associada à lei da herança de caracteres adquiridos, ideias muito discutidas nas salas de aula, mas que, geralmente, não são associadas ao nome de Darwin. As noções de uso e desuso e herança do adquirido remetem automaticamente à Lamarck, especialmente dentro das escolas, aonde o lamarckismo é, frequentemente, associado exclusivamente a estas leis. Embora estas concepções estejam, de fato, explicitadas nas duas últimas leis de seu sistema teórico, para a teoria evolutiva de Lamarck a questão da herança era secundária, sendo a ideia de evolução como aumento de complexidade o ponto central da sua teoria (Rodrigues & Silva, 2011).

Ainda assim é à teoria de Lamarck que os trabalhos em herança epigenética são associados, demonstrando que alterações nos padrões de expressão de genes podem ser herdadas, embora não sejam determinadas por alterações da sequência de DNA, mas sim por influências externas (Jablonka & Raz, 2009). A epigenética é, ainda, uma área da biologia distante das salas de aula, mas que tem se desenvolvido com rapidez nas últimas décadas e já trouxe muitos fatos interessantes para o entendimento do fenômeno da hereditariedade. O resgate da herança do adquirido é, sem dúvida, o que mais chama a atenção.

A pangênese de Darwin, a teoria da evolução de Lamarck e o campo da epigenética apresentam, portanto, um pressuposto em comum: a herança dos caracteres adquiridos. Contudo, a teoria lamarckista é, quase sempre, representada em oposição à teoria evolutiva de Darwin justamente em função da sua concepção de herança do adquirido.

De fato, a concepção de evolução de Lamarck era bem diferente daquela defendida por Darwin n'A *Origem das Espécies* (1859). Porém, como já discutido, esta disparidade não está representada nas leis do uso e desuso e herança dos caracteres adquiridos como é, normalmente, ensinado aos alunos de ensino fundamental e médio. Por isso faz-se necessário uma mudança na abordagem das contradições entre as ideias

de Darwin e Lamarck feita em sala de aula. Ao aumentar a precisão histórica do conteúdo “história das teorias evolutivas” em sala de aula, possibilita-se explicitar a verdadeira natureza da ruptura epistemológica (Bachelard, 1984) presente n’*A Origem das Espécies* (“perspectiva materialista da variação” e “especiação como a transformação da variação intrapopulacional em variação interpopulacional”; Silva, 2001).

Além da problemática Darwin *versus* Lamarck, outro tema muito discutido em sala de aula, no ensino médio, é o *status* de erro conferido à lei da herança dos caracteres adquiridos. Desde que Weismann propôs a teoria germe-plasma (Martins, 2003), a noção de herança do adquirido passou a ser desacreditada no meio científico. Com o avanço da biologia molecular, a teoria de Weismann foi sendo reforçada e a HCA foi abolida da ciência moderna.

Contudo, o desenvolvimento da epigenética no século XXI vem demonstrando que a ideia de herança de caracteres adquiridos não deve mais ser considerada tão incorreta. Já é sabido que alterações epigenéticas – aquelas não codificadas na sequência de DNA, mas que representam uma mudança fenotípica – podem ser herdadas por várias gerações tendo importante papel no desenvolvimento, e, talvez, até no processo evolutivo.

Por este motivo, os estudos envolvendo herança epigenética vêm sendo apelidados de uma “volta ao lamarckismo”, como já discutido. A ideia de herança de caracteres adquiridos, no entanto, não pode ser considerada tributária dos trabalhos de Lamarck, uma vez que essa concepção era amplamente aceita na época. Mais que isso, para teoria lamarckista da evolução a questão da herança era secundária, apenas uma crua reprodução do senso comum. De modo contrário, na sua “Hipótese Provisória” Darwin utilizou a ideia de herança dos caracteres adquiridos como base para explicar diversos problemas que envolviam a questão de herança. Portanto, na pangênese, Darwin operou a “cientifização” da ideia de herança dos caracteres adquiridos, retirando-a do senso comum. Sendo assim, mais do que reproduzir um conceito reconhecidamente do âmbito científico (como o fez Lamarck), Darwin integrou a HCA a uma hipótese heurística, que poderia ser testada e, assim, adotada como diretriz, mesmo que provisória, para o estudo da hereditariedade (Stanford, 2006). A epigenética, portanto, pode ser considerada mais tributária da pangênese que do

lamarckismo e, neste sentido, o exemplo histórico da “Hipótese Provisória” de Darwin se mostra como um bom veículo para apresentação das novidades da epigenética no ensino médio.

Sendo assim, a discussão da pangênese permite que questões importantes, porém ausentes hoje do currículo mínimo, possam ser trazidas para a sala de aula, no intuito de estimular a capacidade crítica do aluno e aumentar o interesse deste pelo conteúdo apresentado. Ao se explorar o link entre as ideias de herança do século XIX com a atual epigenética em sala de aula, permite-se apresentar a HCA como um conceito que depois de séculos tido como a explicação mais plausível para herança (Zirkle, 1946), foi então abolido da biologia como uma ideia falsa e, depois de décadas, readquire caráter científico. Este funciona, portanto, como mais um exemplo na infinidável discussão a respeito da natureza dinâmica da ciência.

Além disso, a utilização da pangênese na introdução da perspectiva epigenética, em atual ascensão na biologia, permite ainda outra discussão pertinente em sala de aula. Existe, hoje, uma intensa mitificação midiática do papel e função do DNA. De acordo com estas notícias, nosso código genético abriga as respostas para grande parte dos problemas da biologia e da medicina (Silva & Andrade, 2012). Porém, entre o código genético e expressão dos caracteres, existe muito mais do que simples transcrições e traduções de DNA, como bem exemplifica a epigenética. Outras questões como a dificuldade de reconhecimento de regiões promotoras e reguladoras na regulação gênica, processos de edição, presença de íntrons etc. vem relativizando o próprio conceito de gene (Solha & Silva, 2004). Estes problemas e a novidade da herança epigenética relativizam o determinismo biológico exagerado presente na mídia e no cientificismo positivista.

Assim, a discussão lamarckismo, darwinismo, pangênese e epigenética dentro de sala de aula, além de contribuir na discussão a respeito do que é ciência e de como ela funciona, também pode ser muito útil na desmistificação da falácia que gira em torno do DNA hoje. Essas e outras discussões de natureza epistemológica podem ser úteis na promoção do pensamento crítico do aluno em relação à grande quantidade de informação, muitas vezes não fundamentada ou de caráter sensacionalista, a qual todos temos contato no dia-a-dia através das diversas mídias.

5.3. Considerações Finais

Neste último capítulo, pretendeu-se apenas reunir um singelo conjunto de sugestões a respeito de uma possível abordagem da teoria da pangênese em sala de aula, já discutidos por Arcanjo e Silva (2014; 2015).

Estas sugestões, próprias de um trabalho em ensino, afloram quase que automaticamente num contexto em que se propõe a reabertura da discussão a respeito do lugar da teoria da pangênese na história da ciência. Primeiro, porque esta teoria marca um assunto medular da disciplina de biologia no ensino fundamental e médio que é, frequentemente, abordado de maneira equivocada: a contradição entre as teorias evolutivas darwinista e lamarckista. Tema este que, muitas vezes, vem associado a julgamentos de valor, nos quais Darwin é tido como “aquele que estava certo”, enquanto Lamarck como “aquele que estava errado” (Tidon, 2014). Além de romper com estes possíveis juízos de valor, ao utilizar a teoria da pangênese como elemento introdutório da história das teorias evolutivas, é possível se discutir as verdadeiras contradições entre as teorias de ambos os naturalistas e, então, enfatizar as consequências da teoria darwiniana para a concepção atual de evolução biológica.

Segundo, porque os conceitos de “ciência”, “cientista” e “científico” reproduzidos pelos alunos apresentam forte caráter positivista e reducionista. A ciência em sala de aula é restrita ao ultrapassado “método científico” (Kosminsky & Giordan, 2002). E seu agente, o cientista, é visto como um ser solitário, produtor, ele mesmo, do conhecimento científico dentro de um laboratório. Nesta visão, a comunidade científica, onde se dão as discussões entre conclusões conflitantes (ou não), não tem papel no processo de produção do conhecimento científico. Também não existe, para os alunos, relação alguma entre a atividade científica e a sociedade, uma vez que a “boa ciência” é aquela neutra de preconceitos sociais (Kosminsky & Giordan, 2002; Sorgo *et al.*, 2014). Essas noções são, geralmente, reiteradas pelos livros didáticos, pela mídia não especializada (às vezes, pela especializada também) e, muitas vezes, pelo próprio professor. Ao se optar por trazer algumas discussões epistemológicas para dentro de sala de aula, a teoria da pangênese funciona como uma boa ferramenta didática para introduzir percepções menos idealistas a respeito do empreendimento científico. Particularmente, porque a história do papel do desenvolvimento dentro da biologia

evolutiva e a história da noção de herança dos caracteres adquiridos, as quais têm a teoria da pangênese como participante, representam bem a natureza dialética da ciência.

Entre outras diversas possibilidades que podem ser exploradas com a discussão da teoria da pangênese em sala de aula, a principal asserção que emerge como conclusão, neste capítulo, é que a abordagem acurada da história da ciência em sala de aula permite evidenciar aos alunos que a atividade científica não é produtora de verdades, uma vez que está sempre limitada ao conhecimento disponível em seu tempo. Mais do que isso, demonstra que a ciência, assim como as demais atividades humanas, sofre a influência dos interesses sociais. Neste sentido, a história da ciência se mostra, em diversos sentidos, proveitosa à formação crítica do aluno e cidadão.

6. CONCLUSÃO

Numa análise histórica superficial do desenvolvimento das ideias de herança, a teoria da pangênese é facilmente caracterizada apenas como “o fracasso de Darwin”. No entanto, numa análise mais aprofundada e direcionada dessa história identificamos na pangênese darwiniana uma teoria intrigante, que expõe as mais diversas características da atividade científica. Antes de tudo, ela era uma teoria muito bem adequada à sua época. Fosse publicada alguns anos antes, teria, talvez, conquistado mais espaço no meio científico, o que se fez impossível frente os trabalhos de Mendel e Weismann que logo viriam a tona. Portanto, a pangênese foi um “aborto”, uma vez que fundada nas ideias, ainda influentes, de herança de caracteres adquiridos e de desenvolvimento como base das mudanças evolutivas. Por sua vez, seus “abortivos” foram Mendel e Weismann, que, com suas publicações revolucionárias, erradicaram estas noções da comunidade científica antes que a teoria da pangênese pudesse ser explorada em todos os seus aspectos.

