



# DNA E ENGENHARIA GENÉTICA

**Breno Pannia Espósito**

Coordenação:  
Luiz Carlos Pizarro Marin

## ILUSTRAÇÕES

Fernando Monteiro, Mozart Couto e Wilma Chiarelli

2ª edição atualizada

**Conforme a nova ortografia**



Copyright © Breno Pannia Espósito, 2005

**Saraiva Educação S.A.**

Avenida das Nações Unidas, 7221 – Pinheiros

CEP 05425-902 – São Paulo – SP

Tel.: (0xx11) 4003-3061

www.editorasaraiva.com.br

atendimento@aticascipione.com.br

Todos os direitos reservados.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Espósito, Breno Pannia

DNA e engenharia genética / Breno Pannia Espósito; coordenação Luiz Carlos Pizarro Marin; ilustrações Fernando Monteiro, Mozart Couto e Wilma Chiarelli. — São Paulo : Atual, 2. ed. 2015. — (Projeto Ciência).

ISBN 978-85-357-1996-3

1. Engenharia genética I. Marin, Luiz Carlos Pizarro. II. Monteiro, Fernando. III. Couto, Mozart. IV. Chiarelli, Wilma. V. Título. VI. Série.

CDD: 572-86

**Índice para catálogo sistemático:**

1. DNA e engenharia genética: Ciências da vida 572-86

1ª tiragem, 2018

**COLEÇÃO PROJETO CIÊNCIA**

*Gerente editorial executivo:* Rogério Carlos Gastaldo de Oliveira

*Assistente editorial:* Flávia Zambon

*Edição de texto:* Fernanda Almeida Umile

*Revisão de texto:* Solange Pereira, Sirlei Panochia

*Produtor editorial:* Elcyr Alberto de Oliveira

*Produtora gráfica:* Liliane Cristina Gomes

*Foto de capa:* Ed Honowitz/Getty Images

*Ilustrações:* Fernando Monteiro/Mozart Couto/Wilma Chiarelli

*Impressão e acabamento:*

Todas as citações de textos contidas neste livro estão de acordo com a legislação, tendo por fim único e exclusivo o ensino. Caso exista algum texto a respeito do qual seja necessária a inclusão de informação adicional, ficamos à disposição para o contato pertinente. Do mesmo modo, fizemos todos os esforços para identificar e localizar os titulares dos direitos sobre as imagens publicadas e estamos à disposição para suprir eventual omissão de crédito em futuras edições.

CL: 811435

CAE: 626486

# APRESENTAÇÃO

É interessante observar a quantidade de coisas que usamos sem saber como funcionam. Não se trata de uma experiência meramente pessoal; a humanidade sempre lançou mão de fenômenos e de elementos naturais para satisfazer suas necessidades, sem se importar muito se compreendia ou não seu processo de formação ou se conhecia sua composição. Um material tão trivial e insuspeito como o vidro, por exemplo, é fabricado e utilizado desde a época dos faraós, embora o entendimento do fenômeno que leva um punhado de areia a se tornar um produto rígido e transparente só tenha sido alcançado séculos depois. Vivenciamos todos os dias experiências como essa enquanto comemos. Se tivéssemos que conhecer todos e cada um dos processos fisiológicos pelos quais, por exemplo, a macarronada passa antes de chegar às nossas células a fim de conseguirmos aproveitá-la adequadamente, teríamos morrido de inanição há muito tempo.

Se eu, para escrever este livro em um arquivo de computador, tivesse que entender todos e cada um dos fantasmagóricos processos que ocorrem dentro dessa caixa que pisca e zumba (e às vezes trava), certamente estaria ainda às voltas com as rombudas máquinas de escrever do meu curso de datilografia.

Os exemplos poderiam se multiplicar, mas, como o tema a ser tratado aqui é a genética, uma reflexão parecida pode nos levar a apreciar melhor os intrincados caminhos que conduziram o ser humano desde o uso experimental das leis em que se baseia essa ciência até a compreensão e o início do domínio dessas leis.

Mesmo sem saber formalmente nada do que se sabe hoje sobre engenharia genética ou seleção das espécies, o ser humano de tempos antigos já aplicava as regras básicas dessas ciências para o seu benefício. Um exemplo dessa prática que logo nos vem à cabeça é o da criação de animais e de plantas domésticos: os antepassados selvagens desses seres vivos tinham algumas características que se destacavam e que, portanto, foram selecionadas de forma que seus descendentes as desenvolvessem ao máximo.

