

O ensino de Genética no nível médio: a importância da contextualização histórica dos experimentos de Mendel para o raciocínio sobre os mecanismos da hereditariedade

Gilberto Oliveira Brandão *
Louise Brandes Moura Ferreira **

Resumo: O ensino de Genética no nível médio é geralmente dividido em Genética Clássica e Genética Molecular. Ao iniciar a parte Clássica é costume fazer uma abordagem histórica do conteúdo, apresentando Gregor Mendel como o monge isolado fundador da disciplina e seus experimentos como marco inicial da Genética. O objetivo do presente texto é contextualizar o período histórico e o ambiente acadêmico no qual Mendel desenvolveu e conduziu seus experimentos, bem como discutir e problematizar conceitos que são apresentados por ele em seu trabalho e que não são contemplados em sala de aula. Mendel estava inserido tanto num ambiente acadêmico altamente sofisticado quanto no contexto econômico e cultural da tradição dos hibridizadores da Morávia do Século XIX. No *Experimentos em hibridização de plantas* de 1866, Mendel se refere a essa tradição e propõe sua contribuição com respeito aos mecanismos para o desenvolvimento das plantas híbridas e não da hereditariedade em geral, como incorretamente atribuído a ele. A abordagem experimental empírica feita por Mendel aliada à formulação algébrica para explicar e prever os fenômenos da hereditariedade no cruzamento dos híbridos são detalhadas. Atribuições errôneas feitas a Mendel como o criador dos conceitos de genótipo e fenótipo são discutidas.

Palavras-chave: ensino de biologia; genética; ensino de genética; história da biologia; Mendel, Gregor.

* Gilberto Oliveira Brandão, Faculdade JK-Anhanguera Educacional, Campus Taguatinga, QS1 Rua 212, Lotes 11-15, Águas Claras, Brasília, DF 71950 550, gilberto.brandao@unianhanguera.edu.br

** Louise Brandes Moura Ferreira, Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina, Área Universitária No. 1, Vila Nossa Senhora de Fátima, Planaltina, Brasília, DF 73300 000, louise@unb.br

Genetics teaching at the high-school level: the significance of the historical context of Mendel's experiments to the reasoning on the mechanisms of inheritance

Abstract:: Genetics teaching at the high school level is usually divided into classical genetics and molecular genetics. When teaching classical genetics, instructors usually approach the subject matter from a historical point of view by portraying Mendel as the isolate monk who founded the discipline and by depicting his experiments as the landmark of genetics. The present paper aims to provide a context of Mendel's lifetime, the scholarly atmosphere in which he carried out his experiments as well as to highlight and discuss the concepts presented in his work that are not studied in the classroom. Mendel was both part of a highly sophisticated academic environment and of the economic and cultural tradition of the XIX century Moravia's hybridizers. In his 1866 *Experiments in plant hybridization*, Mendel refers to this tradition and sets forth his contribution regarding the mechanisms of hybrids crossing and the development of their offspring and not of all types of inheritance, as it is mistakenly attributed to him. A thorough analysis of the empirical experimental approach carried out by Mendel together with the algebraic formulation to explain and predict inheritance phenomena in hybrids crossing is detailed. Misguided views of Mendel as the creator of the genotype and phenotype concepts are discussed.

Keywords: biology teaching; genetics; genetics teaching; history of biology; Mendel, Gregor.

1 MENDEL E O MELHORAMENTO GENÉTICO

O melhoramento genético, ou a seleção de características específicas em plantas e animais que possam ser reproduzidas na prole, é algo tão antigo quanto as primeiras civilizações humanas. As espigas de milho de cor amarela e sabor doce consumidas por nós hoje são bastante diferentes de seu provável ancestral selvagem, o teosinte, da família das gramíneas. A domesticação do milho começou há 6.000 anos no sudeste do México e os Maias pré-colombianos já consumiam variedades de milho melhoradas por eles mesmos. Outro exemplo de melhoramento genético é a enorme diversidade de raças de cães domesticados. Em ambos os casos – milho e cães – permanecem dois princípios fundamentais da ação humana na natureza através dos tempos: a busca pela seleção de certas características desejadas e a intervenção, por meio de cruzamentos planejados, para a continuidade dessas características nas gerações futuras de plantas e animais (Conselho de Informações sobre Biotecnologia, 2008).

Na segunda metade do século XIX, Gregor Mendel (1822-1884) publicou uma pesquisa que mudou definitivamente o curso

dos experimentos para o melhoramento genético dos seres vivos e para o entendimento dos princípios da hereditariedade. Mas afinal, quem foi Mendel? Em qual contexto histórico e ambiente científico ele viveu? Qual a relevância do seu trabalho entre seus contemporâneos?