No entanto, a teoria da pangênese se mostra mais do que apenas adequada ao seu tempo, quando se depara com a atual emergência de áreas na biologia como a evo-devo e a epigenética. Trazendo de volta ideias presentes na pangênese do século XIX e que se mantiveram por muito tempo esquecidas, essas novas áreas, filhas da biologia molecular, nos revelam que a teoria da pangênese é, também, um projeto que nunca perdeu a atualidade. Apenas lhe faltavam os recursos necessários para sua concretização, mas que começariam a surgir um século à frente.

Deste modo, embora não seja possível identificar na teoria da pangênese valor heurístico para a pesquisa científica do século XXI, na releitura apresentada neste trabalho é possível identificar seu valor histórico e epistemológico. Tendo em vista o rápido declínio de noções estabelecidas durante séculos (como a HCA, ou a perspectiva da evolução pelo desenvolvimento) e, em seguida, o seu retorno em novas perspectivas do ponto de vista teórico e metodológico, constata-se que a dinâmica do conhecimento não obedece a uma função linear ou exponencial de crescimento. Seu desenvolvimento parece ser mais bem representado por uma contínua espiral. Desta forma, não é prudente estabelecer que aquilo que foi jamais virá a ser novamente. A única regra é a da mudança, da transformação. Assim, aquilo que vem a ser novamente o faz através da superação do antigo contexto e, portanto, da antiga contradição. Esta é a dialética da ciência.

Partindo destas conclusões é possível, também, identificar, na teoria da pangênese, valor pedagógico. Isto porque a pangênese representa bem o lugar das ideias de herança do adquirido, assim como de uso e desuso, no século XIX. Deste modo, a abordagem da pangênese na introdução da história das teorias evolutivas permite ao professor apresentar as semelhanças entre as ideias de Darwin e Lamarck, para então identificar suas verdadeiras diferenças e, assim, demarcar as grandes conquistas da teoria evolutiva darwiniana para o conhecimento atual a respeito da evolução.

Além disso, a discussão de história da ciência na escola se mostra particularmente interessante ao servir a contextualização e explicitação de novidades da biologia no ensino. Isto porque, a teoria da pangênese darwiniana, em sua elaborada defesa do conceito de herança de caracteres adquiridos e da visão de evolução pela perspectiva do desenvolvimento, antecipa pilares de novas áreas em ascensão da biologia como a Evo-devo e a epigenética.

Sobretudo, como um exemplo dos infindáveis benefícios da abordagem de história da ciência em sala de aula, a discussão da teoria da pangênese com os alunos permite a promoção de debates sobre algumas características do empreendimento científico. Uma vez bem adequada ao conhecimento de sua época, a teoria da pangênese se mostra coerente e satisfatória, não podendo ser menosprezada como um simples equívoco de Darwin. Demonstra, também, que um cientista está sempre sobre a influência de suas ideias prévias e, mais do que isso, sobre a influência de seu contexto social. Deste modo, são desconstruídas algumas idealizações a respeito da ciência frequentemente reproduzidas pelos alunos. Conclui-se, portanto, que a inserção da história da ciência em sala de aula tem o potencial de servir como uma boa ferramenta para a aproximação, de uma maneira crítica, dos alunos com o universo científico.

7. BIBLIOGRAFIA

- ALLCHIN, D. 2003. Scientific myth-conceptions. *Science Education* 87(3):329-351.
- ALTHUSSER, L. 1967. *Sobre o Trabalho Teórico*. Lisboa: Editorial Presença.
- ALTHUSSER, L. 1985. *Freud e Lacan, Marx e Freud*. Rio de Janeiro: Edições Graal.
- ARCANJO, F.G. & SILVA, E.P. 2014. A pangênese darwiniana: o uso de velhas ideias para introduzir novidades no ensino de biologia. *Revista de Ensino de Biologia da Associação Brasileira de Ensino de Biologia (SBEEnBio)* 7:2053-2061.
- ARCANJO, F.G. & SILVA, E.P. 2015. A hipótese darwiniana da pangênese. *Genética na Escola* 10(2):102-109.
- BACHELARD, G. 1984. *A Filosofia do Não: filosofia do novo espírito científico*. Lisboa: Editorial Presença.
- BIZZO, N. 2002. Uma nova história natural: Charles Darwin e as dinâmicas da natureza. Pp. 86-148. In: *Pensamento Científico: a natureza da ciência no ensino fundamental*. NÓBREGA, M.J. & PRADO, R. (eds.). São Paulo: Editora Melhoramentos.
- BARROS, J.D. 2007. História das ideias: em torno de um domínio historiográfico. Locus: *Revista de História* 13(1):199-209.
- BOWLER, P.J. 2002. Evolution: history. Pp. 1-5. In: *Encyclopedia of Life Sciences*. United Kingdom: Mcmillan Publishers Ltda/Nature Publishing Group. www.els.net.
- BURGGREN, W.W. 2014. Epigenetics as a source of variation in comparative animal physiology – or – Lamarck is lookin’ pretty good these days. *Journal of Experimental Biology* 217:682-689.
- CANGUILHEM, G. 2012. O objeto da história das ciências. Pp. 1-16. In: *Estudos de História e de Filosofia das Ciências: concernentes aos vivos e à vida*. CANGUILHEM, G. (autor). Tradução de Abner Chiquieri. Rio de Janeiro: Editora Forense.
- CARROL, R.L. 2002. Towards a new evolutionary synthesis. *Trends in Ecology and Evolution* 15(1):27-32.
- CARROLL, S.B. 2008. Evo-Devo and an expanding evolutionary synthesis: a genetic theory of morphological evolution. *Cell* 134:25-36.
- CASTAÑEDA, A.C. 1994. As ideias de herança de Darwin: suas explicações e sua importância. *Revista da SBHC* 11:67-73.
- DARWIN, C.R. 1859. *On the Origin of Species*. London: John Murray.
- DARWIN, C.R. 1865. Darwin, C. R. to Huxley, T. H. 17 July 1865. In: *Darwin Correspondence Database*, <http://www.darwinproject.ac.uk/entry-4872> acessado em 13 de julho de 2015.

- DARWIN, C.R. 1867. Darwin, C. R. to Lyell, C. 22 Aug 1867. In: *Darwin Correspondence Database*, <http://www.darwinproject.ac.uk/entry-5612> acessado em 14 de abril de 2015.
- DARWIN, C.R. 1868a. *The Variation of Animals and Plants under Domestication*. John Murray, London.
- DARWIN, C.R. 1868b. Darwin, C. R. to Gray, A. 8 May 1868. In: *Darwin Correspondence Database*, <http://www.darwinproject.ac.uk/entry-6167> acessado em 14 de abril de 2015.
- DOBZHANSKY, T. 1937. *Genetics and the Origin of Species*. New York: Columbia University Press.
- FISHER, R.A. 1930. *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford: Oxford University Press.
- GEISON, G. 1969. Darwin and heredity: the evolution of his hypothesis of pangenesis. *Journal of the History of Medicine* 24:375–411.
- GHISELIN, M.T. 1975. The rationale of pangenesis. *Genetics* 79:47-57.
- GILBERT, S.F.; OPITZ, J.M. & RAFF, R.A. 1996. Resynthesizing evolutionary and developmental biology. *Developmental Biology* 173:357-372.
- GOULD, S.J. 1977. *Ontogeny and Phylogeny*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
- GRIESEMER, J. 1998. Turning back to go forward. A review of Epigenetic Inheritance and Evolution, The Lamarckian Dimension, by Eva Jablonka and Marion Lamb. *Biology and Philosophy* 13:103-112.
- HALDANE, J.B.S. 1932. *The Causes of Evolution*. London: Longsman, Green & Co.
- HALL, B.K. 2003. Evo-devo: evolutionary development mechanisms. *International Journal of Biological Sciences* 47: 491-495.
- HOLLIDAY, R. 2005. DNA methylation and epigenotypes. *Biochemistry (Moscow)* 70(5):500-504.
- HAIG, D. 2007. Weismann rules! OK? Epigenetics and the Lamarckian temptation. *Biology and Philosophy* 22(3):415-428.
- HOLLIDAY, R. 2006. Epigenetics: a historical overview. *Epigenetics* 1(2):76–80.
- HUXLEY, T.H. 1865. Huxley, T.H. to Darwin, C. R. 16 July 1865. In: *Darwin Correspondence Database*, <http://www.darwinproject.ac.uk/entry-4875> acessado em 13 de julho de 2015.
- JABLONKA, E. & LAMB, M.J. 1995. *Epigenetic Inheritance and Evolution: The lamarckian inheritance*. Oxford & New York: Oxford University Press.

- JABLONKA, E. & LAMB, M. J. 2002. The changing concept of epigenetics. *Annals of the New York Academy of Science* 981:82-96.
- JABLONKA, E. & LAMB, M.J. 2010a. Transgenerational epigenetic inheritance. Pp. 137-174. In: *Evolution, The Extended Synthesis*. PIGLIUCCHI, M. & MÜLLER, G.B. (eds.). Cambridge: MIT Press.
- JABLONKA, E. & LAMB, M.J. 2010b. *Evolução em quatro dimensões: DNA, comportamento e a história da vida*. Tradução de Claudio Angelo. São Paulo: Cia das Letras.
- JABLONKA, E. & RAZ, G. 2009. Transgenerational epigenetic inheritance: prevalence, mechanisms, and implications for the study of heredity and evolution. *The Quarterly Review of Biology* 84(2):131-176.
- JENKIN, H.C.F. 1867. The origin of species. *North British Review* 46:277-318.
- KOSMINSKY, L. & GIORDAN, M. 2002. Visões de ciência e sobre cientista entre estudantes do ensino médio. *Química Nova na Escola* 15:11-18.
- LIU, Y.S. & LI, X.J. 2012. Does Darwin's Pangenesis have fatal flaws? *International Journal of Epidemiology* 41(5):1492-1493.
- MARTINS, L.A.P. 2003. August Weismann e Evolução: Os diferentes níveis de seleção. *Revista da SBHC* 1:53-75.
- MARTINS, L.A.P. 2005. História da ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência e Educação* 11(2):305-317.
- MARX, K. 1858. *Grundrisse*. London: Pelican Books.
- MENDEL, G. 1865. Experiments of plant hybrids. Pp. 1-48. In: *The origins of genetics: a Mendel source book*. STERN, C. & SHERWOOD, E.R. (eds). S. Francisco: W.H. Freeman & Company.
- MÜLLER, G.B. 2008. Evo-devo as a discipline. Pp. 3-29. In: *Evolving Pathways: key themes in evolutionary developmental biology*. MINELLI, A. & FUSCO, G. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- OLBY, R.C. 1963. Charles Darwin's manuscript of pangenesis. *British Journal for the History of Science* 8:85-93.
- OLBY, R.C. 1966. *Origins of Mendelism*. London: Constable.
- PIGLIUCCHI, M. 2007. Do we need an extended evolutionary synthesis? *Evolution* 61(12):2743-2749.
- RAFF, R.A. 2000. Evo-devo: the evolution of a new discipline. *Nature Reviews Genetics* 1:74-79.
- RICHARDSON, M.K. 2003. A naturalist's evo-devo. *Nature Genetics* 34:351.

