

Liga Acadêmica de Divulgação Científica



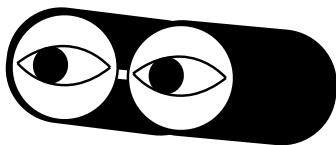
Ciência  
para ler



na  
Escola

GUILHERME B. GUZZO  
FERNANDA PESSI  
JULIA DANI  
BÁRBARA RONGEN

# Ciência para ler



na  
Escola

## **Fundação Universidade de Caxias do Sul**

*Presidente:*

José Quadros dos Santos

### **Universidade de Caxias do Sul**

*Reitor:*

Gelson Leonardo Rech

*Vice-Reitor:*

Asdrubal Falavigna

*Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação:*

Everaldo Cescon

*Pró-Reitora de Graduação:*

Flávia Fernanda Costa

*Pró-Reitora de Inovação e Desenvolvimento Tecnológico:*

Neide Pessin

*Chefe de Gabinete:*

Givanildo Garlet

*Coordenadora da EDUCS:*

Simone Côrte Real Barbieri

### **Conselho Editorial da EDUCS**

Alessandra Paula Rech

André Felipe Streck

Alexandre Cortez Fernandes

Cleide Calgaro – Presidente do Conselho

Everaldo Cescon

Flávia Brocchetto Ramos

Francisco Catelli

Guilherme Brambatti Guzzo

Matheus de Mesquita Silveira

Simone Côrte Real Barbieri – Secretária

Suzana Maria de Conto

Terciane Ângela Luchese

Thiago de Oliveira Gamba

## **Comitê Editorial**

Alberto Barausse

*Università degli Studi del Molise/Itália*

Alejandro González-Varas Ibáñez

*Universidad de Zaragoza/Espanha*

Alexandra Aragão

*Universidade de Coimbra/Portugal*

Joaquim Pintassilgo

*Universidade de Lisboa/Portugal*

Jorge Isaac Torres Manrique

*Escuela Interdisciplinar de Derechos Fundamentales Praeeminentia Iustitia/ Peru*

Juan Emmerich

*Universidad Nacional de La Plata/ Argentina*

Ludmilson Abritta Mendes

*Universidade Federal de Sergipe/Brasil*

Margarita Sgró

*Universidad Nacional del Centro/ Argentina*

Nathália Cristine Vieceli

*Chalmers University of Technology/Suécia*

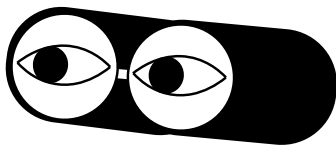
Tristan McCowan

*University of London/Inglaterra*



GUILHERME B. GUZZO  
FERNANDA PESSI  
JULIA DANI  
BÁRBARA RONGEN

# Ciência para ler



na  
Escola



© dos organizadores  
1ª edição: 2023  
Revisão: Giovana Letícia Reolon  
Editoração: Igor Rodrigues de Almeida  
Capa: Sabrina Danielli Dani

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
UCS – BICE – Processamento Técnico

C569 Ciência para ler na escola / organizador Guilherme B. Guzzo ...  
[et al.]. – Caxias do Sul, RS : Educs, 2023.  
Dados eletrônicos (1 arquivo)

Modo de acesso: World Wide Web.  
Apresenta bibliografia.  
Vários autores.  
ISBN 978-65-5807-248-5

1. Ciência. 2. Ciência - Estudo e ensino. I. Guzzo, Guilherme  
Brambatti.

CDU 2. ed.: 5/6

Índice para o catálogo sistemático:

1. Ciência 5/6  
2. Ciência - Estudo e ensino 37.016:5/6

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária  
Márcia Servi Gonçalves – CRB 10/1500

Direitos reservados a:



EDUCS – Editora da Universidade de Caxias do Sul  
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 – Bairro Petrópolis – CEP 95070-560 –  
Caxias do Sul – RS – Brasil  
Ou: Caixa Postal 1352 – CEP 95020-972 – Caxias do Sul – RS – Brasil  
Telefone/Telefax: (54) 3218 2100 – Ramais: 2197 e 2281 – DDR (54) 3218 2197  
Home Page: [www.ucs.br](http://www.ucs.br) – E-mail: [educs@ucs.br](mailto:educs@ucs.br)

## **Autores**

**Álvaro Cesar** (acesar@ucs.br)

Graduado em Letras-Ingês pela Universidade de Caxias do Sul. Tem experiência em Análise e Produção Textual, com ênfase nas técnicas e no uso da língua para a escrita.

**Bárbara Pivotto Roncen** (bproncen1@ucs.br)

Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade de Caxias do Sul (2020). Tem experiência nas áreas de limnologia, ensino de ciências, Educação Ambiental e curadoria de coleções científicas. Tem interesse nas áreas de divulgação científica, ecologia e educação popular.

**Diego Castellan Elias** (dcelias@ucs.br)

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade de Caxias do Sul. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFRGS. Tem experiência em Ecotoxicologia Aquática e Educação Ambiental. Atualmente desenvolve pesquisas em ecologia e entomologia.

**Felipe Gonzatti** (fgonzatti@ucs.br)

Bacharel e licenciado em Ciências Biológicas (2012). Mestre e Doutor em Botânica pelo Programa de Pós-Graduação em Botânica da UFRGS. Atua como professor adjunto na Universidade de Caxias do Sul (UCS) e curador do Herbário HUCS, da mesma Instituição. Tem experiência nas áreas de gestão de acervos, ensino de botânica, inventários florísticos, taxonomia e sistemática de plantas vasculares, em especial de samambaias e licófitas neotropicais.

**Fernanda Pessi de Abreu** (fpabreu1@ucs.br)

Graduada em Ciências Biológicas pela UCS. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da UFRGS. Tem experiência em mineração e aplicação de técnicas de inteligência artificial em dados biológicos, genética de fungos e expressão gênica diferencial em neoplasias. Atualmente, trabalha com citotaxonomia de Hymenophyllaceae.

**Gabriel Dall'Alba** (gdalba@phas.ubc.ca)

Graduado em Ciências Biológicas. Mestrando no programa *Genome Science and Technology* pela *University of British Columbia*. Tem experiência em Bioinformática, Filosofia da Ciência e Filosofia da Educação. Atualmente, investiga as origens da multicelularidade, através de modelos de diferenciação celular em ctenóforos.

**Gabriele Zenato Lazzari** (gabriele.lazzari@edu.pucrs.br)

Graduanda em Ciências Biológicas, na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS). Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da Biodiversidade da PUC-RS. Tem experiência com Educação Ambiental, Genética Evolutiva e Biologia Molecular. Atua no Laboratório de Biologia Genômica e Molecular da PUCRS, trabalhando com genética e conservação da onça pintada.

**Guilherme Brambatti Guzzo** (gbguzzo@ucs.br)

Licenciado e Bacharel em Ciências Biológicas pela UCS. Mestre em Zoologia pela PUCRS. Doutor em Educação em Ciências e em Matemática pela PUCRS. Atualmente, é professor na área do conhecimento da Vida da UCS e membro do quadro docente permanente no Programa de Pós-Graduação em Ensino de

Ciências e Matemática da mesma universidade. Tem experiência em: ensino de ciências, história e filosofia da ciência, e pensamento crítico.

**Julia Gabriele Dani** (jgdani@ucs.br)

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade de Caxias do Sul (2020). Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Botânica na UFRGS. Tem experiência em identificação de plantas, manutenção de herbários, Educação Ambiental, divulgação científica e ensino de ciências.

**Liliana Portal Weber** (lpweber@ucs.br)

Graduação em Farmácia pela UFRGS (1994). Mestra em Ciências Biológicas (Bioquímica) pela UFRGS (2000). Atualmente, é professora assistente na UCS e coordenadora do curso de Biomedicina. Tem experiência na área de Farmácia, com ênfase em imunologia, atuando, principalmente, nos seguintes temas: vacinas, diagnóstico imunológico de doenças infecciosas, dosagens hormonais e autoimunidade.

**Matheus Parmegiani Jahn** (mpjahn@ucs.br)

Graduado em Ciências Biológicas pela UFRGS (2001). Mestre (2004) e Doutor (2010) em Ciências Biológicas: Fisiologia, também pela UFRGS. Possui experiência em pesquisas com desreguladores endócrinos, utilizando modelos animais de doenças metabólicas, bem como atuação na área de Propriedade Industrial.

**Nikael Souza de Oliveira**

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). Técnico em enfermagem pela faculdade Fátima. Mestre em Biotecnologia pela Universidade de Caxias do Sul. Possui experiência na área clínica de atendimento ao paciente como técnico em enfermagem. Além disso, possui



experiência na área de pesquisa com triagem de enzimas e análises de Bioinformática com genômica e transcriptômica.

**Pedro Lenz Casa** (plcasa@ucs.br)

Graduado em Ciências Biológicas pela UCS e participa como integrante do Laboratório de Bioinformática e Biologia Computacional da UCS. Tem experiência na análise de características estruturais do DNA utilizando abordagens computacionais, bem como na predição de sequências regulatórias em bactérias. Além disso, tem conhecimento de técnicas de inteligência artificial aplicadas para a mineração de dados de origem biológica.

**Rafael Galiotto Thains** (RGThains@ucs.br ou rafagaliotto98@gmail.com)

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade de Caxias do Sul (2020). Tem experiência em Educação Ambiental, ensino de ciências/biologia, utilizando metodologias ativas e biotecnologia (com ênfase na área de enzimas, biomassa e produção de biocombustíveis) e interesse em botânica, principalmente, etnobotânica.

**Rodrigo Sebastian Iglesias** (rodrigo.iglesias@pucrs.br)

Graduado em Química (Bacharelado) pela UFRGS (1997). Mestre em Química Teórica pela UFRGS (2000). Doutor em Química pela Universidad Autónoma de Madrid (2006). Atualmente, é professor na Escola Politécnica da PUCRS e pesquisador no Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais, com experiência em tecnologias para as mudanças climáticas e em geoquímica aplicada ao armazenamento de carbono

**Sabrina Danielli Dani** (Sddani@ucs.br)

Atualmente, é estudante do Ensino Médio no Instituto Federal do Município de Caxias do Sul (RS) e bolsista de iniciação científica no laboratório de Bioinformática da Universidade de Caxias do Sul.

**Scheila de Avila e Silva** (sasilva6@ucs.br)

Graduada em Gestão da Tecnologia da Informação pela Unisinos e em Ciências Biológicas pela UCS. Mestra em Computação Aplicada pela Unisinos. Doutora em Biotecnologia pela UCS. Tem experiência em análise de dados, integração de bases de dados biológicas e aplicação de técnicas de inteligência artificial em dados genômicos.