2 VIDA E OBRA DE MENDEL

Mendel nasceu em 20 de julho de 1822 na Morávia, então parte do império austro-húngaro numa família de agricultores. (Veja abaixo na Figura 1 o retrato de Mendel numa série de selos comemorativos). Aos 21 anos entra para a Ordem de Santo Agostinho no monastério de Brno (lê-se Burno), na cidade de Brno, hoje a segunda maior metrópole da República Tcheca. O monastério foi um centro intelectual importante no século XIX, dado que não havia nenhuma universidade na região. Nesse sentido, muitas atividades científicas e educacionais eram patrocinadas pelo monastério ou aconteciam em conexão com as atividades dos monges. Quando Mendel entrou para a Ordem aos 21 anos, a biblioteca do mosteiro, além dos livros religiosos, possuía várias obras de Botânica e Ciências Naturais. Instrumentos científicos de ponta usados na época também podiam ser encontrados no monastério (Asiedu, 2009).

Mendel teve como mentor o Abade Franz Cyril Napp (1792-1867), que dirigiu o convento de Brno e era um naturalista membro de diversas sociedades científicas voltadas para práticas em agricultura. Sob a orientação de Napp, Mendel estudou Física, Matemática e História Natural na Universidade de Viena durante os anos de 1851 e 1853 (Corcos & Monaghan, 1993). Ao voltar para Brno, Mendel foi professor de adolescentes dando aulas de Física e História Natural numa escola secundária daquela cidade por quatro anos. Ao retomar suas atividades no monastério, Napp constrói para ele uma estufa na qual pudesse continuar os experimentos botânicos que havia iniciado na graduação (Orel & Wood, 2000). Seguindo a trilha de seu mentor, Mendel também participou ativamente de diversas sociedades científicas voltadas para a pesquisa e prática agrícola tais como a Sociedade Zoológica e Botânica de Viena, a Sociedade Agrícola da

Morávia e a Sociedade de Ciências Naturais de Brünn (Corcos & Monaghan, 1993; Leite, Ferrari & Delizoicov, 2001; Mayr, 1998).

Historicamente, a pesquisa mais importante de Mendel foi a que realizou com o cruzamento de ervilhas da espécie *Pisum sativum*. Mendel passou aproximadamente oito anos trabalhando nesse experimento e, em 1866, publicou o resultado do mesmo nos *Anais da Sociedade de História Natural de Brünn* (Mendel, 1995).



Figura 1. Selo comemorativo lançado pelo Correio Alemão em 1939 com o retrato de Gregor Mendel em homenagem a uma série de cientistas alemães ilustres. Imagem disponível em:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Danzig_Gregor_Mendel_10_Pf_1939.jpg#filehistory>. Acesso em janeiro de 2008.

Mendel fez outras pesquisas com outros tipos de plantas até o ano de 1868, quando foi eleito Abade, e passou a se dedicar às tarefas administrativas do monastério. Ele faleceu em 6 de janeiro de 1884, aos 61 anos de idade.

3 MENDEL E A PESQUISA COM OS HÍBRIDOS

Mendel estava interessado no desenvolvimento e evolução dos híbridos e seus descendentes. Hoje sabemos que um organismo híbrido é produzido a partir do cruzamento de animais ou plantas de espécies diferentes. Entretanto, no período em que Mendel estudou os híbridos, a diferença entre espécie e variedade era considerada em bases diferentes das atuais. Muitas vezes o termo híbrido era utilizado para significar variedades numa única espécie diferindo em apenas uma ou poucas características. Nesse contexto, quando Mendel menciona os híbridos da ervilha *Pisum sativum* que usou em seus experimentos, ele se refere a variedades da planta sob essa ótica, ou seja, elas se distinguem umas das outras por uma ou mais determinadas características.

Dentre as principais questões dos cultivadores e criadores na segunda metade do século XIX estava a possibilidade de se criar novas variedades de plantas e raças de animais que fossem estáveis. Uma das idéias correntes na época era que o cruzamento entre variedades ou raças poderia propiciar o surgimento de novas variedades e, talvez, até mesmo de novas espécies.

O hibridismo, ou seja, a prática de se realizar cruzamento entre variedades de plantas ou raças de animais diferentes com o objetivo de obter certas características desejadas na prole, era um procedimento comum para a produção de novas formas e também para a investigação científica. Mendel seguiu a abordagem experimental dos hibridizadores que o antecederam. Eles tentavam:

1. Obter um espécime de uma planta pura para um estado de uma determinada característica e um espécime de uma planta pura para outro estado da mesma característica – a característica poderia ser, por exemplo, a cor das sementes de uma planta, que podia manifestar-se amarela ou verde, como no caso das ervilhas que Mendel examinou. Esse par de plantas era chamado de geração parental, depois abreviado para “P”.

2. Fazer o cruzamento dessas duas plantas puras, por meio de polinização artificial, isto é, colocando o pólen de uma planta sobre o estigma de outra planta da qual haviam sido removidas as anteras produtoras de pólen.
3. Observar o nascimento da prole obtida desse cruzamento e suas características – a essa prole Mendel deu o nome de “primeiros híbridos”, à qual, ao traduzir o texto de Mendel para o inglês, em 1902, William Bateson (1861-1926) agregou o termo “primeira geração filial”, cuja abreviação é “F₁”.
4. Fazer o cruzamento da prole [F₁] – embora Mendel não o tenha dito claramente, deixava ocorrer nesse estágio apenas a autofecundação, isto é, o pólen de uma flor fecundava o estigma da mesma flor.
5. Observar o nascimento dessa prole – a ela Mendel deu o nome de segunda geração híbrida, chamada por Bateson “segunda geração filial”, cuja abreviação é “F₂”.