A constituição do melhor amigo do homem, o cachorro, é um bom exemplo dessa maneira de agir. Alguns membros dos seus ascendentes, os lobos, foram criados em cativeiro aqui e acolá pelo mundo, há milhares de anos, por razões que hoje podemos intuir: as habilidades desse animal como caçador, sua disposição para o trabalho em equipe, seu senso de obediência a um líder etc. Ao longo desses séculos de contato com o ser humano, esse animal semisselvagem foi se transformando, psíquica e biologicamente, no animal que hoje pode ser encontrado em muitíssimos lares pelo mundo afora.

Que a genética desempenhou um papel fundamental nessa transformação não se discute. Há muito tempo os donos de cães, em geral, perceberam que é melhor cruzar seu animal com algum outro que tenha boas características físicas e comportamentais, para que tais traços sejam transmitidos aos filhotes do seu animal. Evidentemente, também se torceu muito para que as características consideradas negativas, como eventuais doenças ou malformações, não fossem transmitidas.

Dizem que os esquimós, às vezes, deixam as cadelas que usam em seus trenós amarradas, na floresta, na esperança de que um lobo venha cobri-las para, desse modo, “melhorar o sangue” da prole. Sob essa ideia de “melhoria do sangue” está a noção de que alguma informação contida no corpo do pai a respeito de como fazer um corpo canino melhor pode passar para a mãe e ser levada em conta no processo de criação do corpo do filhote. Entretanto, antigamente, ninguém sabia como isso acontecia. As regras genéticas, mesmo que utilíssimas (lembre-se: não é só porque não sabemos explicar como funciona que não podemos usar), ainda constituíam uma arte, dependiam muito do tino do criador. Não eram uma ciência, ou seja, não formavam, conforme a definição de ciência do filósofo grego Aristóteles, um conhecimento certo, originado de causas bem determinadas.

A biologia teria que percorrer um longo caminho até compreender as regras que definem a genética. E elas começaram a ficar claras a partir do jardim de um mosteiro de uma pacata cidadezinha europeia em meados do século XIX.

**Breno Pannia Espósito**

# SUMÁRIO



## **MENDEL E OS ALICERCES DA SISTEMATIZAÇÃO** 5

O que uma ervilha pode nos ensinar?	5
A Primeira Lei de Mendel	7
A Segunda Lei de Mendel	10
Desvios da Segunda Lei de Mendel e a teoria dos cromossomos	11
Por que só os machos tinham olhos brancos?	12



## **A GENÉTICA NO NÍVEL QUÍMICO: O DNA** 16

Duas provas de fogo para a paciência	16
Duas provas de fogo para o DNA	17
A maior descoberta da biologia no século XX	19
O gene se faz notar: replicação, transcrição, tradução	21
Genoma e proteoma	27
Palavras trocadas: as mutações	29



## **ENGENHARIA GENÉTICA: OBJETIVOS DE SEMPRE, FERRAMENTAS NOVAS** 31

Transgênicos	32
Os genes doentes e os saudáveis	33
Genes protetores	34
Genes que curam	34
Genes da discórdia	36
Seres humanos transgênicos: a terapia gênica (TG)	37



## **FOTOCÓPIAS DE ORGANISMOS: A CLONAGEM** 39

Clonagem por bipartição de zigotos ou fissão gemelar	39
Clonagem por transferência de núcleo	41
Exército de mim	42
Fonte de matéria-prima	45



## **CONSIDERAÇÕES FINAIS** 49

Folha da Ciência	50
<i>Links</i> interessantes	54
<i>Websites</i> com animações e jogos	54
Filmes e documentários	55
Bibliografia sugerida	60

# MENDEL E OS ALICERCES DA SISTEMATIZAÇÃO



Martyn F. Chillmaid/SP/Latinstock

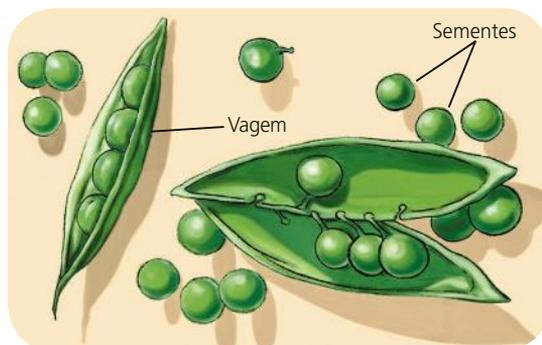
O monge agostiniano Gregor Johann Mendel (1822-1884) imortalizou-se na história da genética graças às perspicazes observações que fez das ervilhas-de-cheiro que plantava no jardim do mosteiro agostiniano de São Tomás, em Brno (hoje na República Tcheca).