- RODRIGUES, R.F.C. & SILVA, E.P. 2011. Lamarck: fatos e boatos. *Ciência Hoje* 48(285):68-70.
- SANDVIK, H. 2000. A new evolutionary synthesis: Do we need one? *Trends in Ecology and Evolution* 15(5):205.
- SANO, H. 2002. DNA methylation and lamarckian inheritance. *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B.* 78(10):293-298.
- SILVA, E.P. 2001. A short history of evolutionary theory. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* 8(3):671-687.
- SILVA, E.P. & ANDRADE, L.A.B. 2012. *Para um Estudante de Biologia Saber*. Niterói: UFF-CEAD.
- SOLHA, G.C.F. & SILVA, E.P. 2004. Onde está o lugar do conceito de gene? *Episteme* 19:45-68.
- SORGO, A.; USAK, M.; KUBIATKO, M.; FANCOVICOVA, J.; PROKOP, P.; PUHEK, M.; SKODA, J.; BAHAR, M. 2014. A cross-cultural study on freshmen's knowledge of genetics, evolution, and the nature of science. *Journal of Baltic Science Education* 13(1):6-18.
- STANFORD, P.K. 2006. Darwin's pangenesis and the problem of unconceived alternatives. *British Journal for the Philosophy of Science* 57:121-144.
- TIDON, R. 2014. A teoria evolutiva de Lamarck. *Genética na Escola* 9(1):64-71.
- VORZIMMER, P. 1963. Charles Darwin and blending inheritance. *ISIS* 54:371-390.
- WADDINGTON, C.H. 1942. The epigenotype. *Endeavour* 1:18-20.
- WEISMANN, A. 1893. *The Germ Plasm Theory: A theory of heredity*. New York: Charles Scribner's Sons.
- WINTHER, R.G. 2000. Darwin on variation and heredity. *Journal of the History of Biology* 33:425–455.
- WRIGHT, S. 1931. Evolution in mendelian populations. *Genetics* 16:97-159.
- ZIRKLE, C. 1946. The early history of the idea of the inheritance of acquired characters and of pangenesis. *Transactions of the American Philosophical Society* 35(2):91-151.

8. APÊNDICES

8.1. A Hipótese Darwiniana da Pangênesse

A hipótese darwiniana da pangênese

Fernanda Gonçalves Arcanjo¹, Edson Pereira da Silva²

¹ Graduanda de Ciências Biológicas, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ

² Laboratório de Genética Marinha e Evolução, Departamento de Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ

Autor para correspondência: gbmmedson@vm.uff.br

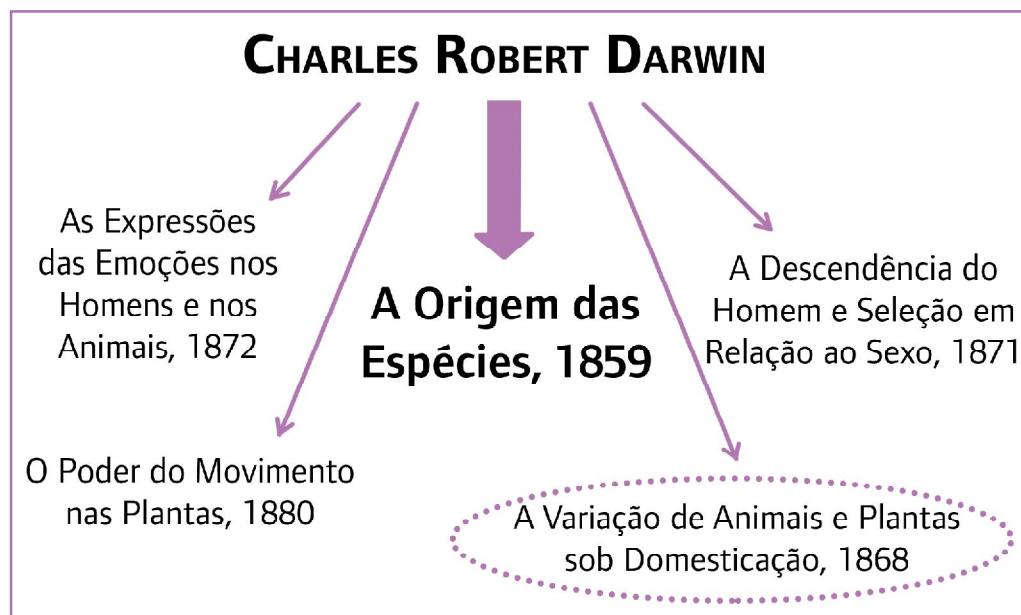
A pangênese é a hipótese de herança e desenvolvimento de Darwin, publicada, em 1868, no seu livro *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação*. Ela consiste em uma explicação para origem e natureza da variação, um problema que não estava resolvido na sua teoria evolutiva. Um fato que muitos ignoram, no entanto, é que esta hipótese partilha muitas das ideias presentes na teoria evolutiva de Lamarck. Uma releitura da hipótese da pangênese de Darwin no século XXI indica que ela pode ser uma interessante ferramenta para contar a história das teorias evolutivas, assim como para apresentar, em sala de aula, novas linhas de pesquisa em Biologia como a Evo-devo (Biologia Evolutiva do Desenvolvimento).

A “Hipótese Provisória da Pangênese” de Darwin apresenta diversas incoerências com nosso conhecimento atual de genética, e, portanto, não é aceita hoje. Quanto a isso não há discussão, a hipótese da pangênese não é relevante no que diz respeito ao conhecimento atual sobre a fisiologia dos mecanismos hereditários. Contudo, ela pode ser relevante num sentido histórico e pedagógico. O objetivo deste trabalho é, primeiramente, revisar o conteúdo da hipótese da pangênese, fornecendo suporte teórico ao professor. Em seguida é feita uma releitura desta hipótese, indicando que a abordagem da pangênese em sala de aula pode ser proveitosa para uma perspectiva crítica sobre as diferenças e semelhanças entre as ideias de Darwin e Lamarck com respeito à evolução. Além disso, a discussão de História da Ciência na escola se mostra particularmente interessante ao servir à contextualização e explicitação de novidades da Biologia no ensino.

UMA “HIPÓTESE PROVISÓRIA”

O naturalista inglês Charles Robert Darwin (1809-1882) é a maior referência da teoria evolutiva moderna, especialmente pelo seu trabalho, publicado em 1859 no livro *A Origem das Espécies*, em que propôs a seleção natural como principal mecanismo evolutivo

atuando sobre a diferenciação de populações naturais. Embora esta seja, comumente, sua única obra citada em salas de aula, Darwin é reconhecido, também, por sua vasta produção em diversas áreas tais como Geologia, Zoologia e Botânica. O seu livro *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* (1868) é um de seus trabalhos pouco mencionados nos livros texto (Figura 1).



Tendo sido originado a partir de “Variação no estado doméstico” (primeiro capítulo d’*A Origem*), a *Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* trata de questões como ‘variedades domésticas produzidas pelo homem através de seleção artificial’, ‘o tempo para domesticação e seleção de variedades de interesse’ e ‘porque há mais variação no estado doméstico do que no estado selvagem’. Além de questões acerca da domesticação na evolução, Darwin também trata, neste livro, do problema da herança. No capítulo XXVII d’*A Variação* Darwin publica pela primeira vez a “Hipótese Provisória da Pangênese”, nome que recebeu seu modelo de hereditariedade.

A primeira versão da hipótese da pangênese foi escrita mais de vinte anos antes da sua publicação n’*A Variação*. Contudo, ainda em 1865, Darwin a considerava incompleta. Em carta datada de 16 de julho de 1865, Thomas

H. Huxley (1825-1895), colega zoólogo de Darwin, encorajou-o a publicar tal hipótese. E Darwin, assim como o aconselhou Huxley, publicou-a na forma de uma “Hipótese Provisória”, ou seja, uma teoria não definitiva, mas que ele considerava muito provável.

“Alguém mexendo nos seus papéis daqui a meio século vai encontrar a Pangênese e dizer “Olhe esta maravilhosa antecipação de nossas teorias modernas e aquele idiota estúpido, Huxley, impediu que ele a publicasse”. [...] Tudo que eu vou dizer é: publique suas ideias, não tanto na forma de conclusões definitivas, mas como desenvolvimentos hipotéticos das únicas pistas que temos no momento.” (Huxley para Darwin. 16 de Julho de 1865. Darwin Correspondence Database, <http://www.darwinproject.ac.uk/entry-4875>. Acessado em 06/Março/2015. Tradução livre dos autores).

Figura 1.

Darwin produziu muitas obras importantes ao longo de sua vida. Além do livro em que publicou sua teoria evolutiva (*A Origem das Espécies*), destaca-se o livro *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* em que publicou sua hipótese de herança, a “Hipótese Provisória da Pangênese”.

O objetivo geral da pangênese era fornecer uma explicação elaborada para o que se conhecia na época a respeito dos mecanismos responsáveis pelo surgimento e herança da variação entre indivíduos dentro de uma mesma população. Dentre as ideias de Darwin a respeito dessas questões estavam dois pressupostos muito populares em sua época e que estavam presentes, também, no sistema teórico do naturalista francês Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) na forma de duas leis – “Uso e desuso” e “Herança dos caracteres adquiridos”.