O esquema abaixo pode ser utilizado para ajudar na visualização do procedimento descrito e os resultados obtidos por Mendel:

Geração Parental (P):

planta pura para um estado de uma característica × planta pura para outro estado da mesma característica

- Mendel observou uma única característica por vez, como, por exemplo, a cor da semente, que podia ser amarela ou verde.



Cruzamento

- Mendel realizou polinização artificial entre plantas distintas.



Geração dos primeiros híbridos (F₁):

observar as características presentes

- Mendel obteve apenas ervilhas amarelas



Cruzamento

- Mendel realizou apenas autofecundação.



Segunda geração de híbridos (F₂):

observar as características presentes

- Mendel obteve ervilhas amarelas e ervilhas verdes, na proporção de 3 para 1.

Atualmente o termo *variedade* é o termo mais comum para ressaltar as diferenças entre as características (ou fenótipos) das plantas. Entretanto, na época de Mendel o interesse dos hibridizadores era o desenvolvimento da planta, nesse sentido, a utilização do termo *estado de uma característica* reflete a transitoriedade dessa característica ao longo do desenvolvimento da planta.

Os resultados obtidos por essa abordagem eram: as plantas da geração F_1 (híbridas) possuíam apenas a característica de uma das formas parentais, no caso, sementes amarelas. Mendel chamou essa característica de “dominante”, em vez do termo “preponderante”, usado por outros autores da época. Já quando havia a autofecundação entre os primeiros híbridos, apareciam plantas com as duas características presentes nas plantas parentais: a dominante, que havia se manifestado nos primeiros híbridos, e a recessiva que era aquela que havia “desaparecido” nos primeiros híbridos e que voltava a aparecer na segunda geração (F_2). O termo “recessivo” foi cunhado por Mendel para substituir o termo “latente”, usado na época (Martins, 1997, pp. 3-5).

Até este ponto, pode-se observar que a investigação de Mendel não representa grande novidade para a época. Como vimos no esquema acima, ele adotou o mesmo procedimento experimental dos hibridizadores. Além disso, obteve resultados semelhantes, observando a manifestação da característica dominante na primeira geração híbrida (F_1) e o reaparecimento da característica recessiva na segunda geração (F_2).

Mas aqui reside uma das particularidades da sua pesquisa. Mendel concentrou-se na análise de *uma* única característica por vez, o que possibilitou mostrar que os híbridos da primeira geração não eram intermediários entre os pais, mas possuíam o estado de uma característica herdado de um dos membros da geração parental.

O segundo aspecto que permitiu a Mendel avançar em relação a seus contemporâneos é o de ele ter prestado atenção às proporções encontradas. Em média, para cada 4 plantas de F_2 , 3 eram amarelas e 1 era verde, de onde surgiu a famosa proporção de 3 para 1, denominada, no século XX, “1ª Lei de Mendel”. Na tabela abaixo estão os resultados obtidos por Mendel em cruzamentos entre variedades de ervilha, para a característica cor da semente:

Plantas puras	Características em F ₁	Autofecundação de F ₁	Características de F ₂	Proporção entre os tipos de F ₂
Amarela x Verde	Amarelas	Amarela x Amarela	6.022 amarelas 2.001 verdes 8.023 total	3,01: 1

Hibridizadores da época haviam descrito proporções semelhantes, mas que ficaram como registro de pouca relevância junto aos resultados. Mendel deu importância a esse dado, seguiu investigando-o estatisticamente e elaborou conclusões gerais. Realizou autofecundação das plantas da segunda geração e verificou que a proporção de 3 para 1 se decompunha, na terceira geração, na razão 2:1:1. Essa proporção confirmava que plantas híbridas acabavam por formar, na terceira geração, proporções iguais de puros e de híbridos. Hoje esta etapa do experimento de Mendel não é representada nos manuais de biologia, sendo explicada na própria geração F₂, em termos de genótipo: 1:2:1, isto é, AA:Aa:Aa:aa.

Outra contribuição de Mendel que permanece até os dias atuais é o uso da notação “A” como indicadora da característica dominante e “a” como indicadora da característica recessiva – embora tenha sido modificada para os atuais “AA”, “Aa” e “aa”.

Além desse estudo, Mendel também analisou a herança que envolvia duas ou mais características diferentes, encontrando proporções uniformes novamente. Em uma série de experimentos, ele cruzou plantas de sementes lisas e amarelas com plantas de sementes enrugadas e verdes. Todos os primeiros híbridos (F₁) portavam sementes com as características dominantes, lisa e amarela. Por meio de autofecundação de F₁, na geração seguinte (F₂) Mendel obteve os resultados que aparecem na quarta coluna da tabela que está mais abaixo.

Desses resultados empíricos, Mendel estimou que o resultado teórico esperado deveria ser aproximado para: a cada 9 sementes amarelas e lisas, 3 sementes verdes e lisas, 3 sementes amarelas e rugosas e 1 semente verde e rugosa. Essa proporção prevista para cruzamentos envolvendo dois pares de características constituíram o que veio a ser chamado, no século XX, a 2ª Lei de Mendel.