## O que uma ervilha pode nos ensinar?

Corria o ano de 1856, e a ciência biológica ainda dava seus primeiros passos. De fato, o termo **biologia**, empregado para designar a ciência que estuda os seres vivos e as leis que os regem, começara a ser usado havia apenas meio século.

Na verdade, Mendel não foi sequer o primeiro a estudar a transmissão de caracteres hereditários em ervilhas. Aproximadamente trinta anos antes, três cientistas que trabalhavam independentemente um do outro, Thomas Knight, John Goss e Alexander Seton, cruzaram

diferentes variedades dessas plantas e observaram que algumas características delas predominavam sobre outras na primeira geração. Entretanto, nenhum dos três chegou a estabelecer uma relação matemática regular das proporções de surgimento dessas características.



Fruto (vagem) da ervilha-de-cheiro. Usadas por Mendel em suas experiências, essas ervilhas apresentam uma série de características favoráveis à pesquisa genética: são de fácil cultivo, possuem flores (o que facilita a fecundação manual e, portanto, o desenvolvimento de linhagens puras) e seus híbridos são férteis.

Você sabia?



Garibson/Creative Commons

Retrato de Gregor Mendel.

## A persistência de Gregor Mendel

Johann Mendel nasceu em 1822 em uma família de camponeses muito pobres, na aldeia de Heinzendorf, na Silésia austríaca (hoje Hyncice, pertencente à República Tcheca). Em 1843, decidiu ingressar no mosteiro agostiniano de São Tomás de Brno, na República Tcheca. Ao ser admitido, foi rebatizado, passando a se chamar Gregor Mendel.

Para completar sua formação, Mendel foi então enviado à Universidade de Viena, onde viveu de 1851 a 1853 e teve a oportunidade de conhecer professores ilustres.

Regressando ao mosteiro em 1854, iniciou um estudo sobre as leis da hibridação das variedades de vegetais. Como a direção do mosteiro exigia que seus membros ministrassem aulas nas instituições de ensino superior de Brno, muitos monges realizavam pesquisas científicas para ilustrar suas aulas.

A fim de realizar os experimentos que resultariam no clássico trabalho sobre as leis da hereditariedade, Mendel utilizou diversas espécies de ervilhas, cultivadas no jardim do mosteiro. Com elas, o monge foi o primeiro a estabelecer leis para explicar a variedade entre as plantas.

Em março de 1865, Mendel apresentou, em duas conferências para a Sociedade de História Natural de Brno, os resultados de suas pesquisas, os quais não despertaram

na comunidade científica interesse suficiente para serem levados a sério.

Publicados em 1866 na revista *Relatórios dos Trabalhos da Sociedade Natural de Brno*, esses textos tiveram algumas cópias enviadas a diversos países. Porém, devido à distribuição limitada, muitos dos grandes cientistas da época — como Charles Darwin — não tiveram acesso à publicação. Além disso, a melhor explicação para essa fria recepção talvez seja o fato de diversos trabalhos sobre as leis da hereditariedade terem sido apresentados na mesma época, sendo todos considerados absurdos e equivocados, de modo que o tema perdeu credibilidade no meio acadêmico.

Com base em sua teoria sobre hibridação, Mendel foi capaz de aperfeiçoar muitas variedades de plantas ornamentais, assim como algumas variedades de legumes e de árvores frutíferas, o que lhe trouxe certo reconhecimento em vida.

O reconhecimento maior pelo seu trabalho só chegaria, porém, em 1900, quando sua obra foi revista. Sem conhecer a obra de Mendel, nessa época três biólogos — o holandês Hugo de Vries, o alemão Carls Correns e o austríaco Erich Tschermak — obtiveram resultados idênticos aos dele em seus experimentos. Esses pesquisadores, por meio de consulta bibliográfica, verificaram que o trabalho do monge sobre hereditariedade havia sido publicado 35 anos antes. Para homenagear esse estudioso, denominaram as leis da hereditariedade de Leis de Mendel. Marcava-se, assim, o início da ciência chamada **genética**.