Resumidamente, a hipótese da pangênese (do grego *pan-* todo e *genesis-* origem/nascimento) era baseada na ideia de que toda a organização do corpo era capaz de repro-

duzir a si mesmo através de suas partes. De acordo com esta hipótese, cada unidade do organismo seria capaz de produzir pequenas gêmulas que, nutritas apropriadamente, se multiplicariam e se desenvolveriam em unidades semelhantes àquelas nas quais tiveram origem. Após circularem pelo organismo durante certo tempo essas unidades, ainda parcialmente desenvolvidas, acomodar-se-iam nos órgãos reprodutivos, formando o embrião. Durante a fertilização, o conjunto de gêmulas de cada progenitor passaria por um processo de associação de modo a iniciar a formação de um novo indivíduo, o qual expressaria características de ambos os pais, explicando, assim, a semelhança entre descendentes e parentais (Figura 2).

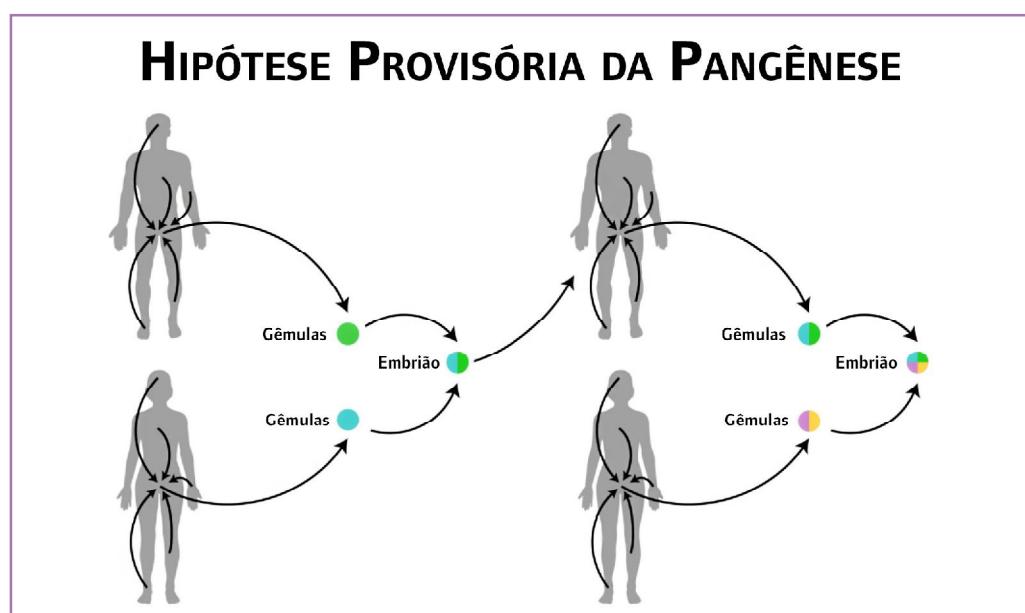


Figura 2.

Esquema representando o processo de geração de novos indivíduos, por reprodução sexuada, de acordo com a hipótese da pangênese darwiniana. O embrião seria o conjunto de unidades – células, ou apenas gêmulas, parcialmente desenvolvidas – liberadas pelo corpo do parental ao longo de todo o seu desenvolvimento.

Outra característica das gêmulas era a dormência. As gêmulas poderiam eventualmente entrar em estado dormente sendo, então, repassadas por diversas gerações sem se manifestar até que, em dada geração, as características, codificadas numa gêmula dormente, voltassem a ser expressas. Esta propriedade das gêmulas era capaz de explicar o atavismo – reaparecimento de uma característica ancestral numa dada geração após ausente em diversas gerações anteriores.

As gêmulas seriam continuamente produzidas pelo organismo ao longo de toda a vida do indivíduo, portanto, gêmulas de todas as

épocas do desenvolvimento seriam armazenadas nos órgãos reprodutivos. Desse modo, as mudanças que ocorressem no corpo de um indivíduo ao longo de sua vida também passariam a ser codificadas em parte de suas gêmulas (somente naquelas produzidas após a mudança ter acontecido), podendo, portanto, ser passadas aos seus descendentes. Assim a pangênese corroborava a lei da herança de caracteres adquiridos. Além dos caracteres, o momento em que uma gêmula passaria a ser expressa estava, também, codificado nela. Isto explicava o aparecimento de certas características semelhantes em descendentes e parentais na mesma idade.

Ainda na formação do embrião, as diferentes gêmeulas associavam-se em grupos de modo a formar cada estrutura num tempo e local apropriado. Assim, a pangênese era, também, capaz de explicar a manifestação de diversas anormalidades pela ocorrência de erros nessas associações, que provocavam a expressão de características em locais do corpo, ou épocas do desenvolvimento, inadequados.

Todas essas questões que Darwin se propôs a responder com a hipótese da pangênese estavam até então sem uma resolução e eram motivo de debate entre os estudiosos da época. Com a pangênese, além de uma só resposta para todas estas perguntas, Darwin forneceu uma explicação para a origem e natureza da variação (CASTAÑEDA, 1994), item fundamental para a ratificação de sua teoria evolutiva presente na *Origem*.

AS TEORIAS DE DARWIN E LAMARCK

A diferença entre as teorias evolutivas de Lamarck e Darwin é apresentada, muitas vezes, como sendo fundada na discordância entre eles em relação às leis de ‘uso e desuso’ e ‘herança dos caracteres adquiridos’. Contudo, fica claro agora que, no que diz respeito ao mecanismo de produção de variação nova e ao modo como ela é repassada aos descendentes, Darwin e Lamarck tinham algumas ideias muito semelhantes. O que não é surpreendente, uma vez que o ‘uso e desuso’ e a ‘herança do adquirido’ eram concepções am-

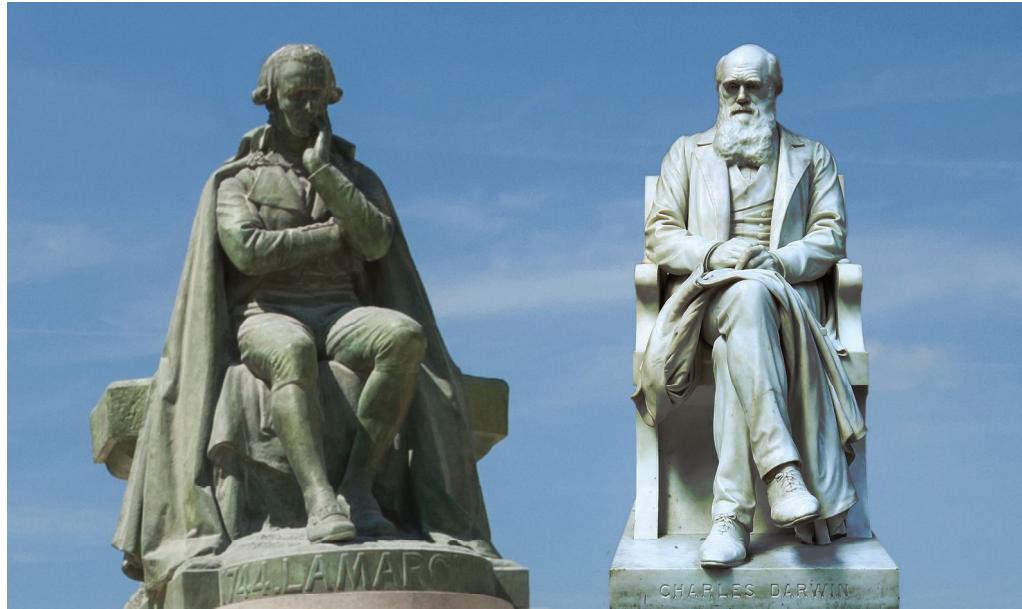
plamente aceitas nos séculos XVIII e XIX (RODRIGUES, SILVA, 2011).

A real discordância entre as teorias dos dois naturalistas diz respeito ao entendimento do processo evolutivo. Para Lamarck, o processo evolutivo definia-se como uma tendência natural ao aumento de complexidade dos seres vivos, o que era explicitado nas duas leis que representavam as verdadeiras novidades do seu sistema teórico – “tendência para o aumento da complexidade” (1^a lei) e “surgi-mento de órgãos em função de necessidades que se fazem sentir e se mantêm” (2^a lei). Darwin, por outro lado, não via tendência alguma na evolução que não fosse aquela da transformação da variação intrapopulacional em variação interpopulacional por força da seleção natural. Portanto, na teoria evolutiva darwiniana não havia mais espaço para a ideia de aumento da complexidade dos seres vivos. A evolução acontecia sem propósito e não estava mais associada ao progresso, visto que os conceitos de melhora e complexidade tornam-se relativos a determinado tempo, espaço e outro indivíduo (ou espécie) usados como referência. Evolução, segundo a concepção darwinista, definia-se por mudança e ramificação (Figura 3).

A teoria darwiniana da evolução rompeu, também, com o **paradigma** fixista ao apresentar a variação numa **perspectiva materialista**. De acordo com Darwin a variação nada mais era do que a realidade do mundo natural e, deste modo, negava-se a perspec-

Um **paradigma** é uma teoria geral pela qual, em detrimento de outras, vemos e interpretamos os dados da realidade (uma forma de “viseira conceitual”), ou seja, diferentes paradigmas trazem consigo uma linguagem com a qual descrevemos os dados e uma forma através da qual fazemos nossas observações e organizamos nossos experimentos. O termo foi definido assim por Thomas Samuel Kuhn (1922-1996), um físico estadunidense conhecido pelo seu trabalho com a História e Filosofia da Ciência. Seu livro mais conhecido é “A Estrutura das Revoluções Científicas” publicado em 1962.