Plantas puras	Características em F ₁	Autofecundação de F ₁	Características de F ₂	Proporção entre os tipos de F ₂
Amarelo liso x Verde rugoso	Amarelo liso	Amarelo liso x Amarelo liso	315 amarelo liso 108 verde liso 101 amarelo rugoso 32 verde rugoso 556 total	9,8 : 3,4 : 3,2 : 1

4 A INOVAÇÃO DE MENDEL: OBSERVAÇÃO, REGISTROS PRECISOS E UMA FÓRMULA MATEMÁTICA

Na Universidade de Viena, Mendel estudou fisiologia vegetal e teve contato com os conhecimentos sobre as células e sobre as pesquisas de hibridizações desenvolvidas na época. Ao mesmo tempo, estudou e foi demonstrador de Física experimental, aprendendo sobre a necessidade de identificar variáveis, isolar efeitos e fornecer resultados quantitativos por meio de fórmulas matemáticas (Olby, 1985, p. 98). As suas habilidades matemáticas já eram manifestas na formação pré-universitária, especialmente ao estudar e realizar medições meteorológicas que o familiarizaram com o uso da estatística, característica que particularizou o tratamento que conferiu às questões acerca do desenvolvimento e evolução dos híbridos.

Um dos pontos importantes para o trabalho de Mendel foi a escolha do modelo biológico a ser testado. Ele optou pela planta *Pisum sativum*, a ervilha-de-cheiro, cujas condições de cultivo eram bem estabelecidas na região da Morávia. (Veja na Figura 2 uma ilustração botânica da *Pisum sativum*). Mendel preconizava que para os experimentos de hibridação deveria ser usada uma planta que apresentasse variáveis bem definidas e estabilizadas. Ele escolheu variáveis descontínuas, tais como a cor da flor e o formato da semente da ervilha, não havendo *gradação* entre essas variáveis, ou seja, uma flor tem a cor vermelha ou branca, por exemplo, uma semente é lisa ou rugosa, por exemplo, ao invés de variáveis cujo

valor pode ser fracionado, como o tamanho do caule de uma planta. Outra característica importante da planta que escolheu, é a de seus estames e pistilos serem encobertos pelas pétalas, o que conferia a capacidade dos ovários estarem protegidos contra grãos de pólen externos durante o período da floração, desde que a flor fosse coberta para evitar a ação polinizadora dos insetos. A autofecundação resultante permitia que o hibridizador tivesse controle sobre o processo de polinização. Como dizemos hoje, Mendel encontrou na *Pisum sativum* o modelo certo para sua pesquisa, pois ela possuía todas essas características.

A abordagem experimental de Mendel foi exatamente a mesma de seus predecessores, com a diferença que Mendel *contou e registrou* com precisão a quantidade de plantas que apresentavam variações dominantes e recessivas na geração F₂ à medida que realizava cruzamentos entre gerações para obter descendentes dos híbridos. A partir desses registros, um padrão matemático começou a surgir: a ocorrência de três plantas com variação dominante para uma planta com variação recessiva. Os experimentos de Mendel foram realizados com sete características de *Pisum sativum*. Para todas as características analisadas a razão de 3:1 sempre aparecia na geração F₂. Mendel obteve razões próximas a esse padrão, mas registrou os números exatos.

A explicação para as proporções encontradas foi representada na seguinte expressão algébrica, a qual utiliza letras para representar as variações encontradas para determinada característica:

$$A + 2Aa + aa$$

Segundo esta fórmula, a letra *A* representava a característica dominante e *a* representava a característica recessiva. Naquela época, Mendel não possuía a noção de genótipo – combinações dos alelos em um organismo e nem de fenótipo – manifestação das combinações alélicas, então não havia a distinção entre fenótipo e genótipo. Por esse motivo ele utilizou apenas uma letra para representar os organismos puros: esses tinham apenas uma variação e sempre geravam filhos com a mesma variação. Já nos híbridos era importante destacar a presença das duas características. Cada característica seria representada por um *elemento* que estaria presente nos gametas. Assim, pólenes e óvulos contribuíam cada um com um elemento, o que explicava porque todas as plantas da

geração F_1 eram híbridas. Todas haviam recebido um elemento diferente, um paterno e outro materno. A abordagem quantitativa de Mendel permitiu a ele a elaboração de uma regra geral que no século XX passou a ser chamada de 1ª lei de Mendel ou lei da segregação das características ou lei da pureza dos gametas.

Em outra série de experimentos, Mendel acompanhou os resultados do cruzamento de plantas duplo híbridas para duas características diferentes, como por exemplo, cor e forma das sementes. Ele descobriu que a proporção 3:1 se mantinha quando as características eram analisadas isoladamente, e que havia quatro combinações possíveis que apareciam em proporções diferentes, porém coerentes com a proporção 3:1. Se continuarmos considerando o exemplo da análise simultânea de cor e forma das sementes, as plantas se apresentaram com as seguintes combinações e proporções: 9 sementes amarelas e lisas; 3 sementes amarelas e rugosas; 3 sementes verdes e lisas; 1 semente verde e rugosa.