# Sumário

- 13** Apresentação
- 17** Nomenclatura científica
- 21** O que torna a ciência diferente
- 27** O impacto da ciência de base na sua vida
- 31** Da mesma cor, mas diferentes: os tipos sanguíneos e a transfusão de sangue
- 37** Truque de mestre: como vacinas enganam o sistema e salvam vidas
- 45** Modelo ABC: o alfabeto floral
- 57** A odisséia do grão de pólen
- 65** O que um pequeno artrópode pode nos ensinar sobre a evolução do sangue?
- 75** Impostores da natureza: mimetismo
- 85** Lá e de volta outra vez
- 97** A catástrofe climática iminente: o calor que gera calafrios
- 115** E se eu disser que já tivemos araucárias na África?
- 121** Plantas medicinais: tradição e ciência



## Apresentação

Uma das grandes belezas da ciência – bem como do ensino de ciências – é a quantidade e a ubiquidade do que chamamos de seus produtos – desde as ideias interessantes que hão de ser tiradas do papel até as hipóteses e teorias que decifram e explicam o mundo ao nosso redor, e, finalmente, as criações e invenções próprias do empreendimento científico: celulares, vacinas, aviões, trens, submarinos, estações espaciais e telescópios, que enxergam os primórdios do Universo em que vivemos.

Como encaixar e transmitir, porém, tamanha riqueza dentro de um ano letivo? Para responder a essa pergunta, recordo-me de uma entrevista guiada pelo Prof. Guilherme Guzzo – um dos idealizadores desta obra – com o filósofo e escritor canadense Christopher Dicarlo. Ambos realçam o modo como educadores e educadoras são agraciados e agraciadas com um dos prestígios da Ciência: sua característica de ser, por si só, suficientemente fascinante.

Em outras palavras, um professor não precisa esforçar-se para mostrar a beleza da teoria da evolução por seleção natural, através dos exemplos observáveis na natureza, como a existência de seres que copiam a forma de outros para fugir da predação ou do surgimento das moléculas que transportam oxigênio ao longo de tantos organismos. Não precisam se esforçar para encantar enquanto apresentam o sistema imune e como não só ele naturalmente nos protege, mas como também somos capazes de utilizar seus princípios para reforçá-lo através de vacinas e, assim, combater enfermidades ou crises sanitárias globais, como a que seguimos enfrentando nos últimos anos.

Da mesma forma, professores não precisam se esforçar, quando discorrem sobre a deslumbrante riqueza animal e botânica encontrada, na natureza. Ao mostrar os modelos de desenvolvimento que resultam nas flores que embelezam jardins e paisagens naturais ou os igualmente fascinantes mecanismos de dispersão de grãos de pólen e suas íntimas interações com insetos e outros grupos polinizadores, elementos fundamentais na formação das paisagens naturais, que muitos de nós pelo menos apreciam pela sua vislumbrante estética.

Educadores podem também ensinar - através das mudanças que nosso Planeta sofre - valiosas lições quanto ao estado da natureza em que nós *também* estamos inseridos: os movimentos migratórios das tartarugas que mudam ou quando a atmosfera vai se alterando a partir de emissões de origem humana; fatos que exemplificam como é importante observar a natureza no seu estado atual e prestar atenção naquilo que a degrada, se quisermos que ela ainda seja capaz de abrigar vida, seja humana ou não.

Temas relevantes como estes são alguns dos quais esta obra se propõe a apresentar, de forma simples e cientificamente adequada, para que educadores possam abordá-los em sala de aula. Cada capítulo é escrito por profissionais das Ciências Biológicas, espalhados em diversas e, igualmente, fascinantes áreas específicas. O objetivo de cada um é convergente: tornar o ensino de ciências ainda mais relevante para os futuros cidadãos e cidadãs que sairão das salas de aula para o mundo.

Isso é feito através de uma exposição teórica sobre temas específicos, com exemplos que ajudam a ilustrar a importância e a ciência por trás deles. Indo

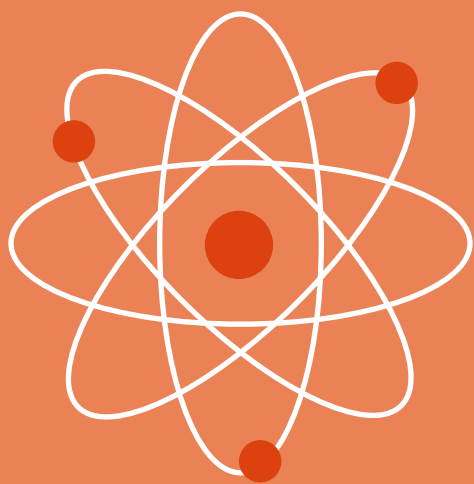
além, cada capítulo apresenta uma atividade que pode ser desenvolvida em sala de aula, para reforçar o aprendizado das mensagens mais cruciais de cada capítulo.

O aluno ou professor que tiver em mãos esta obra sairá capacitado para transportar o natural fascínio da ciência para dentro de sua própria mente e, potencialmente, para as mentes presentes nas salas de aula, espalhadas em nosso país, que clama por um resgate do valor que a ciência merece.

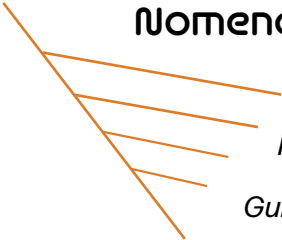
Obras como esta são exemplos de que o fascínio natural da ciência é contagiante. Quando surge a oportunidade, cientistas sentam-se e escrevem com prazer sobre aquilo que particularmente os fascina. Isso é um exemplo basilar da importância do ensino de ciências e da comunicação de ideias científicas. Faz sentido, então, que nós - cientistas e educadores - dediquemos nossos esforços, o fascínio e conhecimento também à ciência para ler nas escolas.

*Gabriel Dall'Alba*





# Nomenclatura Científica



*Julia Gabriele Dani*  
*Fernanda Pessi de Abreu*  
*Sabrina Danielle Dani*  
*Guilherme Brambatti Guzzo*

**E**m alguns capítulos deste *e-book*, você irá se deparar com palavras compostas e em itálico, como *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze ou *Appis mellifera* L. Estas se referem ao nome científico desses organismos, ou seja, à espécie à qual o indivíduo pertence. Por exemplo, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é o nome da espécie, ou nome científico, da planta conhecida popularmente como araucária ou pinheiro-do-Paraná. Ainda mais, pode existir mais de um nome popular aplicado a uma mesma espécie biológica. Da mesma forma, bergamota e mexerica, ou aipim e macaxeira são outros exemplos dessas confusões ocasionadas por variações culturais. Assim, com a finalidade de minimizar essas confusões e padronizar o nome das espécies; durante a História, estudiosos propuseram diferentes sistemas de nomenclatura.

O sistema de nomenclatura binomial foi criado pelo naturalista sueco Carolus Linnaeus com o intuito de nomear todos os seres vivos. Em 1753, esse novo sistema foi utilizado pela primeira vez em sua obra denominada *Species plantarum*. De acordo com as regras do sistema de nomenclatura, proposto por Linnaeus, os nomes científicos devem ser escritos em latim. O latim é uma língua morta, isto é, não é mais utilizada e, portanto, ela não irá sofrer modificações que possam alterar palavras e significados. Os nomes científicos também são binomiais, isso significa que são compos-

tos por dois nomes, sendo eles o epíteto genérico e o epíteto específico. O epíteto genérico sempre deve ser escrito com a primeira letra maiúscula e representa o gênero ao qual o organismo pertence. É uma categoria taxonômica, que agrupa um conjunto de espécies que compartilham características semelhantes. Já o epíteto específico sempre deve ser escrito com a letra inicial minúscula, sendo único para cada espécie dentro de um gênero. Dessa forma, a combinação de ambos (epíteto genérico + epíteto específico) compõe o nome científico e deve estar destacada em itálico, negrito ou sublinhado. Além disso, devem ser únicos e universais, ou seja, não existindo dois ou mais nomes científicos válidos para um mesmo ser vivo (Figura 1).



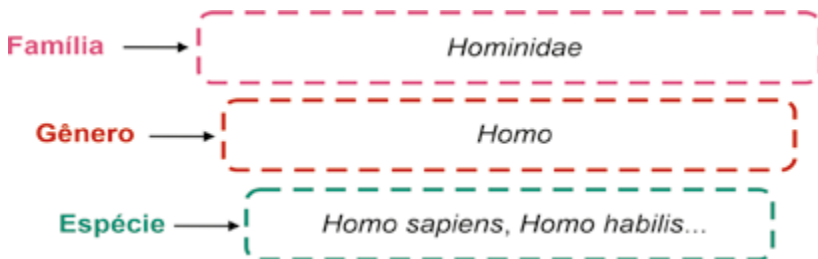
**Figura 1** - Exemplos de como são redigidos os nomes científicos. No primeiro exemplo, está representado o nome científico de uma espécie animal, já no segundo de uma espécie vegetal

**Fonte:** Os autores.

Outro aspecto importante dos nomes científicos é serem acompanhados pelo nome do pesquisador que os descreveu. Para plantas, algas e fungos ocorre somente o acréscimo do autor; contudo, no caso dos animais, o ano em que a espécie foi descrita também

é adicionado. Os autores, assim como o ano, devem ser escritos com a inicial maiúscula e nunca em itálico. Em alguns casos, a espécie pode mudar de epíteto específico, ou até mesmo de gênero. Nestes casos, mantém-se o nome de quem a descreveu e, em seguida, entre parênteses o nome da pessoa que a alterou.

A utilização das categorias de espécie e gênero, sozinha, não é suficiente para organizar todas as espécies biológicas existentes no Planeta. Visto isso, existem outras categorias taxonômicas que foram criadas para auxiliar nesse processo. Dentre as mais conhecidas estão: o reino, o filo, a classe, a ordem, a família, o gênero e a espécie. O reino é o mais abrangente; em cada classificação, mais restritas e mais semelhantes ficam as características entre os organismos. No entanto, as categorias de família, gênero e espécie são as mais utilizadas (Figura 2).



**Figura 2** - Exemplos de categorias de classificação iniciando pela mais abrangente, a família, seguida por gênero e espécie

**Fonte:** Os autores.

As espécies biológicas podem ser identificadas por meio de nomes populares, que todos conhecem e são característicos, de acordo com a região. No entanto, esses não são suficientes para uma correta comunicação em ciência; visto isso o uso dos nomes

científicos torna-se imprescindível. Apesar de algumas espécies terem múltiplos nomes populares, essas são representadas por um único nome científico. Sendo assim, em qualquer lugar do Planeta poderemos saber de qual espécie se trata, não havendo confusão devido às variações culturais.

Para a elaboração deste capítulo, foi utilizado como fonte o livro *Sistemática vegetal: um enfoque filogenético*, escrito por Walter S. Judd; Christopher S. Campbell; Elizabeth A. Kellogg; Peter F. Stevens e Michael J. Donoghue.

## Sugestões de atividades práticas

1. Individualmente, os alunos devem pesquisar cinco nomes científicos de plantas e/ou animais que fazem parte do seu cotidiano. O objetivo da atividade é familiarizar os alunos com a nomenclatura científica e inseri-la no seu dia a dia.