A **perspectiva materialista** sustenta que a única coisa da qual se pode afirmar a existência é a matéria, assim, todas as coisas são compostas de matéria e todos os fenômenos são o resultado de interações materiais. Esta perspectiva se opõe ao idealismo que admite a ideia (alma, essência etc.) como base da existência e, também, ao dualismo que produz dicotomias do tipo corpo e alma, aparência e essência etc. No caso do darwinismo, a perspectiva materialista deixou de encarar a variação individual como estática, o resultado da expressão imperfeita de uma essência imaterial ou um ruído a ser evitado na atividade de ordenação (classificação) do mundo vivo. A variação individual passou a ser encarada como a realidade do mundo biológico e o material da evolução. A partir desta perspectiva materialista, Darwin pôde entender o processo de especiação como um processo de conversão da variação entre indivíduos, dentro de uma determinada população, em variação entre populações diferentes, no tempo e no espaço. Ou seja, o processo de especiação passou a ser entendido como um processo de transformação de variação intrapopulacional em variação interpopulacional.



Giovanni G / Shutterstock.com

O **paradigma fixista** é o conjunto de ideias que assume que todos os seres vivos pertencem a grupos fixos, os quais foram criados por um ou mais deuses e por ele(s) ordenado em uma escala hierárquica imóvel, na qual a espécie humana representa seu ponto mais elevado. Esse paradigma engloba o pensamento de Platão (428/427-348/347 a. C.), Aristóteles (384-322 a. C.) e a Bíblia (1500-450 a. C., livros do Antigo Testamento e 45-90 d. C., livros do Novo Testamento). Tal conjunto de ideias é parte fundamental da nossa cultura, a cultura ocidental, e é fortemente marcado pela noção de perfeição. Vem daí a crença de que a Natureza é uma total harmonia, de que todos os seres vivos foram desenhados, de que todos os órgãos e sistemas funcionam da melhor maneira possível etc.

tiva tipológica, característica do **paradigma fixista**. O fixismo propõe, ainda hoje, que as espécies foram criadas e não se modificam ao longo do tempo, sendo a variação nada mais do que um desvio em relação a uma espécie

tipo (original e perfeita) (SILVA, 2001). Embora, atualmente, não se aceite a exploração de Darwin para hereditariedade, sua teoria evolutiva é um marco na história do estudo da evolução.

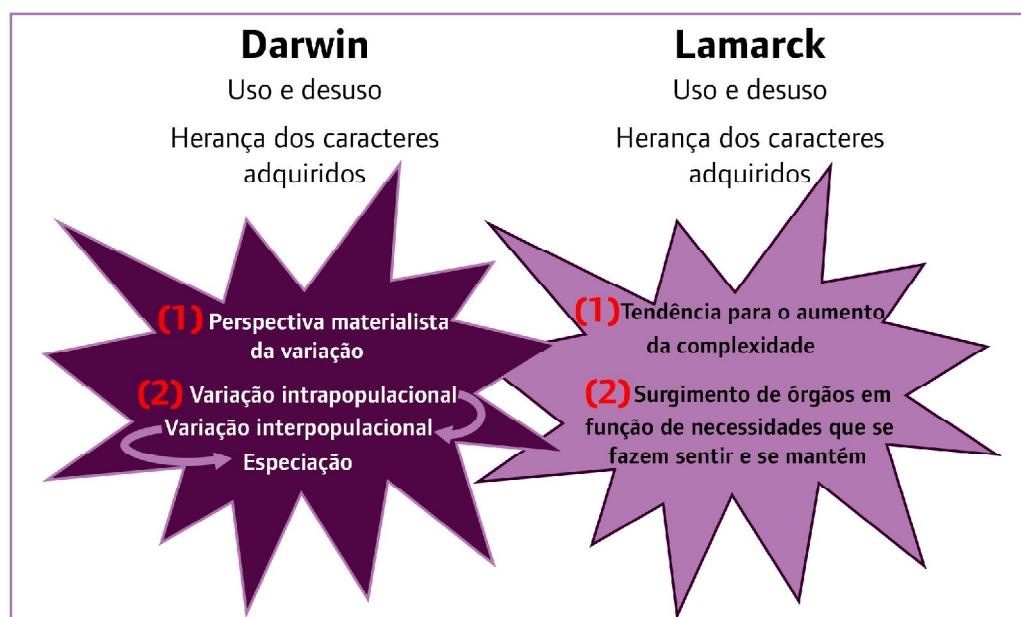


Figura 3.

Esquema representando as concordâncias entre as ideias de Darwin e Lamarck, que diziam respeito a origem da variação e ao modo como ela era herdada, assim como as contradições entre as teorias evolutivas de ambos os naturalistas.

HISTÓRIA E NOVIDADE NO ENSINO DE BIOLOGIA

Mesmo em sua época, a “Hipótese Provisória da Pangênese” não obteve o mesmo êxito da teoria evolutiva de Darwin. Sua aceitação pela comunidade científica da época não foi unânime, mas apesar das críticas recebidas, seu autor manteve-se sempre convicto em relação à plausibilidade da mesma.

A crítica de maior repercussão para a hipótese de Darwin veio, porém, após sua morte, com a publicação de August Weismann (1834-1914), em 1893, da teoria da continuidade do plasma germinativo. Weismann propôs que somente aquilo que fosse modificado no plasma dos gametas (“germeplasma”) seria herdado pelos descendentes. Assim, modificações no corpo dos indivíduos (“somatoplasma”) durante sua vida não poderiam ser herdadas. Guiado por sua teoria sobre a hereditariedade, ele realizou um experimento que contradizia a herança dos caracteres adquiri-

dos e, consequentemente, a hipótese da pangênese. Weismann convenceu boa parte da comunidade científica de sua época, e assim a concepção de herança dos caracteres adquiridos perdeu muito de sua popularidade.

Eventualmente, a pangênese foi desacreditada e passou a ser considerada como um dos grandes equívocos de Darwin, sendo, ainda hoje, historicamente menosprezada e esquecida. Contudo, podemos dizer que, na época em que foi desenvolvida, a hipótese da pangênese representava uma boa resposta para as perguntas a que se propôs responder (qual o mecanismo para os efeitos do uso e desuso e para herança do adquirido, como se dá o atavismo, qual a origem das anormalidades etc.). Ela não foi, simplesmente, uma repetição do senso comum da comunidade científica a respeito da hereditariedade naquele tempo. Os mecanismos de herança apresentados por Darwin eram mais sofisticados, pois compunham uma hipótese heurística que poderia ser adotada como diretriz, mesmo que provisória, para o estudo da

CONCEITOS EM GENÉTICA

hereditariedade. Serviu, por exemplo, para determinar experimentos realizados por Francis Galton (1822-1911), primo de Darwin. Os experimentos de Galton envolviam a transfusão sanguínea em coelhos para testar a circulação das gêmeas na corrente sanguínea (STANFORD, 2006). As explicações de Darwin para o problema da hereditariedade estavam, sem dúvida, de acordo com seu tempo.

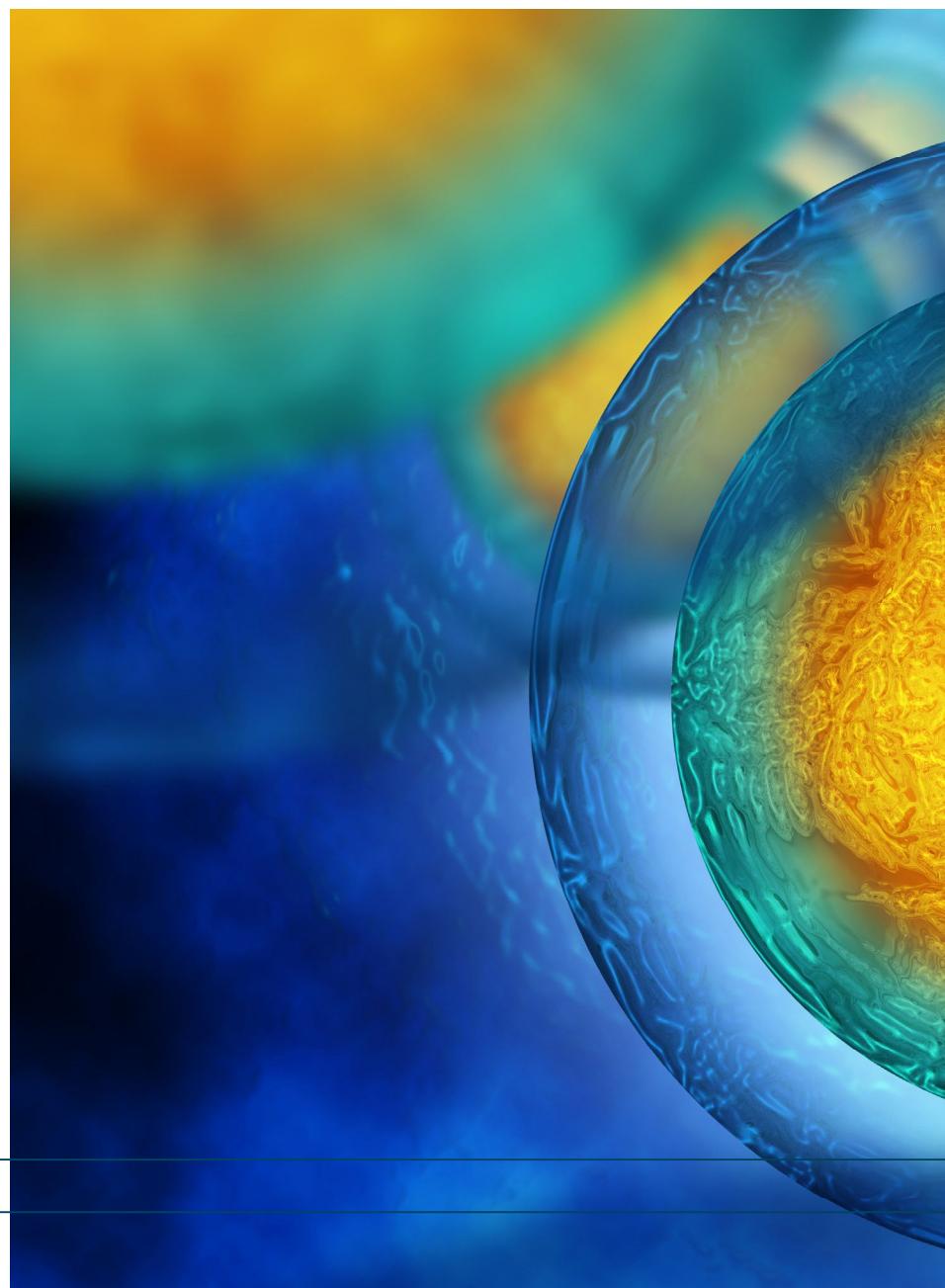
Mais do que isso, de acordo com Ghiselin (GHISELIN, 1975, p.51), a hipótese da pangênese era, também, parte do projeto darwiniano de unificação do estudo da Evolução com o estudo da Embriologia – ramo da Biologia do Desenvolvimento que estuda as fases de formação e desenvolvimento do embrião. Na época, questões relacionadas ao desenvolvimento eram correntemente abordadas em estudos evolutivos, porém de modo pouco sistemático. Darwin reconheceu que os estudos embriológicos poderiam trazer esclarecimento sobre o processo evolutivo, no sentido de que a variação presente no mundo natural poderia ser melhor compreendida através do estudo da morfogênese.