A partir do conjunto de observações com cruzamentos díbridos, ou seja, acompanhamento de duas características e suas variações provenientes dos cruzamentos dos híbridos, Mendel chegou a uma nova regra geral que, no século XX, passou a ser chamada 2ª lei de Mendel ou lei da distribuição independente das características. A distribuição dos elementos para uma determinada característica, como a cor da semente, não influenciaria nos elementos presentes para a forma da semente.

Os experimentos de Mendel são a base conceitual que possibilitou, mais tarde, a definição tanto de partículas físicas que continham a informação – cromossomos e genes – quanto do modo de transmissão desses genes de uma geração a outra. Os gametas têm apenas um alelo para cada característica analisada e a união dos gametas na fecundação restaura a condição dupla dos alelos presentes nos cromossomos paternos e maternos. Se as informações genéticas para duas características estiverem presentes em cromossomos diferentes ou se ambos estiverem no mesmo cromossomo em posições distantes, as “leis” de Mendel terão validade. Nesse caso haverá uma distribuição aleatória dos cromossomos e seus alelos e a proporção 9:3:3:1 poderá não ocorrer.

O trabalho de Mendel traz contribuições muito importantes para a Genética, entretanto, sua pesquisa não foi reconhecida até o início do século XX.



Figura 2. Ilustração botânica da *Pisum sativum* feita pelo naturalista Otto W. Thomé em 1885 na obra *Flora da Alemanha*. Destaque para as seguintes partes numeradas da planta mostrando desde o desenvolvimento do ovário até o fruto: (1) corte transversal representado as pétalas e com realce para as estruturas reprodutivas da flor (ovário com óvulos) e os estames, (2) destaque para os estames, e (5) vagem fechada. Imagem disponível em:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Illustration_Pisum_sativum_0.jpg>. Acesso em janeiro de 2008.

Alguns autores argumentam que Mendel não teve o reconhecimento necessário por seus pares por ter publicado muito pouco. Outra possível razão foi o fato de Mendel ter se correspondido com um botânico famoso, Carl Nägeli, que o desencorajou a enviar os resultados de seus experimentos para uma revista de Botânica mais conceituada, talvez por este defender uma teoria amplamente aceita na época que contrariava as descobertas de Mendel, a tese da hereditariedade por mistura, segundo a qual as informações paternas e maternas se misturam nos híbridos durante a fecundação (Freire-Maia, 1995).

5 A ABORDAGEM HISTÓRICA SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DE MENDEL PARA A GENÉTICA

Uma das tarefas mais complexas para o professor de Biologia do ensino médio é o início do conteúdo de Genética. Normalmente, se começa esse estudo pela abordagem clássica e histórica, que considera as contribuições dos experimentos e leis derivadas da pesquisa de Gregor Mendel como sendo o início da Genética. Nesse sentido, uma das principais dificuldades do professor ao ensinar a disciplina é contextualizar o período histórico e as idéias de Mendel. Um dos objetivos deste texto é fornecer informações históricas corretas e tentar desmistificar algumas concepções errôneas sobre as origens da disciplina. Uma das principais falhas veiculadas por alguns livros-texto está na contextualização histórica da Genética no que se refere às intenções de Mendel: o que ele estava tentando descobrir? Quais foram suas motivações ao realizar seus experimentos?

Para Wood e Orel (2000) Mendel foi compelido a investigar a questão dos híbridos por demandas econômicas de produtores locais da Morávia e também por razões acadêmicas; sua pesquisa pretendia ajudar os agricultores a desenvolver plantas híbridas que pudessem manter as características desejadas (Müller-Wille, 2007). Outra concepção errônea, conectada à essa, refere-se à idéia de que Mendel, sendo um monge, encontrava-se isolado. Mendel vivia em um mosteiro, é verdade, mas participava de muitas associações de criadores e agricultores, bem como sociedades acadêmicas (Leite, Ferrari & Delizoicov, 2001). Além disso, os mosteiros no século XIX possuíam vastas bibliotecas e havia um inter-

câmbio de informações de modo que Mendel estava inserido em uma cultura científica (Asiedu, 2009). Um dos principais problemas práticos discutidos nas reuniões das associações era a produção de novas variedades de plantas e animais que pudessem conter características de interesse comercial. Nesse sentido, já se sabia que a melhor forma de se conseguir novas variedades era por meio do cruzamento controlado, pois tal prática produzia híbridos que eram de grande interesse para criadores e agricultores.

Como colocado anteriormente, o termo híbrido nos dias atuais é utilizado para designar aquele organismo proveniente do cruzamento entre dois indivíduos de espécies diferentes, mas na época tal termo era utilizado para designar os descendentes de um cruzamento entre indivíduos de variedades pouco diferentes. Quando cruzados entre si, indivíduos puros de duas variedades distintas geravam uma descendência híbrida variada, de maior interesse econômico. Assim, os hibridizadores, pesquisadores que testavam os processos de cruzamento entre organismos puros e entre organismos híbridos, tinham interesse em estabelecer padrões de hibridização que pudessem atender aos criadores e agricultores. Como formar e manter novas variações provenientes de fertilização artificial?