Para fonte de consulta, os alunos e professores podem utilizar os seguintes *sites*:

SpeciesLink: <http://www.splink.org.br/index?lang=pt>

Reflora 2020: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do>



## O que torna a ciência diferente

*Guilherme Brambatti Guzzo*

As aulas de Ciências e Biologia, das quais fomos – ou somos – alunos, podem nos ter sugerido que a ciência é, basicamente, um conjunto de ideias que nos ajuda a explicar o mundo. Essas ideias são obtidas por cientistas, através da aplicação daquilo que, normalmente, chamamos de “método científico”. Apesar de haver algo de verdadeiro nessas duas concepções, a história do que é a ciência e de como ela é conduzida é mais complexa.

A ciência realmente compreende um conjunto de ideias (hipóteses, teorias, conclusões) a respeito de como o mundo é. Podemos chamar esse conjunto de ideias de “produtos” da ciência. Sabemos, por exemplo, a respeito da origem da diversidade da vida, porque compreendemos a ideia de evolução por seleção natural. Fenômenos como a seleção natural, a lei da gravidade, a replicação viral, a fotossíntese, dentre outros, são objeto de estudo da ciência, e aprendemos sobre eles no Ensino Fundamental e Médio. Os produtos da ciência são essenciais, para que possamos entender o mundo, mas a ciência não é composta apenas por eles.

Parte importante da ciência – talvez a mais importante – diz respeito aos processos científicos de investigação, isto é, às maneiras como conseguimos chegar aos produtos da ciência. Você pode estar pensando que esse é o tal “método científico”, e é quase isso.

“Quase”, porque não existe um único método de pesquisa científica. Em outras palavras, não há “o” método científico. Se quisermos ser mais justos ao descrever como ocorrem as pesquisas científicas em diferentes áreas, podemos falar em métodos científicos, ou em métodos de pesquisa científica. Assim, no plural, considerando que as estratégias ou etapas empregadas em investigações paleontológicas não são exatamente as mesmas utilizadas por cientistas, que estão desenvolvendo um medicamento ou testando uma vacina. Há, obviamente, etapas sobrepostas e métodos semelhantes, mas nem tudo é igual. Por isso, a concepção de que existe um único método científico não é adequada.

Algumas representações de ciência, frequentemente, encontradas em livros didáticos do Ensino Fundamental e do Ensino Médio, nos dizem que o “método científico” é o que torna a ciência diferente das demais maneiras que as pessoas utilizam para investigar o mundo. Mas, se não há “o” método, ou um único método, este não pode ser o diferencial da ciência.

As investigações científicas não implicam apenas o uso de certos procedimentos (ou métodos), mas também as maneiras de pensar sobre como podemos reduzir o erro ou o autoengano. *O trabalho em comunidade é a principal dessas salvaguardas contra o engano.*

As ideias científicas nunca derivam da cabeça de uma única pessoa. Esse é um dos diferenciais da ciência com relação a outras formas de pensar sobre o mundo, como a religião e a experiência pessoal, por exemplo. Mesmo que existam sujeitos extraordinários na ciência, como Marie Curie e Charles Darwin, seus *insights* se basearam em trabalhos de pessoas que

vieram antes deles e que os influenciaram. E, da mesma forma, até a obra de gigantes como Curie e Darwin tem passado pela avaliação dos cientistas que vieram depois deles, e que atuam revisando, aprimorando ou mesmo rejeitando certas conclusões.

Assim, se considerarmos que o conhecimento de biologia evolutiva que temos deriva somente do trabalho de Charles Darwin, estamos simplificando uma história que poderia nos contar muito a respeito de como a ciência funciona. É inegável que Darwin teve um papel fundamental ao articular o conceito de evolução por seleção natural, tornado famoso em seu livro *A origem das espécies*. Sem a obra, talvez demorássemos mais tempo para compreender os processos evolutivos responsáveis pela diversidade da vida (Alfred Russel Wallace chegou de forma independente a conclusões muito semelhantes às de Darwin mais ou menos na mesma época, mas o próprio Wallace afirmou que se sentia “realmente agradecido por não se ter deixado para mim [a tarefa de] dar a teoria ao mundo”<sup>1</sup>; considerando que Darwin havia sido mais habilidoso ao elaborar *A Origem*).

Após Darwin, a teoria da evolução por seleção natural continuou a ser articulada por várias pessoas trabalhando em diversas áreas do conhecimento. Campos como o da genética, praticamente desconhecida na época da publicação de *A origem das espécies*, foram desbravados por cientistas, a partir do início do século XX, e isso possibilitou maior compreensão de alguns aspectos da evolução (como, por exemplo, a origem da variação entre indivíduos de uma população).

---

<sup>1</sup> Citado em BROWNE, J. *Darwin por Darwin: um panorama de sua vida e obra através de seus escritos*. Rio de Janeiro: Zahar, 2019, p. 157-8.



Não saberíamos o que sabemos hoje sobre evolução se Charles Darwin fosse o último cientista a investigar o tema. Darwin fez contribuições inestimáveis ao nosso conhecimento a respeito do mundo, com sua ideia de evolução por seleção natural, mas ele não foi o primeiro, nem o último, a se debruçar sobre o assunto.

Qualquer outra proposição científica tem uma história parecida: muitas pessoas que trabalham coletivamente, para avaliar as ideias umas das outras, como em uma comunidade de investigação global e sem fim. A dinâmica desse processo varia, mas uma versão simplificada dele se parece com o seguinte: um(a) cientista lança uma ideia, amparado(a) em conhecimento ou *insights* anteriores; essa ideia é avaliada por outros pesquisadores, que podem analisar como o trabalho anterior foi realizado, replicá-lo ou conduzir pesquisas semelhantes; se a proposição passa por esses primeiros testes, é um bom indício, mas não definitivo, de que ela é, provavelmente, verdadeira; quanto maior for a importância de uma conclusão, normalmente mais pessoas irão se interessar por ela e testá-la de diferentes maneiras.

Esse conjunto de testes ocorre em diferentes locais e diferentes épocas, o que significa que pessoas que nunca se viram, que nunca trabalharam juntas ou que sequer viveram em um mesmo espaço de tempo podem contribuir para o avanço de um mesmo campo científico. Essas pessoas, que de alguma maneira trabalham, conjuntamente, podem aperfeiçoar, ampliar, corrigir ou até refutar as ideias propostas por outras e, assim, aprimorar o nosso entendimento de mundo.

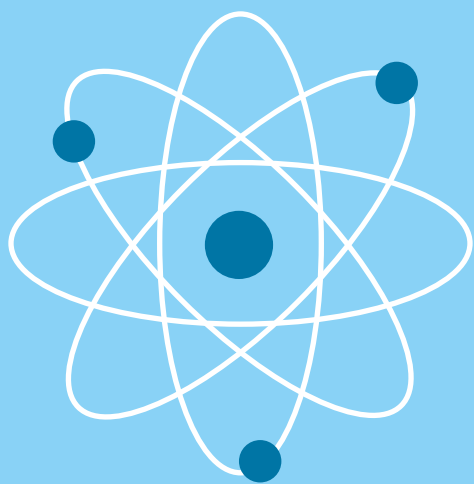
O processo contínuo de avaliação de ideias por comunidades de investigadores torna a ciência di-

ferente de qualquer outra forma humana de pensar sobre o mundo. A ciência admite que as pessoas são falíveis em suas formas de conhecer, e por isso concebe mecanismos para detectar e corrigir erros através da participação de mais pessoas na avaliação de ideias. Esses mecanismos não nos garantem que as conclusões científicas serão Verdades Absolutas, inquestionáveis e imutáveis com o passar dos anos. Mas eles nos dão alguma confiança de que os erros e as más concepções tendam a ser encontrados e corrigidos ao longo dos processos de pesquisa e, com isso, a nossa visão de mundo seja cada vez mais próxima daquilo que é humanamente possível chegar da verdade.

## Sugestões de atividades práticas

1. Pense em ideias científicas que estão normalmente associadas ao nome de um ou alguns poucos cientistas (como a evolução e Darwin, a estrutura do DNA e Watson e Crick), e procure saber mais sobre outras pessoas que contribuíram para a estruturação dessas ideias. Quem foram essas pessoas, e quais foram suas contribuições?

2. Busque informações sobre como pesquisas científicas são conduzidas em distintas áreas da ciência e identifique métodos e estratégias de pesquisa semelhantes e diferentes entre elas. (Sugestão: entre em contato com cientistas que trabalham em linhas de pesquisa variadas, e pergunte a eles como as pesquisas são realizadas em cada área, isto é, quais são os métodos utilizados durante suas investigações científicas).





## O Impacto da Ciência de Base na sua Vida

*Julia Gabriele Dani*

*Álvaro Cesar*

*Guilherme Brambatti Guzzo*

No momento em que você estiver lendo este livro, em diversos lugares do mundo, cientistas estão trabalhando arduamente para descrever uma espécie nova. Para que esse trabalho científico aconteça, há uma área da ciência responsável por estudar, nomear e classificar espécies, a qual é chamada de taxonomia, sendo os pesquisadores responsáveis por esses trabalhos chamados de taxonomistas.

Um fator importante é estabelecer a nomenclatura científica de determinados grupos de organismos biológicos, pois alguns possuem características diversas, podendo ter diferentes espécies, em que, muitas vezes, as semelhantes apresentam níveis de toxicidade distintos, no caso das plantas: enquanto uma pode ser tóxica, a outra pode ser inofensiva. Quando um composto proveniente de uma planta é utilizado para fabricação de um medicamento, é preciso que sua espécie seja conhecida, evitando a confusão entre plantas similares, mas que possam possuir compostos diferentes.

Além disso, o estudo de espécies vegetais pode servir como base para descobertas de mecanismos utilizados pelas plantas, que podem ser utilizados para desenvolver um novo tipo de tecnologia. Um exemplo disso é o efeito lótus, em que uma rugosidade nanométrica, que não pode ser vista a olho nu, gera um efeito de superhidrofobia no momento em que a água passa

pelas folhas do vegetal, carregando a sujeira com ela e escorrendo sem ser absorvida.

Considerando que as plantas precisam da incidência de luz sobre suas folhas para a fotossíntese, não é vantajoso evolutivamente para elas que o pó se acumule formando uma camada de sujeira pela qual a luz não penetra. Esse mecanismo foi descoberto na década de 70 pelo botânico alemão Wilhelm Barthlott, que, ao observar algumas gotas escorrendo pelas folhas de lótus, perguntou-se por que aquele fenômeno ocorria. Alguns anos depois, novos produtos começaram a ser desenvolvidos utilizando o efeito de superhidrofobia: essa propriedade pode ser utilizada em roupas, carros e, até mesmo, em tintas para telhados. Essa seria uma alternativa sustentável, pois evita o desperdício de água e o uso de agentes limpantes que contaminam o meio ambiente.