No entanto, a redescoberta dos trabalhos de Gregor Mendel (1822-1884) logo no início do século XX promoveu a separação entre Evolução e Embriologia. A matemática robusta da genética e a possibilidade de, assim, se testar a evolução dentro de laboratórios ganhou a comunidade científica. Com os posteriores trabalhos de Ronald Fisher (1890-1962), Sewall Wright (1889-1988) e John Haldane (1892-1964) foi estabelecida a Teoria Sintética da Evolução (TSE), definindo a evolução, pura e simplesmente, como uma mudança das frequências gênicas em populações naturais (SILVA, 2001).

Apesar de, no século XX, a influência do desenvolvimento no processo evolutivo ter sido negligenciada e, naquele momento, não haver mais espaço para a discussão de hipóteses como a da pangênese, hoje, no século XXI, estudos defendendo a necessidade de se interpretar os processos evolutivos a partir da perspectiva do desenvolvimento foram retomados. Graças às novidades evidenciadas com os avanços da Biologia Molecular ao longo dos séculos XX e XXI, surgiu uma nova linha de estudo em evolução chamada Evo-devo (Biologia Evolu-

tiva do Desenvolvimento). Neste sentido, o projeto darwiniano de unificação evolução/desenvolvimento com sua hipótese provisória da pangênese poderia ser visto como uma espécie de prenúncio da Evo-devo.

Como escreveu Ghiselin, “é seguro dizer que ela (a hipótese da pangênese) não estava errada no sentido de ser falsa, pois não estava tão distante do que nós consideramos verdade. A ideia de que a evolução envolve mudanças nos mecanismos de desenvolvimento é um fato, sua utilidade somente os imprudentes e desinformados poderiam negar. [...] Ainda sim a hipótese provisória me parece ter um grande problema: ela era anacrônica. Deu uma resposta do século IX para uma questão do século XVIII que precisava ser trabalhada em termos do século XX.” (GHISELIN, 1975, p. 55).



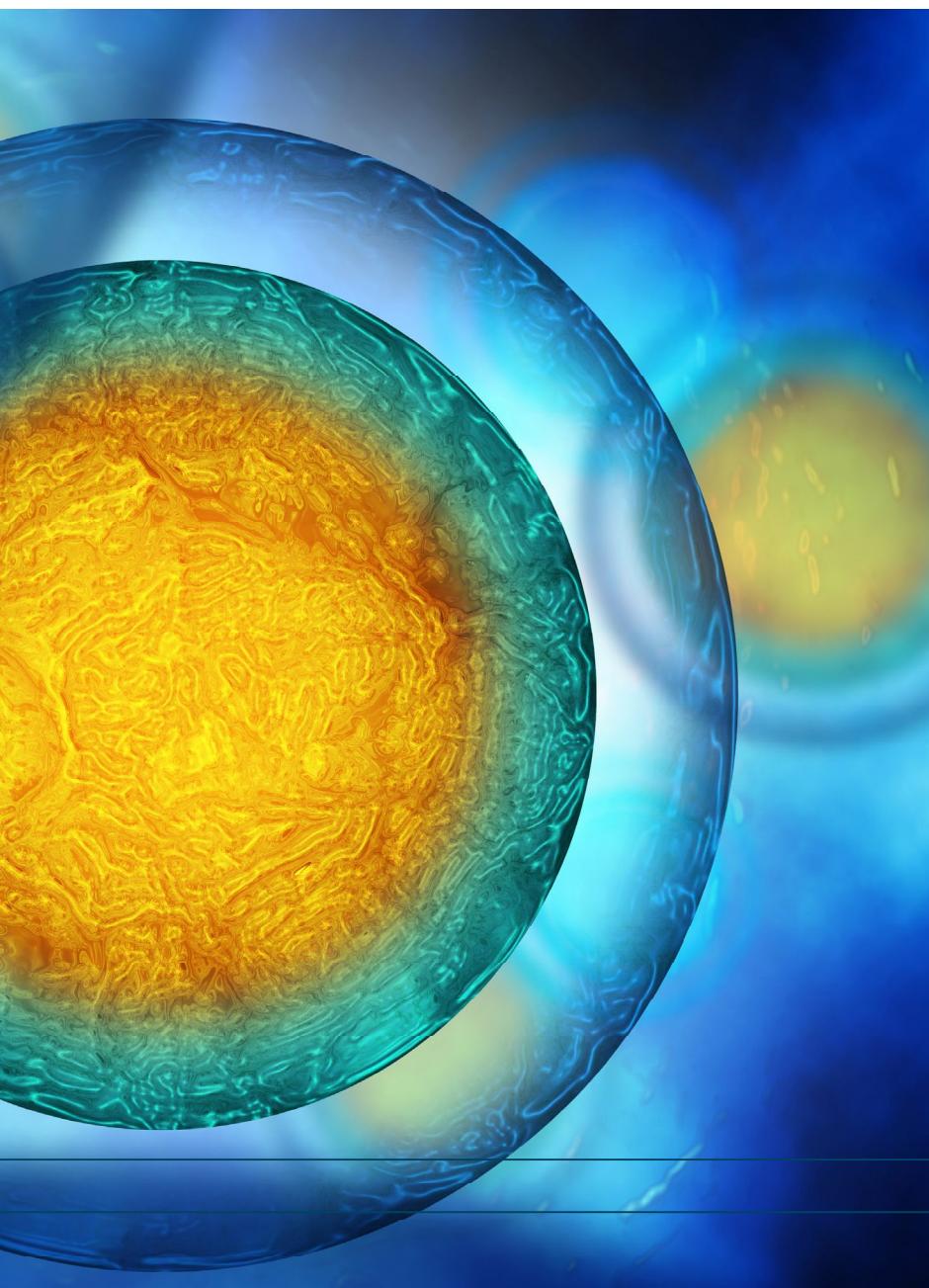
Concluímos com este trabalho que a discussão da hipótese da pangênese de Darwin em sala de aula, primeiro, pode trazer esclarecimentos sobre o empreendimento científico. Mostra que algumas ideias não aceitas atualmente podem ter sido plausíveis em períodos históricos anteriores e que as explicações dependem do conhecimento que se tem na época. Segundo, pode permitir uma melhor abordagem das semelhanças e diferenças entre as ideias de Darwin e Lamarck ao evidenciar que um dos principais tipos de herança que Darwin queria explicar era a herança de caracteres adquiridos, noção defendida também por Lamarck.

Por fim, com o uso da História da Ciência, é possível rediscutir o lugar da hipótese da pangênese na história da Biologia do Desenvolvimento, da Genética e da Biologia Evolutiva. Afinal, era uma hipótese que, além de

responder elegantemente às mais diversas questões em herança da época e cumprir seu papel de definir a origem e natureza da variação e como ela seria herdada, apresentava um grande poder heurístico. Hoje, levando em consideração a atual emergência da Evo-devo, é possível dizer que a pangênese foi, e continua sendo, historicamente injustiçada ao ser apresentada, apenas, como o “erro de Darwin”.

REFERÊNCIAS

- CASTAÑEDA, A. C. As ideias de herança de Darwin: suas explicações e sua importância. *Revista da SBHC*, v. 11, p. 67-73, 1994.
- Darwin Correspondence Database, <http://www.darwinproject.ac.uk/entry-4875> acessado em 06/03/2015).
- DARWIN, C. R. *The Power of Movement in Plants*. London: John Murray, 1880.
- DARWIN, C. R. 2002. *A Origem das espécies*. Belo Horizonte: Editora Itatiaia, 2012. Tradução de Eugênio Amado da obra “Origin of Species”. London: John Murray, 1859.
- DARWIN, C. R. *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. London: John Murray, 1871.
- DARWIN, C. R. *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. London: John Murray, 1872.
- DARWIN, C. R. *The variation of animals and plants under domestication*. London: John Murray, 1868.
- GHISELIN, M. T. The rationale of pangenesis. *Genetics*, v. 79, p. 47-57, 1975.
- MARTINS, L. A.-C. P. Lamarck e as quatro leis da variação das espécies. *Episteme. Filosofia e História da Ciência em Revista*, vol. 2, n. 3, p.: 33-54, 1997.
- POLIZELLO, A. Modelos microscópicos de herança no século XIX. *Filosofia e História da Biologia*, vol. 7, n. 2, p. 137-155, 2012.
- RODRIGUES, R. F. C.; SILVA, E. P. Lamarck: fatos e boatos. *Ciência Hoje*, v. 48, n. 285, p.68-70, 2011.
- SILVA, E. P. A short history of evolutionary theory. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 8, n. 3, p. 671-687, 2001.
- STANFORD, P. K. Darwin's pangenesis and the problem of unconceived alternatives. *British Journal for the Philosophy of Science*, v. 57, p. 121-144, 2006.



8.2. A Pangênesse Darwiniana: O Uso de Velhas Ideias para Introduzir Novidades no Ensino de Biologia

A PANGÊNESE DARWINIANA: O USO DE VELHAS IDEIAS PARA INTRODUZIR NOVIDADES NO ENSINO DE BIOLOGIA

Fernanda Gonçalves Arcanjo (Laboratório de Genética Marinha e Evolução, Universidade Federal Fluminense, fgarcanjo@gmail.com)

Edson Pereira Silva (Laboratório de Genética Marinha e Evolução, Universidade Federal Fluminense, gbmmedson@vm.uff.br)

RESUMO

Os trabalhos em epigenética têm demonstrado que alterações nos padrões de expressão de genes podem ser herdadas, embora não sejam determinadas por mudanças na sequência de DNA. Por essa razão, esses estudos vêm sendo apelidados de uma “volta ao Lamarckismo”. Contudo, para teoria lamarckista da evolução a questão da herança era secundária. Neste sentido, a epigenética parece ser mais tributária da pangênese darwiniana que do lamarckismo. Assim, neste trabalho é proposto que o exemplo histórico da pangênese pode ser uma boa estratégia para introdução e discussão das teorias evolutivas de Darwin e Lamarck, bem como para introdução de ideias novas do campo da Biologia, como a epigenética, no ensino médio.