Um fato intrigava os hibridizadores: muitos híbridos com características de interesse comercial, quando geravam descendentes, produziam os tipos parentais originais em sua prole. A geração parental era formada por organismos puros, cada qual com uma variação de determinada característica. Na primeira geração dos filhos havia a predominância de apenas uma das duas variações. Essa era considerada a variação dominante e estava presente no híbrido. Entretanto, quando se analisava a geração proveniente do cruzamento dos híbridos verificava-se que a outra variação aparecia, ou seja, a informação para a característica recessiva. Dessa forma, aquela característica que “desaparece” nos híbridos volta a aparecer nos seus descendentes. Os experimentos de hibridização em diversas espécies antes de Mendel não possibilitaram qualquer padrão ou modelo explicativo para esse problema.

Outro fato importante refere-se ao desenho experimental de Mendel. Sua abordagem constitui um exemplo da utilização do método experimental na Biologia e seus experimentos são elegantes, mas a verdadeira contribuição de Mendel está na utilização da

abordagem estatística para tentar resolver o problema dos híbridos (Allen, 2003; Corcos & Monaghan, 1993; Darden, 1991; Falk, 2007; Gliboff, 1999; Lorenzano, 2007; Orel & Wood, 2000; Sandler, 2000). Mendel apresentou seu trabalho de oito anos em encontros da Sociedade de História Natural de Burn em 1865, o qual foi intitulado em alemão, *Versuche über pflanzenhybriden*, sendo publicado nos Anais da Sociedade em 1866. Nesse trabalho, Mendel cita os pesquisadores que abordaram o problema da descendência dos híbridos, como Joseph Gottlieb Kölreuter (1733-1806), Carl Friedrich von Gärtner (1772-1850) e outros, embora nenhum deles tenha antes utilizado a abordagem quantitativa em seus experimentos de hibridização (Mendel, 1995). Charles Naudin (1815-1899), por exemplo, um contemporâneo de Mendel, que publicou suas pesquisas durante os anos de 1855 a 1869, estudou uma série de cruzamentos envolvendo diversos gêneros de plantas. Em seus trabalhos, Naudin enfatizava a relativa uniformidade da geração F_1 em comparação com a grande variabilidade da geração F_2 , mas ele não estabeleceu proporções matemáticas para relacionar a quantidade de plantas puras e híbridas nos descendentes da linhagem F_1 (Sturtevant, 2001, p. 7).

Uma das principais questões históricas em relação ao trabalho de Mendel refere-se às suas pretensões acadêmicas. A tese mais comum é a de que ele estava tentando estabelecer as bases da hereditariedade e descobrir as leis naturais que regulam a transmissão das características nos organismos. Em seu artigo, Mendel utiliza seguidas vezes a palavra *desenvolvimento* e, segundo Sandler (2000), esse conceito é chave para se entender as motivações de Mendel. O termo desenvolvimento deve ser compreendido de acordo com as concepções do século XIX. No início do século XX a redescoberta de Mendel e o estabelecimento da Genética como campo do conhecimento provocou a separação da hereditariedade dos processos de desenvolvimento, estudados pelos embriologistas. Entretanto, para um hibridizador do século XIX, hereditariedade e desenvolvimento eram processos indissociáveis. Assim, para Sandler, Mendel estudou não apenas a hereditariedade, mas os princípios do desenvolvimento dos híbridos e da geração proveniente do intercruzamento dos híbridos.

Um contraponto às idéias de Sandler vem de Gliboff (1999) que argumenta que Mendel estava mais interessado nas questões

da mudança das espécies e na importância da hibridização na produção de novas formas. Visualizar Mendel como um evolucionista nos faz pensar em Darwin e, realmente, Mendel leu o famoso livro de Darwin, *A origem das espécies*, uma vez que o monastério tinha uma cópia do mesmo; mas na época em que Darwin publicou sua teoria evolucionista da descendência com modificação pela ação da seleção natural, Mendel já havia iniciado sua série de experimentos com hibridização. Para Gliboff, a inspiração para os objetivos do trabalho de Mendel na investigação do papel dos híbridos na evolução orgânica veio das idéias de Franz Unger, um botânico austríaco. Este foi professor de Mendel na Universidade de Viena e utilizou a abordagem quantitativa em suas investigações sobre a biogeografia de plantas. Além disso, o foco das pesquisas de Unger estava em descobrir as leis da mudança no desenvolvimento das plantas, ou seja, em esclarecer processos do desenvolvimento do indivíduo, bem como na evolução do reino vegetal. Assim, para Gliboff, Mendel estava interessado em elucidar uma lei matemática da evolução orgânica. Para dar suporte a essa tese, Gliboff retoma o texto original de Mendel para argumentar que a palavra alemã *entwicklung* deve ser traduzida como evolução, e não como desenvolvimento como aparece nas traduções do texto de Mendel para a língua inglesa. Para ele, Mendel também estava interessado nos processos ontogenéticos do desenvolvimento, pois também utilizou o termo alemão *bildung* que denota esse significado. A utilização dos dois termos (*bildung* e *entwicklung*) na mesma frase seria forte indício de que Mendel estaria pesquisando não apenas o desenvolvimento dos híbridos e de sua prole, mas também a evolução de tais formas ao longo de gerações.