Inicialmente, o efeito lótus parece ser simples, entretanto, essa descoberta é resultado de uma investigação em que o conhecimento, e não a tecnologia, era o resultado final; concomitantemente, muitas pesquisas científicas visam à produção de conhecimento, sendo seus objetivos, geralmente, explicar sobre como ou por que um fenômeno ocorre: essas pesquisas são chamadas de ciência de base: pura, fundamental, ou do conhecimento. A maioria das áreas da ciência, a exemplo da taxonomia, incluem pesquisas de base, as quais não trazem lucro imediato, não possuindo como objetivo final um produto que pode ser vendido para que o investimento realizado naquela pesquisa retorne de forma imediata. Diferentemente da ciência de base, existe a aplicada, que é responsável por resolver algum problema, gerando um produto final com um valor de mercado, como medicamentos, produtos

eletrônicos ou tecnologias que possam melhorar itens já existentes.

Assim que uma descoberta na área da ciência de base é realizada, as suas implicações no futuro não podem ser previstas com precisão – justificativa pela qual pode ser taxada como inútil –, entretanto, sem esse processo, o desenvolvimento da ciência aplicada não existe, pois, assim, não se terá a base. Por exemplo, quando a eletricidade foi descoberta e estudada por meio da ciência de base, muitas pessoas a caracterizaram como inútil, sem saber que iriam precisar utilizá-la, até que se tornou necessária e indispensável.

A falta de um retorno imediato faz com que as pesquisas em ciência de base sejam desvalorizadas pela população, pelos investidores e até mesmo por parte da comunidade científica, refletindo na ausência de investimentos para essa área, o que faz com que, geralmente, a iniciativa privada opta por investir em pesquisa aplicada, já que esta traz um retorno mais rápido. Nesse sentido, cabe à iniciativa pública suprir as necessidades da pesquisa de base. Além disso, quando as verbas são cortadas, essa área também é a primeira a ser afetada.

A ciência de base representa mais do que o retorno financeiro pode desejar, ela representa anos e anos de dedicação a uma causa: o conhecimento. O *Homo sapiens* é a espécie capaz de pensar de forma mais analítica sobre o mundo e desenvolver ideias bastante complexas sobre ele, e é essa capacidade de gerar conhecimento o que nos diferencia do resto dos seres vivos, o que nos fez alcançar grandes façanhas, como viagens à Lua. Esse conhecimento, gerado pela pesquisa de base, pertence à sociedade como um todo, por mais que muitas pessoas não cheguem a ter

acesso a essa dádiva científica. O conhecimento por si só, o saber pelo saber é tão belo que transcende gerações, sendo o único elemento, ou característica, que não pode ser tirada de nós. Quando um taxonomista descreve uma nova espécie, o conhecimento sobre essa espécie pertence à humanidade e não a ele, os compostos que podem ser extraídos dessa espécie posteriormente vão compor um medicamento que poderá (ou pelo menos deveria) ser usado por todas as pessoas que necessitarem dele.

Além disso, o conhecimento da biodiversidade não contribui apenas para maiores índices de bem-estar em seres humanos. Pesquisas de base em áreas como ecologia permitem um melhor entendimento sobre os ecossistemas, possibilitando a elaboração de políticas públicas que melhorem a preservação das espécies. É preciso conhecer os organismos e suas relações para que possamos preservá-los e assim deixar um mundo melhor para as futuras gerações.

## Sugestões de atividades práticas

1. Qual a importância da ciência de base para a sociedade?
2. O que podemos fazer para valorizar a pesquisa de base?
3. Para que serve o conhecimento científico?

# Da mesma cor, mas diferentes: os tipos sanguíneos e a transfusão de sangue



*Nikael Souza de Oliveira  
Fernanda Pessi de Abreu  
Scheila de Avila e Silva*

**S**angue é o nome dado ao líquido vermelho encontrado no interior dos animais. É constituído de água e proteínas (plasma), assim como outros elementos denominados de plaquetas, leucócitos e eritrócitos. O sangue possui funções essenciais para a sobrevivência, como regulação da temperatura, proteção contra patógenos e transporte de nutrientes e oxigênio. Nesse sentido, o principal componente do sangue, que auxilia no transporte do oxigênio, é a hemoglobina, presente livre no plasma e dentro dos eritrócitos.<sup>2</sup>

Os eritrócitos, também chamados de hemácias, possuem proteínas na superfície de suas células. Essas proteínas irão determinar o tipo sanguíneo do sistema ABO e fator Rh de uma pessoa. Indivíduos do tipo sanguíneo A possuem proteínas do tipo A. Indivíduos do tipo sanguíneo B possuem proteínas do tipo B. Indivíduos do tipo sanguíneo AB possuem tanto as proteínas do tipo A, quanto as proteínas do tipo B. Enquanto indivíduos do tipo O não possuem nem a proteína A nem a proteína B.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> TORTORA, G. J. **Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

<sup>3</sup> HOFFBRAND, A. V. **Fundamentos em hematologia de Hoffbrand**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.



O sistema ABO é definido por um gene,<sup>4</sup> denominado simbolicamente pela letra I, esse possui três alelos<sup>5</sup>: I<sup>A</sup>, I<sup>B</sup> e i. Quando um ser humano é gerado, recebe um alelo do pai e um alelo da mãe, e será a combinação destes dois alelos que irá definir qual proteína estará presente na superfície de seus eritrócitos. Cada alelo do gene indica a produção de um tipo de proteína: o alelo I<sup>A</sup> expressa a proteína A, o alelo I<sup>B</sup> a proteína B e o alelo i não expressa nenhum tipo de proteína<sup>6</sup> (Figura 1).

Já o fator Rh, que determina o fator negativo ou positivo do sangue, também ocorre devido a proteínas na membrana celular. De modo simplificado, há um gene chamado de RhD, que, quando presente expressa o tipo positivo, e quando ausente expressa o tipo negativo (Figura 2). Aqui é importante ressaltar que existem outros tipos de proteínas celulares que determinam tipos sanguíneos diferentes, porém não são tão comuns na população, desse modo, não são comumente utilizados.<sup>2</sup>

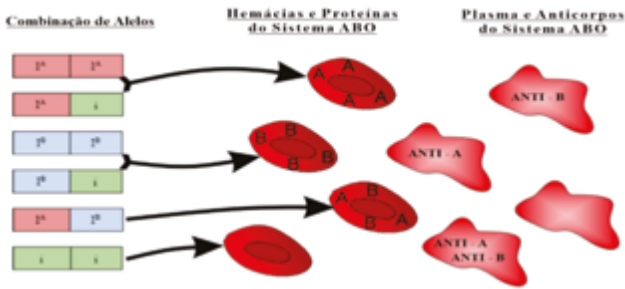


Figura 1 - Correlação entre alelos e proteínas expressas nas hemácias no sistema ABO.<sup>2</sup>

Fonte: Elaboração própria.

<sup>4</sup> Gene: unidade funcional fundamental da hereditariedade, que carrega as informações de uma geração até a próxima.

<sup>5</sup> Alelo: diferentes formas de um mesmo genes.

<sup>6</sup> PIERCE, B. A. **Genética**: um enfoque conceitual. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

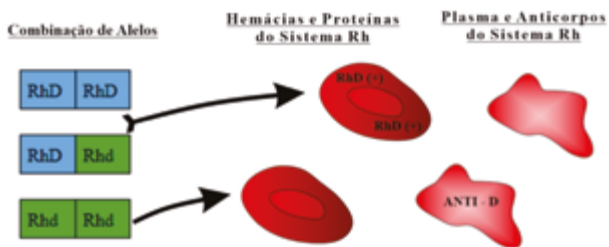


Figura 2 - Correlação entre os alelos do fator Rh e as proteínas expressas nas hemácias, Rh positivo e Rh negativo.

Fonte: Elaboração própria.

As proteínas expressas na membrana dos eritrócitos podem também ser chamadas de antígeno,<sup>7</sup> existindo uma relação antígeno-anticorpo.<sup>8</sup> Quando um organismo entra em contato com um antígeno estranho, logo produz anticorpos para combater o antígeno.<sup>9</sup> Como o sistema ABO se baseia em dois antígenos: o A e o B, de forma contrária também ocorrem os anticorpos A e B. Indivíduos com tipo sanguíneo A possuem antígenos do tipo A e anticorpos do tipo B, e assim vice-versa. Indivíduos do tipo AB possuem os dois antígenos e nenhum anticorpo; enquanto indivíduos do tipo O não possuem nenhum antígeno, mas possuem os dois anticorpos. De forma análoga ocorre com o fator Rh, em que indivíduos com RhD (Rh positivo) possuem o antígeno nas células e não possuem anticorpos referentes a esse sistema. Enquanto indivíduos Rhd (Rh negativo) não possuem o antígeno em seus eritrócitos e possuem anticorpos para o RhD.<sup>2</sup>

<sup>7</sup> Antígeno: substância reconhecida pelo sistema imunológico e que provoca uma resposta imunológica.

<sup>8</sup> Anticorpo: molécula proteica, produzida pelo sistema imune, que reconhece uma substância em particular (antígeno) e se liga a ela.

<sup>9</sup> DELVES, P. J. *et al.* **Roitt fundamentos de imunologia**. 13. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

Em uma transfusão sanguínea, é necessário existir compatibilidade entre os tipos sanguíneos do sistema ABO, bem como do fator Rh. Essa compatibilidade se dá justamente no sistema antígeno-anticorpo. Na transfusão sanguínea, o paciente recebe somente as hemácias sendo separadas do plasma. Portanto, os anticorpos presentes no plasma do doador podem ser ignorados. No entanto, indivíduos que possuem determinado anticorpo não podem receber sangue de indivíduos que tenham o antígeno complementar (Figura 3).<sup>2</sup>

Devido à incompatibilidade antígeno-anticorpo o sangue do tipo O pode ser doado para qualquer indivíduo com qualquer tipo sanguíneo, visto que as hemácias deste tipo sanguíneo não possuem nenhuma proteína em sua superfície celular. Ao mesmo tempo, como indivíduos do tipo O possuem anticorpos A e B, podem receber sangue apenas do tipo O. Outro exemplo são os indivíduos do tipo AB, que possuem os dois antígenos e nenhum anticorpo. Assim, esse tipo sanguíneo pode receber

Tipo Sanguíneo	Hemácias e Antígenos	Plasma e Anticorpos
A+	RhD, A	Anti-B
A-	A	Anti-B Anti-D
B+	B, RhD	Anti-A
B-	RhD, B	Anti-A Anti-D
AB+	RhD, A, B	
AB-	A, B	Anti-D
O+	RhD	Anti-A Anti-B
O-		Anti-A Anti-B Anti-D

Figura 3 - Demonstração dos antígenos presentes nas hemácias, bem como dos anticorpos presentes no plasma de cada tipo sanguíneo.