Texto baseado no artigo “Gregor Mendel: persistência nos jardins do mosteiro”, de Aparecido D. da Cruz e Antonio M. T. C. Silva, publicado em *Ciência Hoje*, jul. 2002.

Mendel confirmou tais padrões de dominância e foi o primeiro a estabelecer as relações matemáticas que explicavam adequadamente as proporções observadas. Ele definiu os alicerces para que se pudesse falar de uma ciência da hereditariedade (genética), pois quantificou os resultados de seus experimentos e organizou-os em uma hipótese capaz de explicá-los.

## A Primeira Lei de Mendel

As ervilhas-de-cheiro foram uma escolha extremamente feliz para os primeiros estudos da genética. Elas produzem muitas sementes, podem facilmente ser cruzadas por polinização artificial, ou seja, pode-se remover o pólen de uma planta para fecundá-la manualmente com o pólen de outra e — o que é mais importante no caso do estudo — possuem características bem marcantes e facilmente observáveis, como altura (alta: 1,5 m; baixa: 30 cm), cor (amarela ou verde) e forma da semente (lisa ou enrugada). Mendel supunha que esses “fatores” (cor, altura, forma etc.) estivessem registrados de alguma maneira nas plantas e que seriam transmitidos para as gerações seguintes por meio do processo de reprodução.

Os “fatores” que Mendel estudava recebem hoje o nome de **genes**. O gene, unidade de informação hereditária, controla determinada característica que o organismo terá. No seu próprio corpo, leitor, há dois genes para cada uma das características que o formaram: um gene veio do pai e o outro, da mãe. Cada gene pode ter várias “versões”. As “versões” de um gene recebem o nome de **alelos**. A importância do trabalho de Mendel foi precisamente identificar as bases das regras que regem a transmissão hereditária dos alelos.

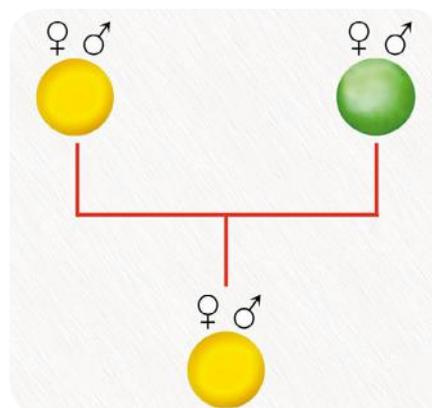
Vamos observar passo a passo como esse cientista estudou a cor das sementes. Ele utilizou plantas que produzem sementes amarelas, removeu seu pólen (elas são **hermafroditas**, ou seja, têm os genitais femininos e masculinos) e polinizou-as com o pólen de plantas que produzem sementes verdes (portanto, os dois alelos desse gene são “cor amarela” e “cor

verde”). A primeira geração de plantas nascidas desse cruzamento apresentava apenas sementes amarelas. E, mesmo que ele fizesse o contrário, ou seja, se polinizasse a planta de sementes verdes com o pólen das de sementes amarelas, a primeira geração dessas plantas era sempre de sementes amarelas.

Posteriormente, Mendel observou que as demais características das ervilhas também obedeciam a essa regra: a primeira geração de plantas altas cruzadas com plantas baixas era apenas de plantas altas, e a primeira geração de plantas com sementes lisas que fossem cruzadas com as de sementes enrugadas dava origem apenas a plantas com sementes lisas.

A partir dessas constatações, ele concluiu que, em um par de características, uma é sempre dominante sobre a outra. Quando “confrontados”, um dos alelos do gene tem preferência sobre o outro no momento de definir a característica da planta. A cor amarela é **dominante** sobre a verde; a forma lisa é dominante sobre a enrugada; e a alta estatura é dominante sobre a baixa. Dito de outra forma, a característica “verde” é **recessiva** em relação à característica “amarela”, e por aí vai.

Mas outras questões ficavam no ar: O que acontece com as características recessivas? Elas simplesmente desaparecem? Mendel obteve a resposta ao estudar as segundas gerações dessas ervilhas: cruzou entre si as plantas obtidas na



Na combinação de ervilhas amarelas “puras” (homozigotas) com ervilhas verdes “puras”, Mendel obteve apenas ervilhas amarelas.