Um conceito importante para se entender o trabalho de Mendel é o termo *merkmale*, características, em português. Ele foi traduzido do alemão para o inglês como *characters*. (Mendel, 2001). Na interpretação de Hartl e Orel (1992), o termo foi utilizado originalmente por Mendel para significar a combinação de elementos ou fatores (que hoje denominamos “genótipo”) e também para designar a aparência (que hoje denominamos “fenótipo”). Segundo a interpretação desses autores, os símbolos mendelianos são notações algébricas que não apontam para entidades materiais reais biológicas. Durante a maior parte do texto de Mendel somos

apresentados às notações algébricas que representam a descendência dos híbridos. Mendel sabia que era necessária a união de gametas para que se iniciasse o desenvolvimento de um novo organismo e que provavelmente, tais gametas deveriam conter uma partícula física que portasse a informação para determinada variação, mas os elementos ou fatores não receberam destaque. Para ele era mais importante a elaboração de leis de segregação e distribuição independente das características nas gerações provenientes do cruzamento dos híbridos, do que a explicação dos mecanismos da hereditariedade pela transmissão das partículas físicas da herança.

Outro argumento relevante para a tese de que Mendel estava interessado no desenvolvimento e evolução dos híbridos e não apenas na hereditariedade, está na utilização dos símbolos alfabéticos. As variações de uma característica eram representadas no trabalho de Mendel por letras, sendo que a variação dominante era representada por uma letra maiúscula *A*, enquanto que a variação recessiva era representada por uma letra minúscula *a*. A representação algébrica da descendência do cruzamento dos híbridos utilizada por Mendel era:

$$A + 2Aa + a$$

Segundo a notação acima, *A* representava os organismos puros com a variação dominante, *Aa* os organismos híbridos, e *a* os organismos puros com a variação recessiva. Um geneticista moderno representaria os genótipos de organismos puros dominantes e recessivos por *AA* e *aa* respectivamente, mas Mendel não realizou a distinção entre genótipo e fenótipo; tais termos apareceram somente nos trabalhos de Genética do século XX tendo sido introduzidos na primeira década daquele século pelo botânico dinamarquês Wilhelm Johannsen (1857-1927) (Johannsen, 1911).

Muitos professores acreditam que Mendel estava interessado em provar a veracidade da teoria particulada da herança, embora reconheçam que o termo *gene* não era utilizado por ele. Mendel sabia que os híbridos não representavam uma mistura de seus pais, e que apenas uma das variações parentais se manifestaria no híbrido, embora a outra variação aparecesse nos descendentes do autocruzamento dos híbridos. Tal conhecimento já era compartilhado por hibridizadores anteriores a Mendel.

Sendo assim, quais foram as contribuições de Mendel para a Genética? Ele introduziu a análise estatística dos híbridos nas gerações F_1 , F_2 e gerações subseqüentes, cujos resultados foram descritos em termos numéricos. Analisou características separadamente, isoladas uma das outras. O tratamento estatístico levou-o ao estabelecimento das proporções entre organismos dominantes e recessivos na geração proveniente do autocruzamento dos híbridos: 3 dominantes para 1 recessivo e, posteriormente, analisando as gerações seguintes 1 puro dominante: 2 híbridos: 1 puro recessivo. Essas proporções matemáticas são a base do raciocínio mendeliano. É importante ressaltar que Mendel estava ciente de que essas proporções eram eventos probabilísticos, uma vez que em seu trabalho ele descreve as proporções reais observadas em seus jardins e não apenas a proporção esperada de 3:1 ou a de 1:2:1. Tais proporções possibilitam a elaboração do primeiro princípio da pureza dos gametas. Além disso, a análise das variações de duas características simultaneamente, o chamado cruzamento diíbrido, possibilitou a elaboração do princípio da distribuição independente das características na prole dos híbridos. A representação algébrica e as proporções matemáticas encontradas também eram complexas e necessitavam de confirmação com outros híbridos, além da *Pisum sativum*. Mendel realizou a mesma abordagem experimental para outras espécies, entre elas *Hieracium* sp. (Mendel, 2000) mas não foi bem sucedido. Naquela época não se sabia que a *Hieracium* sp. é uma planta que se reproduz assexuadamente por apomixia. Nesse tipo de reprodução as sementes contêm embriões que são formados sem fecundação, logo, são geneticamente idênticos à geração parental. Esses resultados fizeram com que Mendel ficasse bastante confuso com respeito à generalização dos resultados que encontrou com seus experimentos com a *Pisum sativum* para outras plantas (Nogler, 2006). Segundo Martins, os casos discrepantes apenas mostram que Mendel estava consciente de que as regras que havia encontrado para ervilhas não eram universais e precisavam ser confirmadas e repetidas em mais experimentos (Martins, 1997, p. 3-9). Essas experiências são um exemplo histórico da tese de que a construção do conhecimento científico muitas vezes acontece de forma não-linear.