Fonte: Elaboração própria.

transfusões de todos os tipos de sangue, mas só pode doar para o tipo AB. Já no fator Rh, como Rh positivo possui a proteína e não possuem o anticorpo podem

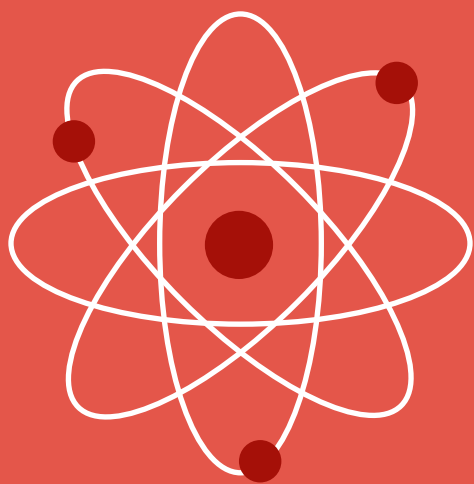
receber de qualquer fator Rh. Por outro lado, indivíduos com fator Rh-negativo não possuem a proteína na membrana e, portanto, possuem o anticorpo, podendo receber transfusões apenas de tipos sanguíneos com fator Rh negativo.<sup>2</sup> A Tabela 1 relaciona os tipos sanguíneos e a compatibilidade de doações.

TIPO SANGUÍNEO	PODE DOAR	PODE RECEBER
A+	A+, AB+	A-, A+, O-, O+
A-	A-, A+, AB-, AB+	A-, O-
B+	B+, AB+	B-, B+, O-, O+
B-	B-, B+, AB-, AB+	B-, O-
AB+	AB+	TODOS OS TIPOS
AB-	AB+	A-, B-, AB-, O-
O+	A+, B+, AB+, O+	O+, O-
O-	TODOS OS TIPOS	O-

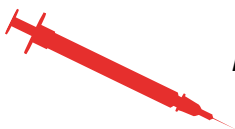
**Tabela 1** - Correlação entre os tipos sanguíneos e compatibilidade de doação

**Fonte:** Adaptado de HOFFBRANDO, 2018.

O sangue é um elemento vital aos seres humanos, e, no decorrer da vida, pode existir a necessidade de uma transfusão, devido a uma perda de sangue intensa ou a uma anemia severa. Nesse sentido, a transfusão torna-se um procedimento rotineiro nos hospitais. Por fim, como apresentado, é devido à relação de “amor e ódio” entre os tipos sanguíneos que ocorre a compatibilidade, ou não, entre os indivíduos. Sendo assim, considerando a especificidade necessária para as transfusões, é fundamental a manutenção dos estoques nos bancos de sangue, por meio das doações, podendo essa atitude salvar vidas.



## Truque de Mestre: como vacinas enganam o sistema e salvam vidas

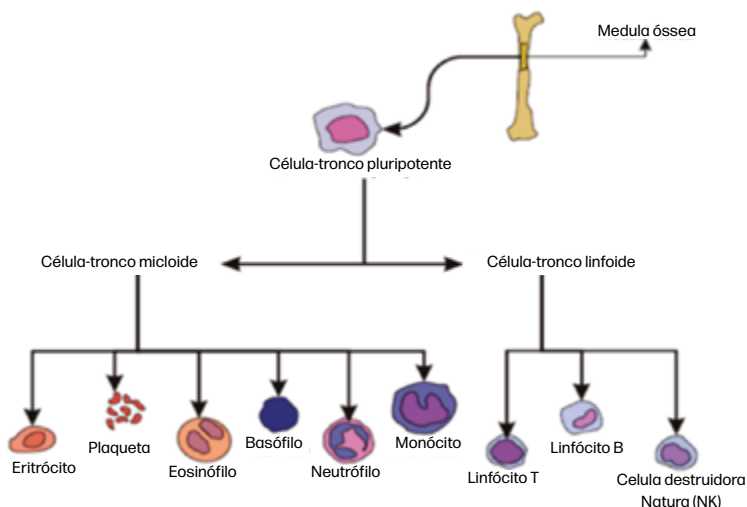


*Nikael Souza de Oliveira,  
Liliana Portal Weber*

O corpo humano é constituído por diferentes tecidos com diferentes tipos celulares. Dentro de alguns ossos, há a medula óssea, onde é encontrado um tipo celular chamado de célula-tronco pluripotente. Essas células são capazes de se transformar em outros tipos celulares. Nesse processo, a célula-tronco pluripotente, com o estímulo específico, se transforma em célula-tronco mieloide ou célula-tronco linfoide. O primeiro tipo, posteriormente, será capaz de originar células como: Eritrócitos, plaquetas, eosinófilos, basófilos, neutrófilos e monócitos. Enquanto o segundo tipo será capaz de originar linfócitos T; Linfócitos B e células *Natural Killer* (NK). Os tipos celulares, eosinófilos, basófilos, neutrófilos, monócitos, linfócitos e NK são células constituintes do sistema imune<sup>10</sup> (Figura 1).

---

<sup>10</sup> TORTORA, G. J. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

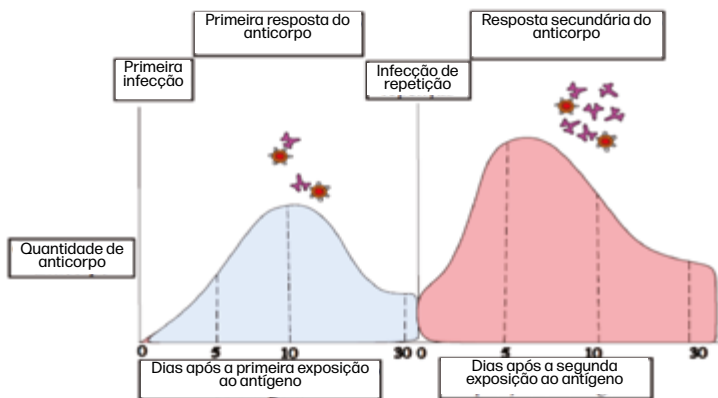


**Figura 1** - Origem e desenvolvimento das células sanguíneas<sup>1</sup>

**Fonte:** Adaptada de TORTORA, 2017..

A imunidade é separada em dois grupos: imunidade inata e imunidade adaptativa. A imunidade inata é aquela que age de forma inespecífica contra uma partícula infecciosa e/ou corpo estranho, seja através de barreiras, seja através de células de defesa. Esta forma de imunidade também participa ativamente no desenvolvimento da imunidade adaptativa. A imunidade adaptativa atua de forma específica e mais eficaz contra o patógeno, porém em uma primeira infecção, necessita que a imunidade inata lhe apresente o antígeno, o que causa uma demora maior no tempo de resposta, para iniciar sua atuação. Ao mesmo tempo, essa forma de imunidade produz células de memória que auxiliarão na agilidade de sua atuação em uma segunda exposição, assim impedindo a manifestação

de sintomas, ou, em alguns casos, permite apenas a manifestação de sintomas mais leves<sup>11</sup> (Figura 2).



**Figura 2** - Comparação entre uma infecção primária e secundária, demonstrando a velocidade da resposta imune<sup>1</sup>

**Fonte:** Adaptada de ABBAS, 2017.

Pode-se perceber que as vacinas atuam estimulando a imunidade adaptativa, evitando assim a etapa da primeira infecção. Seu princípio básico é introduzir no organismo o agente causador da doença, seja ele um vírus ou uma bactéria, porém de forma com menor potencial de causar doença, mas com a mesma capacidade de estimular o sistema imune. Quando o indivíduo entra em contato com o vírus ou a bactéria, naturalmente, em sua forma ativa ele já possui anticorpos de memória.<sup>12</sup> De forma análoga, podemos pensar que a vacina funciona como um *hack* do sistema imunológico.

<sup>11</sup> ABBAS, A. K. **Imunologia básica: funções e distúrbios do sistema imunológico**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

<sup>12</sup> SAGRILLO, F. S. **Processos produtivos em biotecnologia**. São Paulo: Érica, 2015.



A compreensão de que algumas doenças infecciosas ocorrem apenas uma vez na mesma pessoa vem de séculos. Em Atenas, já havia descrições de que indivíduos que cuidavam de pessoas doentes geralmente eram pessoas que já tinham sido infectadas, e haviam se recuperado. Na China, durante a Idade Média, há relatos de tentativas de evitar infecções induzindo uma forma menor da doença em pessoas saudáveis. Da mesma forma, o método da “variolação”, amplamente utilizado na Europa, era um procedimento que consistia na inoculação do material da crosta das lesões causadas pela varíola, em indivíduos saudáveis.<sup>13</sup>

A prática da variolação na Europa Ocidental era algo comum. A taxa de mortalidade era de 0,5% a 2%, riscos aceitáveis na época, pois 60% da população era afetada pela varíola e 33% dos infectados vinham a óbito.<sup>4</sup> Ao mesmo tempo, na Inglaterra, um médico chamado Edward Jenner observou que pessoas que trabalhavam ordenhando vacas contaminadas com uma cepa menos virulenta da varíola estavam mais protegidas contra a varíola humana. Isso abriu o caminho para a proposta de uma vacina contra a doença<sup>4</sup>.

É interessante a reflexão de que uma doença que assolou a humanidade de forma tão grave por tanto tempo, e foi responsável pelo início das vacinas, hoje não é conhecida por seres humanos.

Outro avanço relativo às vacinas foi feito por Louis Pasteur, o mesmo cientista responsável pelo desenvolvimento do processo de pasteurização, ao observar uma cultura com bacilos de cólera aviária esquecida em uma bancada, durante meses, e que perdeu grande parte de sua virulência. Aves contaminadas com esta

---

<sup>13</sup> DELVES, P. J. **Roitt fundamentos de imunologia**. 13. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

cultura menos virulenta criavam resistência a culturas mais virulentas do bacilo. Este processo, em que ocorre a diminuição de virulência e do potencial de causar doença, é chamado de atenuação, e foi reproduzido por Pasteur para o antraz e para a raiva. Pasteur deu o nome do seu tratamento de **vacinação**.<sup>4</sup>

As **vacinas atenuadas** são mais comuns para vírus. A única bactéria utilizada viva em vacinas é a da tuberculose. Neste método, os micro-organismos são introduzidos em culturas celulares diversas vezes, causando infecções sucessivas nessas células. Com isso, após gerações, eles sofrem mutações e acabam perdendo sua capacidade de se multiplicar em velocidade normal. Como esse vírus vai se multiplicar muito lentamente no organismo, há tempo para que seja desencadeada uma resposta imune, antes que o organismo seja prejudicado. As **vacinas com micro-organismos inertes ou mortos** podem ser produzidas quando o vírus ou as bactérias são submetidos à adição de formaldeído, substância conhecida também como formol, e incubação a 37°C, bem como com outras metodologias. Após a inativação, é feito um controle de toxicidade, que pode ser realizado em animais. **Algumas vacinas podem ser obtidas a partir de subunidade, ou seja, partes do agente infeccioso**, como vacinas contra difteria, tétano e pneumonia.<sup>3</sup>