Palavras-Chave: Pangênese, Epigenética, Teoria Evolutiva, Herança, Darwin, Lamarck

A PANGÊNESE DARWINIANA: O USO DE VELHAS IDEIAS PARA INTRODUZIR NOVIDADES NO ENSINO DE BIOLOGIA

Fernanda Gonçalves Arcanjo (Laboratório de Genética Marinha e Evolução, Universidade Federal Fluminense, fgarcanjo@gmail.com)

Edson Pereira Silva (Laboratório de Genética Marinha e Evolução, Universidade Federal Fluminense, gbmmedson@vm.uff.br)

INTRODUÇÃO

Charles Robert Darwin (1809-1882) é o grande protagonista da evolução biológica nas aulas de biologia do ensino médio. Seu maior legado foi o livro *A Origem das Espécies* (1859) no qual descreveu sua teoria da evolução. Este é, atualmente, seu único trabalho discutido nas salas de aula. Pouco se fala sobre suas outras publicações nas mais diversas áreas da biologia. Uma delas, seu livro *A Variação de Animais e Plantas Sob Domesticação* (*The variation of animals and plants under domestication*, 1868), é uma extensão do primeiro capítulo d'*A Origem* e é onde ele publica, pela primeira vez, sua teoria da hereditariedade: a “Hipótese Provisória da Pangênese”, onde são discutidas questões básicas de herança e desenvolvimento embrionário.

Ao elaborar a teoria da pangênese Darwin tinha como objetivo propor respostas a algumas questões que o conhecimento da época sobre a herança ainda não podia elucidar, além de explicar os mecanismos responsáveis pelo surgimento e herança da variação entre indivíduos (CASTANEDA, 1994). A teoria é baseada na ideia de que todas as partes do corpo de um indivíduo são capazes de produzir pequenas gêmeas que, por sua vez, carregam a informação referente àquela região do organismo. As gêmeas produzidas circulam pelo organismo durante certo tempo até que, em dado momento, se acomodam permanentemente nos órgãos reprodutivos. Um novo indivíduo seria gerado pela associação do conjunto de gêmeas de seus progenitores, explicando assim a semelhança dos descendentes com seus parentais. Nesta passagem d'*A Variação* Darwin resume assim sua teoria da pangênese:

É universalmente admitido que células ou unidades do corpo aumentam, em quantidade, por autodivisão ou proliferação, conservando a mesma natureza, e que formam, em última instância, os vários tecidos e substâncias do corpo. Porém, apesar deste modo de proliferação, eu acredito que essas unidades liberam pequenos grânulos que se dispersam pelo sistema; e que esses, quando nutridos apropriadamente, se multiplicam por autodivisão, e, em dado momento, se desenvolvem em unidades como aquelas de que foram

originados. Esses grânulos podem ser chamados de gêmulas. Elas são coletadas de todas as partes do sistema para constituir os órgãos sexuais, e seu desenvolvimento, na próxima geração, forma um novo indivíduo; mas elas podem ser transmitidas em estado dormente para futuras gerações e talvez, então, se desenvolverem. Seu desenvolvimento depende de sua união com outras células parcialmente desenvolvidas que as precedem no curso do crescimento do corpo [...] As gêmulas são, supostamente, liberadas por todas as unidades, não apenas no estado adulto, mas durante todos os estágios do desenvolvimento de todos os organismos [...] Finalmente, eu assumo que as gêmulas em seu estado dormente apresentam uma afinidade mútua entre si, levando a sua agregação no broto ou nos órgãos性uais. Portanto, não são os brotos ou órgãos reprodutivos que geram novos indivíduos, mas sim as unidades que compõe cada indivíduo. Essas afirmações constituem a hipótese provisória a qual eu nomeei Pangênese. [Variação 1874 (2^a Ed.) vol.2 p. 369-370]

Além de explicar a semelhança dos descendentes com seus parentais, o problema do atavismo – o reaparecimento de uma característica ancestral numa dada geração após ausente em diversas gerações anteriores – também é explicado, nesta passagem, a partir da capacidade de dormência das gêmulas. Outras diversas questões da época são abordadas e resolvidas na teoria da pangênese, como o porquê de certas características aparecerem em descendentes e parentais na mesma idade, a origem de aberrações do desenvolvimento, o surgimento de híbridos a partir de enxertos etc.

Uma vez que gêmulas de todas as épocas do desenvolvimento eram armazenadas nos órgãos reprodutivos, as mudanças que ocorressem no corpo de um indivíduo ao longo de sua vida também passavam a ser codificadas em parte de suas gêmulas podendo, portanto, ser passadas aos seus descendentes (GHISELIN, 1975). Deste modo, na pangênese, Darwin lançou mão de mecanismos para explicar a lei do uso e desuso associada à lei da herança de caracteres adquiridos, ideias muito discutidas nas salas de aula, mas que, geralmente, não são associadas ao nome de Darwin.

As concepções de uso e desuso e herança do adquirido estão sempre associadas à Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829). Embora estas concepções estejam, de fato, explicitadas nas duas últimas leis de seu sistema teórico, para a teoria evolutiva de Lamarck a questão da herança era secundária, sendo a ideia de evolução como aumento de complexidade o ponto central da sua teoria. (RODRIGUES & SILVA, 2011).

Ainda assim é à teoria de Lamarck que os trabalhos em herança epigenética vêm sendo associados. Estes trabalhos têm demonstrado que alterações nos padrões de expressão de genes podem ser herdadas, embora não sejam determinadas por alterações da sequência de DNA, mas sim por influências externas (JABLONKA & RAZ, 2009). A epigenética é uma

área da biologia ainda distante das salas de aula, mas que tem se desenvolvido com rapidez nas últimas décadas e já trouxe muitos fatos interessantes para o entendimento do fenômeno da hereditariedade. O resgate da herança do adquirido é, sem dúvida, o que mais vem chamando atenção.

As três pernas do tripé (a pangênese de Darwin, a teoria da evolução de Lamarck e o campo da epigenética) apresentam, portanto, um pressuposto em comum: a herança dos caracteres adquiridos. O objetivo deste trabalho é apresentar a teoria da pangênese numa nova perspectiva e defender a proposta de que seu exemplo histórico pode ser uma boa estratégia para introdução, no ensino médio, de ideias novas no campo da Biologia, como a epigenética. Mais que isso, a pangênese pode fornecer uma base melhor para discussão das distinções entre as teorias evolutivas de Darwin e Lamarck.

METODOLOGIA

Os textos de referência para este trabalho foram *Zoological Philosophy* (Lamarck, 1809), com relação à teoria lamarckista de evolução; *Variação de Animais e Plantas sob Domesticação (The variation of animals and plants under domestication)*, Darwin, 1868) com a relação à teoria darwiniana da pangênese e *Evolução em quatro Dimensões* (Jablonka & Lamb, 2010) para compreensão das novidades no campo da epigenética. Além dos textos de referência, foi realizado um levantamento bibliográfico cruzando as palavras-chave: Darwin, *epigenetic inheritance, epistemology, evolutionary theory, genetic, epigenetic, history of science, inheritance, Lamarck, Pangenesis*. O cruzamento foi feito com duas palavras-chave, três, quatro e assim por diante. Este procedimento determinou os melhores filtros para a recuperação de estudos históricos, teóricos e experimentais sobre estes temas. Os bancos de dados utilizados foram *Google Scholar, PubMed* e *Web of Knowledge*. As referências bibliográficas de todos os artigos obtidos foram, também, escrutinadas.

A interpretação da história das ideias referentes ao lamarckismo, pangênese e epigenética apresentada aqui teve como referencial teórico o materialismo dialético, na vertente epistemológica desenvolvida nos trabalhos de Silva (2001) e Solha & Silva (2004). Segundo estes autores existem dois aspectos importantes com relação à atividade científica. O primeiro diz respeito à ontologia, entendida como as relações materiais entre elementos tais quais o estado de desenvolvimento das técnicas, a tradição e interesses específicos da sociedade a que atendem as teorias. O segundo aspecto, de caráter epistemológico, é a relação entre o conhecimento e o seu referencial. Neste sentido, assume-se a posição de que o conhecimento científico é não representativo, embora traga alguma informação sobre o

mundo. Isto é o que Marx (1858) chamou de “concreto de pensamento” e Althusser (1985) de “objetos de pensamento”. Assim, a ideia de progresso do conhecimento é substituída por certa incomensurabilidade produzida em saltos qualitativos. Mais que isso, é possível imaginar situações nas quais teorias consideradas “ultrapassadas” possam ser re-significadas (Silva, 2001).

RESULTADOS & DISCUSSÃO

A “Hipótese Provisória da Pangênese” de Darwin apresenta diversas incoerências com nosso conhecimento atual acerca da hereditariedade, uma vez que as gêmeas, base dos mecanismos descritos por Darwin, jamais foram fisiologicamente descritas. Quanto a isso não há discussão, a teoria da pangênese não é relevante no que diz respeito ao conhecimento atual sobre a fisiologia dos mecanismos hereditários. Contudo, ela pode ser relevante num sentido histórico e pedagógico.

De maneira geral, a herança do adquirido remete automaticamente à Lamarck, especialmente dentro das escolas, aonde o lamarckismo vem associado exclusivamente às leis do uso e desuso e da herança dos caracteres adquiridos. A discussão de Lamarck dentro de sala cumpre o importante propósito de demonstrar que a teoria evolutiva darwiniana, aceita atualmente, não foi a primeira, muito menos a única, a ser proposta. Contudo, a teoria lamarckista é, também, quase sempre, representada em oposição à teoria evolutiva de Darwin em função da sua concepção de herança do adquirido. De fato, a concepção de evolução de Lamarck era bem diferente daquela defendida por Darwin em *A Origem das Espécies* (1859). Porém, esta disparidade não está representada nas leis do uso e desuso e herança dos caracteres adquiridos como é, normalmente, ensinado aos alunos de ensino fundamental e médio. Portanto, faz-se necessário uma mudança na abordagem das contradições entre as ideias de Darwin e Lamarck feita em sala de aula. Isto porque, no que diz respeito ao mecanismo de produção de variação nova e ao modo como ela é repassada aos descendentes, Darwin e Lamarck tinham ideias muito semelhantes. O que não é estranho, uma vez que estas concepções eram senso comum na comunidade científica dos séculos XVIII e XIX.