Na sala de aula, os desafios de ensinar o raciocínio mendeliano sobre os mecanismos da hereditariedade também reside no fato de

que, ao tomar o primeiro contato com a Genética, o aluno deve aprender um vocabulário novo e dominar conceitos de biologia da reprodução, bem com se deparar, para muitos pela primeira vez, com uma abordagem quantitativa da Biologia (Wynee, 2001).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, Garland E. Mendel and modern genetics: the legacy for today. *Endeavour* **27** (2): 63-68, 2003.
- ASIEDU, Dita. *The Mendel Museum in Brno*. Radio Prague. Disponível em: <<http://www.radio.cz/en/article/82926>> Acesso em: 12 janeiro 2009.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. *Guia do milho: tecnologia do campo à mesa*. Conselho de Informações sobre Biotecnologia, São Paulo. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/cartilha_milho.pdf> Acesso em: 8 agosto de 2008.
- CORCOS, Alain F.; MONAGHAN, Floyd V. *Gregor Mendel's experiments on plant hybrids: a guided study*. New Jersey: Rutgers University Press, 1993.
- DARDEN, Lindley. *Theory change in science: strategies from Mendelian genetics*. North Carolina, Cary: Oxford University Press, 1991.
- FALK, Raphael. Genetic analysis. in MATTHEN, M.; STEPHENS. (eds.). *Philosophy of biology*. Amsterdam: North-Holland/Elsevier, 2007.
- FREIRE-MAIA, Newton. *Gregor Mendel: vida e obra*. in: FREIRE-MAIA, Newton (ed.). *Gregor Mendel: vida e obra*. São Paulo: T. A. Queiroz Editor, 1995.
- GLIBOFF, Sander. Gregor Mendel and the laws of evolution. *History of Science* **37** (2): 217-235, 1999.
- HARTL, Daniel L.; OREL, Vitezslav. What did Gregor Mendel think he discovered? *Genetics* **131**: 245-253, 1992.
- JOHANNSEN, Wilhelm. The genotype conception of heredity. *The American Naturalist* **45** (531): 129-159, 1911.
- LEITE, Raquel Crosara Maia; FERRARI, Nadir; DELIZOICOV, Demétrio. A história das leis de Mendel na perspectiva fleckiana. *Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **1** (2): 97-108, 2001.
- LORENZANO, Pablo. Filosofía diacrónica de la ciencia: el caso de la genética clásica, pp. 369-392, in MARTINS, L. A. P.;

- PRESTES, M. E. B.; STEFANO, W.; MARTINS, R. A. (eds.). *Filosofia e história da biologia 2: seleção de trabalhos do V Encontro de Filosofia e História da Biologia*. São Paulo: Fundo Mackenzie de Pesquisa-Mack Pesquisa e Livraria da Física Editora, 2007.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. *A teoria cromossômica da herança: proposta, fundamentação, crítica e aceitação*. Campinas, 1997. Tese (Doutorado em Genética e Evolução) – Universidade Estadual de Campinas.
- MAYR, Ernst. *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança*. Traduzido por Ivo Martinazzo. Brasília: Editora UNB, 1998.
- MENDEL, Gregor. *On hieracium-hybrids obtained by artificial fertilization*. Traduzido por William Bateson. New York, Cold Spring: Cold Spring Harbor Laboratory Press and Electronic Scholarly Publishing Project, 2000.
- . *Experiments in plant hybridization*. Traduzido por William Bateson. New York, Cold Spring: Cold Spring Harbor Laboratory Press and Electronic Scholarly Publishing Project, 2001.
- . *Versuche über Pfläzen-hybriden*. Disponível em: <www.mendelweb.org/mwger.text.html> Acesso em: 12 fev. 2008.
- MÜLLER-WILLE, Staffan. Hybrids, pure cultures, and pure lines: from nineteenth-century biology to twentieth-century genetics. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* **38**: 796-806, 2007.
- NOGLER, Gian A. The lesser-known Mendel: his experiments on Hieracium. *Genetics* **172** (2) :1-6, 2006.
- OLBY, Robert. *Origins of Mendelism*. 2a ed. Chicago: University of Chicago Press, 1985.
- STUTERVANT, Alfred H. *A history of genetics*. EUA, New York, Cold Spring: Cold Spring Harbor Laboratory Press and Electronic Scholarly Publishing Project, 2001. Disponível em: <<http://www.esp.org/books/sturt/history>> Acesso em: 12 fev. 2008.
- SANDLER, Iris. Development: Mendel's legacy to genetics. *Genetics* **154** (1): 7-11, 2000.

- WOOD, Roger J.; OREL, Vítězslav. Scientific breeding in central Europe during the early nineteenth century: background to Mendel's later work. *Journal of the History of Biology* **38** : 239-272, 2005.
- OREL, Vitezlav.; WOOD, Roger J. Essence and origin of Mendel's discovery. *Life Sciences* **323**: 1037-1041, 2000.
- WYNNE, Cynthia F. High school students' use of meiosis when solving genetics problems. *International Journal of Science Education* **23** (5): 501-515, 2001.