No Brasil, a vacinação é um direito e é fornecida pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Vale ressaltar que sendo um direito da criança, torna-se uma obrigação aos pais e/ou responsáveis levá-las para vacinar. O Quadro 1 mostra as vacinas fornecidas pelo calendário vacinal do SUS, o período em que as doses devem

ser administradas e as doenças que estas vacinas evitam.<sup>14</sup>

Vacinas	Prevenção a doenças	Doses
<b>Hepatite A</b>	Previne hepatite A	Dose única aos 15 meses
<b>Hepatite B</b>	Previne a hepatite B	1 Dose ao nascer
<b>Penta (DTP + HB + Hi)</b>	Previne difteria; tétano; coqueluche; hepatite B; Infecções causadas pelo <i>Haemophilus influenzae</i> B	1º Dose aos 2 meses 2º Dose aos 4 meses 3º Dose aos 6 meses
<b>DTP (DT + Coqueluche)</b>	Previne difteria; tétano e coqueluche	1º Reforço aos 15 meses 2º Reforço aos 4 anos Reforço com DT a cada 10 anos
<b>DT</b>	Previne difteria e tétano	Reforço a cada 10 anos
<b>dTPa (DTP acelular)</b>	Previne difteria; tétano e coqueluche	1 Dose a cada gestação à partir da 20ª semana de gestação ou no puerpério até 45 dias após o parto
<b>BCG</b>	Previne as formas graves de tuberculose	Dose única ao nascer
<b>Rotavírus humano</b>	Previne diarreia por rotavírus	1º Dose aos 2 meses 2º Dose aos 4 meses
<b>Meningocócica C</b>	Previne doença invasiva causada pelo <i>Neisseria meningitidis</i> do sorogrupo C	1º Dose aos 3 meses 2º Dose aos 5 meses Reforço aos 12 meses Entre 13 e 14 anos: Dose única ou reforço
<b>Meningocócica CWY</b>	Previne meningite tipo C; W e Y	1 dose dos 11 aos 12 anos
<b>Pneumocócica 23</b>	Previne pneumonia; otite; meningite e outras doenças causadas pelo Pneumococo	1 Dose a cada 5 anos Idosos ou outros grupos de risco

<sup>14</sup> BRASIL. Calendário nacional de vacinação. **Ministério da Saúde**. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/saude-de-a-z/vacinacao/calendario-vacinacao#crianca>. Acesso em: 23 jun. 2020.

<b>Pneumocócica 10</b>	Previne pneumonia; otite; meningite e outras doenças causadas pelo Pneumococo	1º Dose aos 2 meses 2º Dose aos 4 meses Reforço aos 12 meses
<b>Vacina Poliomielite 1, 2 e 3 Inativada (VIP)</b>	Previne poliomielite	1º Dose aos 2 meses 2º Dose aos 4 meses 3º Dose aos 6 meses
<b>Vacina Poliomielite 1 e 3 Atenuada (VOP)</b>	Previne poliomielite	1º Reforço aos 15 meses 2º Reforço aos 4 anos
<b>Tríplice Viral</b>	Previne sarampo; rubéola e caxumba	1º Dose aos 12 meses
<b>Tetra viral (Tríplice + Varicela)</b>	Previne sarampo; rubéola; caxumba e varicela/catapora	Dose única aos 15 meses
<b>Varicela atenuada</b>	Previne varicela/catapora	Dose única aos 4 anos
<b>HPV</b>	Previne o papiloma vírus humano que causa cânceres e verrugas genitais	Meninas: 9 a 14 anos Meninos: 11 a 14 anos 2 doses: 6 meses de intervalo entre as doses
<b>Influenza</b>	Previne gripes sazonais	1 Dose anual se maior de 6 anos ou 2 doses caso seja menor de 6 anos e seja a primeira aplicação
<b>Febre amarela</b>	Previne a febre amarela	Dose única aos 9 meses

**Quadro 1** - Vacinas disponíveis no SUS e prevenção<sup>5</sup>

**Fonte:** Adaptado de BRASIL, 2020.

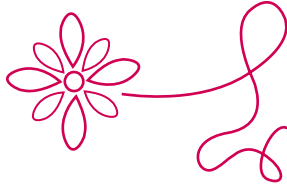
## Sugestões de atividades práticas

O presente capítulo demonstrou fundamentos básicos das vacinas, origem, seus diferentes tipos, bem como as vacinas fornecidas pelo SUS. A partir disso, se sugere as seguintes atividades:

1. Em casa, o estudante deve questionar os pais, avós ou responsáveis sobre o que sabem a respeito de vacinas. Ao mesmo tempo, deve-se solicitar que os estudantes questionem os mais velhos sobre as vacinas que lembram ter realizado e/ou tenham o registro.

2. Como demonstrado no capítulo, as vacinas auxiliam na prevenção de doenças, podendo, inclusive, levar à erradicação, como ocorreu com a varíola. Os estudantes deverão pesquisar sobre as doenças prevenidas pelas vacinas. Pode-se solicitar que pesquisem sobre todas as doenças ou apenas algumas escolhidas pelo professor. Como a varíola é uma das primeiras patologias que auxiliou no desenvolvimento das vacinas, pois havia alta mortalidade e foi erradicada, sugere-se que esta seja uma das doenças a ser pesquisada pelos alunos.

## Modelo ABC: o alfabeto floral



*Fernanda Pessi de Abreu,  
Pedro Lenz Casa,  
Scheila de Avila e Silva*

**A**s plantas foram um dos primeiros grupos de seres vivos a colonizar o ambiente terrestre, perdendo a corrida apenas para os micro-organismos. Iniciaram sua diversificação e dispersão dos trópicos aos polos, há cerca de 475 milhões de anos, sendo que, atualmente, encontramos cinco divisões delas: briófitas, samambaias e licófitas,<sup>15</sup> gimnospermas e angiospermas. O último desses grupos a surgir na escala evolutiva, os angiospermas, compreende pelo menos 95% de todas as espécies de plantas vasculares existentes. Essa prevalência é devida, principalmente, ao desenvolvimento de um novo órgão, a flor. Enquanto espécies sem essa estrutura reprodutiva dependem, principalmente, de meios abióticos<sup>16</sup> para disseminação de esporos ou pólen, as que possuem flores contam com diferentes agentes polinizadores. A radiação de cores, formatos e odores, em coevolução<sup>17</sup> com animais, abriu um leque de possíveis interações, o que permitiu a especialização e diversificação do grupo.<sup>18</sup>

Não restam dúvidas de que a presença das flores nas angiospermas proporcionou a elas vantagens

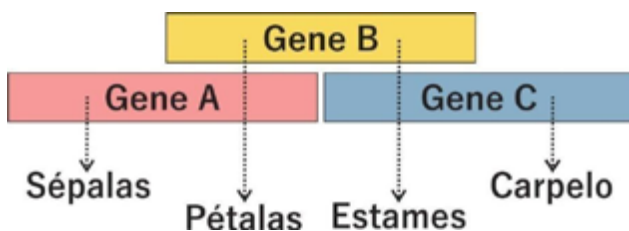
<sup>15</sup> Para definir licófitas e samambaias é utilizado popularmente o termo pteridófitas.

<sup>16</sup> Conjunto de fatores não vivos, por exemplo, a chuva e o vento.

<sup>17</sup> Evolução conjunta entre duas espécies, devido à dependência ecológica.

<sup>18</sup> RIDLEY, Mark. **Evolução**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009; TAYLOR, Edith L.; TAYLOR, Thomas N.; KRINGS, Michael. **Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants**. Cambridge, MA: Academic Press, 2009.

significativas, em relação aos outros grupos vegetais. Quando observamos as complexas e ornamentadas estruturas florais, poderíamos imaginar que a formação de sépalas, pétalas, estames e carpelo são o produto da interação de incontáveis genes. No entanto, os pesquisadores Enrico Coen e Elliot Meyerowitz, em 1991, formularam pela primeira vez, explicitamente, um modelo para o desenvolvimento anatômico da flor com apenas três genes, denominados “Genes ABC”.<sup>19</sup> Assim, como apresentado no diagrama do modelo ABC (Figura 1) os genes A e C, de forma independente, originam sépalas e carpelo, respectivamente; já estes em ação conjunta com o gene B originam pétalas e estames, respectivamente.



**Figura 1** - Diagrama do modelo ABC. Nas caixas estão exemplificados os três genes (gene B em amarelo, gene A em rosa e gene C em azul). As linhas pontilhadas apontam qual estrutura é formada pela ação conjunta ou independente dos genes

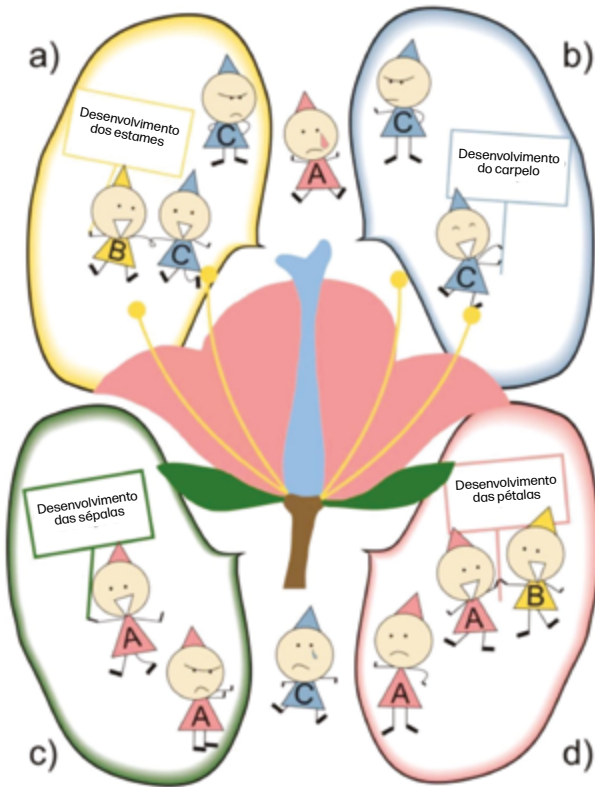
**Fonte:** Elaboração própria.

Para a elaboração do modelo, foram produzidas em laboratório plantas com os genes inativados. Desse modo, pode-se observar qual seria a função de cada um no desenvolvimento das estruturas da flor. Quando o gene A estava silenciado e B e C, ativos, a

<sup>19</sup> COEN, Enrico S.; MEYEROWITZ, Elliot M. The war of the whorls: genetic interactions controlling flower development. *Nature*, v. 353, n. 6.339, p. 31-37, 1991.

flor é composta por estames e carpelo. Portanto, já que a atuação do gene C isolado deu origem ao carpelo (Figura 2b), foi determinado que a ação conjunta de B e C propiciou o desenvolvimento de estames (Figura 2a). Por outro lado, quando o gene C estava silenciado e A e B se encontravam ativos, apenas as estruturas de pétala e sépala se desenvolviam. Assim como na lógica anterior, a ação individual do gene A formou apenas sépalas (Figura 2c), logo, foi estipulado que a expressão dos genes A e B, em conjunto, resultou na formação das pétalas (Figura 2d). A partir desses resultados, os pesquisadores concluíram que os genes A e C são antagônicos e passíveis de expressão e independentes de outros genes. Em contrapartida, o gene B só conseguiu efetivar sua expressão, quando um dos outros dois genes estava ativado; assim, uma planta com esse gene inativo possui apenas carpelo e sépala.