Onde se encontrava, então, a contradição entre as idéias de Lamarck e Darwin se eles compartilhavam as ideias sobre herança? A discordância diz respeito ao entendimento do processo evolutivo. Para Lamarck, o processo evolutivo se definia como uma tendência natural ao aumento de complexidade dos seres vivos, o que era explicitado nas duas primeiras leis do seu sistema teórico – “tendência para o aumento da complexidade” (1^a lei) e “surgimento de órgãos em função de necessidades que se fazem sentir e se mantém” (2^a lei) –

que não são discutidas em sala de aula. Darwin, por outro lado, não via tendência alguma na evolução que não fosse aquela da transformação da variação intrapopulacional em variação interpopulacional por força da seleção natural. Neste processo, seriam formadas novas espécies que, com o tempo, se distanciavam mais e mais das populações ancestrais. Portanto, na teoria da evolução darwiniana não há mais espaço para a ideia de aumento da complexidade dos seres vivos. A evolução acontece sem propósito e não está mais associada ao progresso, apenas à mudança. A metáfora da escada é substituída pela metáfora da árvore, na qual todos os grupos de seres vivos são representados por ramos igualmente evoluídos, sem hierarquia.

Desta forma, o exemplo da teoria da pangênese serve para evidenciar as semelhanças entre as ideias de herança entre Darwin e Lamarck e, ao mesmo tempo, marcar as diferenças importantes entre as teorias evolutivas dos dois autores. Assim, além de aumentar a precisão histórica do conteúdo “história das teorias evolutivas” em sala de aula, possibilita-se explicitar a verdadeira natureza da ruptura epistemológica (BACHELARD, 1984) presente n’A *Origem das Espécies* (“perspectiva materialista da variação” e “especiação como a transformação da variação intrapopulacional em variação interpopulacional”; SILVA, 2001).

Além da problemática Darwin *versus* Lamarck, outro tema muito discutido em sala de aula, no ensino médio, é o *status* de erro conferido às leis de uso e desuso e herança dos caracteres adquiridos. Desde que August Weismann (1834-1914) propôs, em 1893, que haveria uma separação entre linhagem somática e germinativa (teoria germe-plasma; MARTINS, 2003), as noções de uso e desuso e herança do adquirido passaram a ser desacreditadas no meio científico. Com o avanço da biologia molecular, a teoria de Weismann foi sendo reforçada e as ideias de uso e desuso e herança dos caracteres adquiridos foram abolidas da ciência moderna. Contudo, com o desenvolvimento recente da epigenética, tem sido demonstrado que a ideia de herança de caracteres adquiridos não deve mais ser considerada tão incorreta. Já é sabido que alterações epigenéticas – aquelas não codificadas na sequência de DNA, mas que representam uma mudança fenotípica – podem ser herdadas por várias gerações tendo importante papel no desenvolvimento, principalmente no que diz respeito à diferenciação celular. Por este motivo, os estudos envolvendo herança epigenética vêm sendo apelidados de uma “volta ao lamarckismo”. Porém, a ideia de herança de caracteres adquiridos não pode ser considerada tributária dos trabalhos de Lamarck, uma vez que, em seu tempo, essa concepção era amplamente aceita no meio científico.

Mais que isso, para teoria lamarckista da evolução a questão da herança era secundária, apenas uma crua reprodução do senso comum. De modo contrário, na sua

“Hipótese Provisória” Darwin utilizou a ideia de herança dos caracteres adquiridos como base para explicar diversos processos do desenvolvimento embrionário que, por sua vez, eram capazes de responder satisfatoriamente, à época, problemas que envolviam a questão de herança. Podemos concluir, então, que, na pangênese, Darwin operou a “cientificização” da ideia de herança dos caracteres adquiridos, retirando-a do senso comum. Ou seja, integrou a ideia numa hipótese heurística, que poderia ser adotada como diretriz, mesmo que provisória, para o estudo da hereditariedade (STANFORD, 2006).

Ademais, a teoria lamarckista propunha que todas as mudanças que os organismos sofriam ao longo do tempo eram produto de uma necessidade imposta pelo meio. Ou seja, o mecanismo que produzia mudanças funcionava como resposta direta às condições do ambiente. Essas mudanças são, agora, conhecidas como mutações (genéticas ou epigenéticas), sendo todas elas aleatórias. Ou seja, não se pode induzir uma mutação específica, nenhum mecanismo pode gerar um caráter em resposta a uma necessidade. Deste modo, qualquer área de estudo de evolução que entenda as variações como cegas, ou seja, variações que surgem sem função predeterminada, não deveria ser denominada neo-lamarckista. Neste sentido as descobertas da epigenética parecem ter muito mais relação com as ideias de Darwin do que com as de Lamarck propriamente ditas. Por este motivo, a teoria da pangênese se torna, também, uma boa maneira de introduzir, aos alunos de ensino médio, as novidades que a epigenética vem trazendo para a biologia.

Desta forma, discussões que estão hoje ausentes do currículo mínimo podem ser discutidas em sala de aula com o auxílio da teoria lamarckista e da hipótese darwiniana da pangênese. Mais que isso, há hoje uma intensa mitificação midiática do papel e função do DNA. De acordo com estas notícias, nosso código genético abriga as respostas para grande parte dos problemas da biologia e da medicina (SILVA & ANDRADE, 2012). Porém, é sabido que, entre o código genético e expressão dos caracteres, existe muito mais do que simples transcrições e traduções de DNA. Questões como a dificuldade de reconhecimento de regiões promotoras e reguladoras na regulação gênica, processos de edição, presença de íntrons etc. vem relativizando o próprio conceito de gene (SOLHA & SILVA, 2004). Estes problemas e a novidade da herança epigenética relativizam o determinismo biológico exacerbado presente na mídia e no cientificismo positivista. Assim, a discussão lamarckismo, darwinismo, pangênese e epigenética dentro de sala de aula permite a introdução de novidades referentes aos avanços recentes da Biologia e a desmistificação da falácia que gira em torno do DNA.

CONCLUSÃO

Enquanto a teoria lamarckista da evolução se preocupava prioritariamente com os mecanismos que davam origem a novos caracteres, a pangênese darwiniana tinha como objetivo propor novos mecanismos de herança para explicar questões sobre a hereditariedade para as quais ainda não se tinha resposta. Desta forma, assim como a moderna epigenética, a teoria da pangênese estava preocupada, sobretudo, com o problema da hereditariedade e da herança do adquirido. Mais que isso, em ambos os casos as variações surgiriam de maneira essencialmente aleatória, rompendo, portanto, com a teoria lamarckista.

Deste modo, podemos concluir que (1) a epigenética pode ser considerada mais tributária da pangênese que do lamarckismo e, neste sentido, o exemplo histórico da “Hipótese Provisória” de Darwin se mostra como um bom veículo para apresentação das novidades da epigenética em sala de aula e (2) a verdadeira discordância entre as ideias de Lamarck e Darwin não estava nas ideias de herança, mas na perspectiva do que era o processo evolutivo (aumento gradual da complexidade para Lamarck, perspectiva populacional para Darwin). Portanto, a discussão da pangênese em sala de aula, pode ser uma boa maneira de, com precisão histórica, descrever as semelhanças e diferenças entre as teorias destes dois naturalistas.

Assim, como conclusão geral deste trabalho, pode ser dito que o uso da história da ciência em sala de aula traz a surpresa de que velhas ideias podem ser úteis para introduzir novidades no ensino de biologia.

BIBLIOGRAFIA

- ALTHUSSER, L. *Freud e Lacan, Marx e Freud*. Rio de Janeiro: Edições Graal, 1985.
- BACHELARD, G. *Filosofia do não*. Lisboa: Presença, 1984.
- CASTANEDA, L.A. As idéias de herança de Darwin: Suas explicações e sua importância. *Revista da SBHC*, São Paulo, v. 11, p. 67-73, 1994
- DARWIN, C.R. 2002. *A Origem das espécies*. Belo Horizonte: Editora Itatiaia, 2012.
Tradução de Eugênio Amado da obra “Origin of Species”. London: John Murray, 1859.
- DARWIN, C.R. *The variation of animals and plants under domestication*. London: John Murray, 1868.
- GHISELIN, M.T. The rationale of pangenesis. *Genetics*, Maryland, v.79, p. 47-57, 1975.
- JABLONKA, E. & LAMB, M.J. *Evolução em quatro Dimensões*. São Paulo: Cia das Letras, 2010.

- JABLONKA, E. & RAZ, G. Transgenerational epigenetic inheritance: prevalence, mechanisms, and implications for the study of heredity and evolution. *The Quarterly Review of Biology*, Baltimore, v. 84, n. 2, p. 131-176, 2009.
- LAMARCK, J.B. *Zoological Philosophy*. London: MacMillan and co., 1914.
- MARTINS, L.A.P. August Weismann e evolução: os diferentes níveis de seleção. *Revista da SBHC*, São Paulo, v. 1, p. 53-75, 2003.
- MARX, K. *Grundrisse*. London: Pelican Books, 1858.
- RODRIGUES, R.F.C. & SILVA, E.P. Lamarck: fatos e boatos. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 48, n. 285, p. 68-70, 2011.
- SILVA, E.P. & ANDRADE, L.A.B. *Para um estudante de Biologia saber*. Niterói: UFF-CEAD, 2012.
- SILVA, E.P. A short history of evolutionary theory. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 671-687, 2001.
- SOLHA, G.C.F. & SILVA, E.P. Onde está o lugar do conceito de gene? *Episteme*, Porto Alegre, v. 19, p. 45-68, 2004.
- STANFORD, P.K. Darwin's pangenesis and the problem of unconceived alternatives. *Brit. J. Phil. Sci.*, London, v. 57, p. 121-144, 2006.