**Figura 2** - Exemplo da atuação dos genes ABC no desenvolvimento da anatomia floral. Carpelo (azul), estames (amarelo), pétalas (rosa) e sépalas (verde)

**Fonte:** Adaptada pelos autores a partir de Hirano & Hirano (2012).<sup>20</sup>

Os genes ABC estão presentes em todas as angiospermas e, para proporcionar a diversidade de organização, tamanhos e formas, estes genes

<sup>20</sup> HIRANO, Ryoko; HIRANO, Hiroyuki, 2012. Cartoon of the ABC model drawn by Ryoko Hirano and which Hiroyuki Hirano used to teach summer school for secondary school students in Japan. Disponível em: <https://dev.biologists.org/content/139/22/4095.figures-only>. Acesso em: 4 ago. 2020.

possuem atuação diferente entre as espécies. Na natureza, existem muitas variações no modelo ABC. Em rosa, por exemplo, plantas que possuem várias espirais de pétalas, a expressão dos genes A e B é aumentada. Nas gimnospermas, grupo que antecede as plantas com flores na escala evolutiva, é possível encontrar ortólogos<sup>21</sup> dos genes B e C, sendo o C expresso nos cones masculinos e femininos, enquanto a expressão do gene B é limitada aos cones masculinos.<sup>22</sup>

O modelo ABC foi precursor para o esclarecimento de outros mecanismos genéticos envolvidos no desenvolvimento floral. A partir dele, foram testados o envolvimento de outros genes, originando o modelo ABCD e o mais recente ABCDE. Conforme discutido, os genes ABC são responsáveis por proporcionar importantes novidades morfológicas para plantas. Em vista disso, a enorme variedade de angiospermas que embelezam nossas vidas se deve em parte ao diálogo entre esses três genes<sup>23</sup>.

## Sugestões de atividades práticas

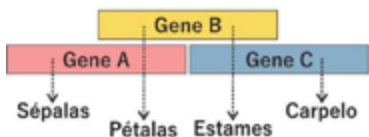
Conforme observamos na natureza, nem todas as plantas possuem as quatro estruturas florais (sépalas, pétalas, carpelo e estames). Isso se deve ou pela ausência de um dos três genes ABC, ou pela diferença entre os níveis de expressão destes genes. Abaixo temos um exemplo do Modelo ABC.

---

<sup>21</sup> Genes encontrados em organismos diferentes, mas derivam de um mesmo ancestral.

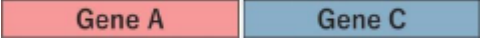

<sup>22</sup> IRISH, Vivian. The ABC model of floral development. **Current Biology**, v. 27, n. 17, p. R887-R890, 2017.

<sup>23</sup> THOMSON, Bennett; WELLMER, Frank. Molecular regulation of flower development. In: GROSSNIKLAUS, Ueli (Org.). **Current Topics in Developmental Biology**. Cambridge, MA: Academic Press, 2019, v. 131, p. 185–210.



1) Assinale a seguir as estruturas presentes em cada flor, de acordo com os diagramas:

<p>a)</p>	<p>( ) Sépala            ( ) Pétala            ( ) Carpelo            ( ) Estame            ( ) Nenhuma das estruturas</p>
<p>b)</p>	<p>( ) Sépala            ( ) Pétala            ( ) Carpelo            ( ) Estame            ( ) Nenhuma das estruturas</p>
<p>c)</p>	<p>( ) Sépala            ( ) Pétala            ( ) Carpelo            ( ) Estame            ( ) Nenhuma das estruturas</p>

<p>d)</p> 	<p>( ) Sépala  ( ) Pétala  ( ) Carpelo  ( ) Estame  ( ) Nenhuma das estruturas</p>
<p>e)</p> 	<p>( ) Sépala  ( ) Pétala  ( ) Carpelo  ( ) Estame  ( ) Nenhuma das estruturas</p>

**2)** Agora desenhe como seria, hipoteticamente, a flor para os diagramas *b)*, *c)* e *d)* do exercício anterior:

l)



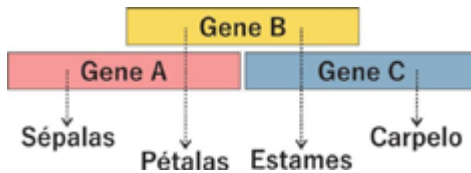
II)

III)

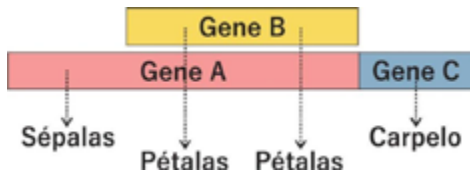
**3)** Quando apenas o gene B é expresso não ocorre a formação de sépalas, pétalas, carpelo e estames. No lugar do desenvolvimento dessas estruturas florais são produzidas folhas. Esse evento, assim como a presença de apenas algumas dessas estruturas, pode ter efeitos no estilo de vida do organismo. Debata com os colegas como os diferentes arranjos dos genes ABC influenciam no sucesso das plantas com flores:

**4)** Para a última atividade, os alunos devem ser organizados em grupos, de acordo com a orientação do professor. Cada grupo receberá três flores: uma rosa, uma margarida e um lírio (flores devem ser trazidas para a aula pelo professor ou pelos próprios alunos). A partir da observação e dos conhecimentos desenvolvidos até então, os grupos devem relacionar cada flor com um dos diagramas abaixo:

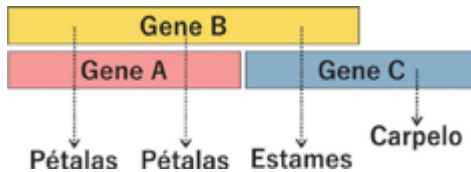
a. Flor: .....



b. Flor: .....



c. Flor: .....



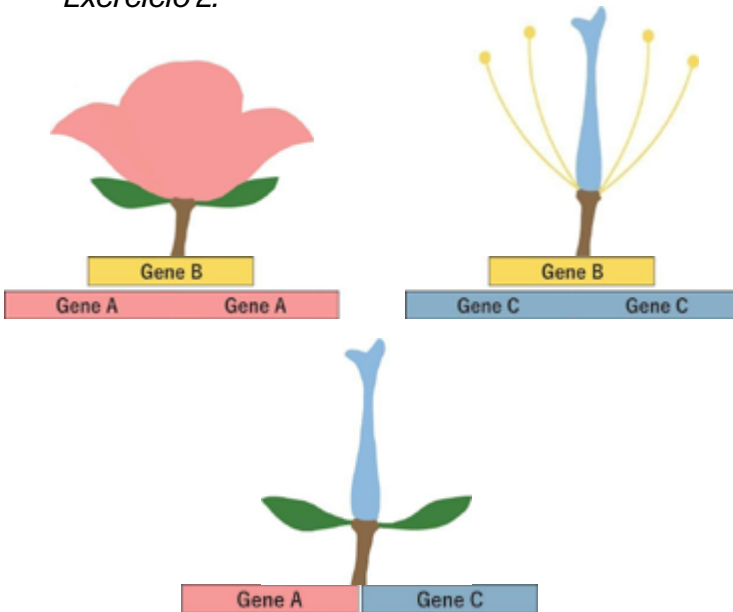
# Gabarito

## Respostas

### Exercício 1:

- a. Sépalas, pétalas, carpelo e estames
- b. Pétalas e sépalas
- c. Estames e carpelo
- d. Sépalas e carpelo
- e. Nenhuma das estruturas

### Exercício 2:



### Exercício 3:

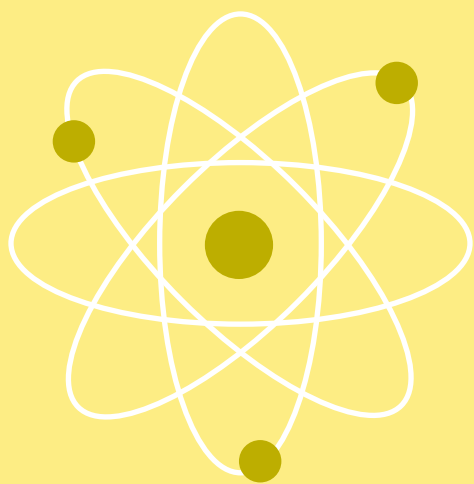
Para auxiliar o debate, sugere-se a utilização do texto desenvolvido pelos autores "Modelo ABC: o alfabeto floral".

*Exercício 4:*

- a. *Margarida*. A margarida se trata, na verdade, de uma inflorescência do tipo capítulo. As verdadeiras flores são muito pequenas e estão reunidas na sua parte central. Tanto suas estruturas mais centrais quanto as marginais (borda), apesar de possuírem algumas diferenças morfológicas, podem ser explicadas por esse diagrama.
- b. *Rosa*. Os múltiplos círculos concêntricos de pétalas da rosa podem ser explicados pela contração na expressão do gene C, o que permite a expansão da expressão de A + B.
- c. *Lírio*. As estruturas do lírio que lembram pétalas são conhecidas na botânica como tépalas. A presença de apenas essas estruturas, no lugar de pétalas e sépalas, é explicada por um deslocamento na expressão do gene B.

**\*As atividades desenvolvidas pelos autores também estão disponíveis no formato PDF pelo *link*:**  
**[https://10d290f2-e8ce-475e-a221-89fe8499c544.filesusr.com/ugd/5456cd\\_e2b251255ff14a36bcddc77caf7df52e.pdf](https://10d290f2-e8ce-475e-a221-89fe8499c544.filesusr.com/ugd/5456cd_e2b251255ff14a36bcddc77caf7df52e.pdf)**





# A odisseia do grão de pólen



*Fernanda Pessi de Abreu  
Julia Gabriele Dani  
Pedro Lenz Casa,  
Felipe Gonzatti*

**E**m documentários de vida selvagem são apresentados, frequentemente, episódios das complexas danças de acasalamento de animais. Aspectos comportamentais e estéticos, como cantos exóticos e plumagens coloridas, são essenciais para conquistar parceiras. Por outro lado, você já se perguntou como as plantas se reproduzem? De fato, essa questão passa de certa forma despercebida por esses meios de comunicação. Com este intuito, o capítulo pretende expor características da reprodução sexuada de plantas, introduzindo um mundo misterioso repleto de interações inusitadas.

A evolução das plantas terrestres, a partir das algas verdes, trouxe novos desafios aos mecanismos de reprodução sexuada, considerando a disponibilidade de água extremamente reduzida nestes ambientes. No entanto, nos grupos de plantas chamadas de criptógamas, que incluem briófitas (musgos) e pteridófitas (samambaias), a troca de gametas ainda precisa ser mediada pela água. Para isso, os gametas masculinos denominados de anterozoides apresentam flagelos que auxiliam na locomoção a curtas distâncias pelo ambiente aquático. Essa estrutura facilita a chegada até o gameta feminino, a oosfera, e efetiva assim a fecundação; além disso, compreende um resquício dos seus ancestrais que ocupavam ambientes aquáticos.

Com a evolução das plantas fanerógamas, no grupo que inclui: gimnospermas (pinheiros) e angiospermas (plantas com frutos), os gametas masculinos passaram a ter um revestimento de esporopolenina, para garantir resistência às adversidades do ambiente terrestre. Esse polímero evita a desidratação do conteúdo interno, fazendo com que esse grupo de plantas não dependa de água para sua reprodução. Por causa disso, a estrutura que “carrega” o material genético masculino, ora denominado grão de pólen, não é mais flagelada como nas criptógamas. O pólen, uma vez produzido nos cones das gimnospermas ou nas anteras das flores das angiospermas, precisa viajar longas distâncias para chegar até o estróbilo feminino ou o estigma de outra flor e efetivar a polinização.<sup>24</sup>

Neste aspecto, a falta de meios diretos de locomoção nas plantas pode parecer uma enorme inconveniência para essa árdua jornada, mas nem por isso estão em desvantagem em relação aos outros seres que habitam nosso Planeta. Algumas espécies possuem estratégias de reprodução mais complexas que muitos animais. O desenvolvimento de mecanismos, que garantem o sucesso dessa verdadeira odisséia, foi um passo importante na evolução das fanerógamas, visto que a polinização é um pré-requisito para a fecundação e posterior formação de frutos e sementes, garantindo assim a perpetuação das espécies.

No grupo das gimnospermas, a chegada de gametas masculinos até os cones femininos se dá basicamente pelo vento, e é chamada de polinização

---

<sup>24</sup> Polinização é a transferência de grãos de pólen da antera para o estigma, nas flores das angiospermas, e do microesporófilo masculino para o megasporófilo feminino, nos cones das gimnospermas.

anemófila. Neste caso, uma das formas de garantir a polinização é a produção de grandes quantidades de pólen, que são dispersos como nuvens pelas correntes de ar. Estruturas em forma de sacos de ar são encontradas nos grãos de pólen desses grupos, tornando-os mais leves e conferindo melhor aerodinâmica para sua viagem, em busca do cone feminino.

Já nas angiospermas, foram estabelecidas relações robustas e improváveis entre as plantas e os animais ao longo da História evolutiva. Em muitas espécies desse grupo, o transporte de grãos de pólen é mediado por espécies animais, os quais podem ser chamados de agentes polinizadores. Eles dão origem, neste momento, à síndrome de dispersão de pólen zoófila. O surgimento de uma cooperação entre agente polinizador-planta permitiu o desenvolvimento de um processo mais objetivo e eficiente, deixando de ser apenas uma viagem ao acaso e passando a ter um transporte com destino marcado. Por outro lado, é dependente de estratégias que atraiam a atenção dos animais e os façam interagir com as flores.

Em angiospermas, cores vistosas e os odores adocicados das flores não possuem como objetivo agradar o olhar ou o olfato dos seres humanos. Essas características atraem os animais que, acidental ou propositalmente, podem fazer um papel de meio campo, levando o pólen de uma flor a outra ou pulverizando sobre o estigma de uma mesma flor. Os animais, em troca, recebem alguma recompensa pelos serviços prestados: utilizam o néctar como fonte de alimento, podem se abrigar nas estruturas da planta, ou até consumir parte do pólen.

Como resultado de milhares de anos de evolução conjunta entre plantas e animais, algumas angiosper-

mas possuem sistemas de cores específicas, que funcionam como sinalizadores. As linhas presentes nas flores das orquídeas do gênero *Euphrasia* (Figura 1c), por exemplo, funcionam como pistas de pouso para alguns animais que conduzem os insetos até o néctar, mas que não será distribuído de graça. De fato, para chegar ao néctar, o inseto deve, obrigatoriamente, “sujar-se” de pólen. A partir deste ponto, carrega o pólen consigo ao longo de visitas em outras flores, garantindo maior dispersão deste pólen entre diferentes populações destas orquídeas.

No entanto, essas linhas promíscuas, bem como outros detalhes intrincados, nem sempre estiveram presentes nas orquídeas. Ao contrário, dentro das diversas populações de uma dada espécie, uma delas adquiriu, por acaso, uma pequena linha. Essa característica, por acabar guiando alguns animais, garantiu às flores desta população maior probabilidade de fecundação do que de suas competidoras. Como resultado, seus descendentes passaram a apresentar pequenas variações de seus traços, e, assim sucessivamente, essa característica foi repassada, ao longo dos milhares de anos, às gerações posteriores. Além disso, as orquídeas são famosas por outras peculiaridades em seus mecanismos de persuasão. Algumas espécies possuem flores que imitam o formato e até mesmo o odor das fêmeas de alguns insetos (Figura 1E), enquanto outras produzem odores fétidos, que se assemelham a alimentos de moscas varejeiras e de suas larvas (Figura 1A).

Outra estratégia para aumentar o sucesso da polinização envolve a antese<sup>25</sup> das flores, no período do dia em que o polinizador é mais ativo. Sabe-se que

---

<sup>25</sup> Período em que a flor desabrocha

o período mais ativo das borboletas é o diurno, e o das mariposas é noturno ou crepuscular. Como resposta a isso, plantas com flores vermelhas e com odor suave, que se abrem no período diurno, geralmente são polinizadas por borboletas. Já plantas com flores de cores pálidas, odor forte e adocicado que florescem no período noturno, são geralmente polinizadas por mariposas.

A anatomia dos organismos também influencia na dança da polinização. Plantas com formato da flor mais alongado exigem um agente polinizador com aparato bucal igualmente longo para alcançar o néctar (Figura 1D). Em outras plantas, como o maracujá, que possuem estruturas reprodutivas mais robustas, polinizadores muito pequenos conseguem se nutrir do néctar, mas não efetivam o transporte do pólen. Nesse caso, insetos popularmente conhecidos como mamangavas, que são maiores, acidentalmente balançam as anteras ao buscarem alimento na flor (Figura 1B). Assim, enchem seu corpo de pólen e terminam por efetivar a chegada até o estigma.



**Figura 1** - Interações planta-polinizador: (a) O odor semelhante à carniça produzido pela orquídea *Satyrium pumilum* Thumb<sup>26</sup>, atrai moscas que promovem sua polinização<sup>27</sup>; (b) A mamangava *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758) consegue carregar grandes quantidades de pólen das flores de maracujá *Passiflora edulis* Sim<sup>28</sup>; (c) As linhas-guia de *Euphrasia* sp. junto com uma plataforma de pouso amarelada indicam a alguns insetos o local onde devem procurar pelo néctar<sup>29</sup>; (d) A probóscide alongada da mariposa-de-Darwin, *Xanthopan morgani praedicta* (Walker, 1856), permite que ela alcance os igualmente distantes nectários da orquídea estrela-de-Madagascar (*Angraecum sesquipedale* Thouars)<sup>30</sup>; (e) A orquídea *Ophrys insectifera* L. mimetiza algumas fêmeas de vespas do gênero *Argogorytes* (Ashmead, 1899).<sup>6</sup>

<sup>26</sup> A nomenclatura científica é única e universal, sendo escrita em latim para nomear as espécies biológicas. É uma combinação binária, formada pelo gênero e nome específico. O gênero deve iniciar com letra maiúscula e o nome específico por letra minúscula, ambos devem estar destacados (itálico, negrito ou sublinhado). Além disso, os nomes podem vir acompanhados por outras informações como o autor da espécie e data na qual foi descrita.

<sup>27</sup> VAN DER NIET, Timotheüs; HANSEN, Dennis M.; JOHNSON, Steven D. Carrion mimicry in a South African orchid: flowers attract a narrow subset of the fly assemblage on animal carcasses. *Annals of botany*, v. 107, n. 6, p. 981-992, 2011.

<sup>28</sup> ISH-AM, Gad. Directed honeybees: a preliminary investigation of an innovative solution for passionfruit pollination in Israel. *Israel Journal of Plant Sciences*, v. 57, n. 3, p. 243-251, 2009.

<sup>29</sup> BEBBINGTON, John FRPS. 2005. *Science and Plants for Schools*. Disponível em:

<https://www.flickr.com/photos/71183136@N08/7170432796/in/album-72157629664498488>. Acesso em: 5 abril 2020.

<sup>30</sup> Hawk Moth, 2013. Elaborada pelos editores da Encyclopaedia Britannica. Disponível em: <https://www.britannica.com/animal/hawk-moth>. Acesso em: 5 abril 2020.

Como podemos perceber, são vários os exemplos de relações entre plantas e polinizadores. Estima-se que 87,5% das espécies de plantas com flores dependem, em algum momento, de animais para concluir seu ciclo reprodutivo. Ainda mais, cerca de 75% da produção de todo alimento que consumimos depende direta ou indiretamente dessas associações entre planta e polinizador. No entanto, estudos atuais apontam que as populações de polinizadores, principalmente abelhas, estão em declínio, implicando diretamente no sucesso da reprodução. Visto isso, a polinização é um processo essencial para a continuidade da vida humana na Terra. Uma das formas de garantir nosso bem-estar é assegurar a conservação não somente das plantas, mas também dos animais polinizadores.

## Questões para discussão

1. Qual a importância dos animais para a polinização das plantas?
2. Quais são as três principais síndromes de polinização das plantas terrestres?
3. O que gerou a evolução das estruturas reprodutivas das plantas? Quais as pressões evolutivas por trás disso?
4. Qual a importância da preservação de animais polinizadores no contexto de produção de alimentos e na reprodução dos vegetais?



## Material Complementar

### Livros:

JUDD, Walter S.; CAMPBELL, Christopher S.; KELLOGG, Elizabeth A. *et al.* **Sistemática Vegetal**: Um Enfoque Filogenético. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FONSECA, Vera Lucia Imperatriz. **Polinizadores no Brasil**: contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais. São Paulo: Edusp, Vera Lucia Imperatriz Fonseca, 2012.

### Vídeo:

SCHWARTZBEG, Louie. A beleza oculta da polinização. **TED Talks**, 2011. Disponível em: [https://www.ted.com/talks/louie\\_schwartzberg\\_the\\_hidden\\_beauty\\_of\\_pollination](https://www.ted.com/talks/louie_schwartzberg_the_hidden_beauty_of_pollination). Acesso em: 18 jan. 2023.

# O que um pequeno artrópode pode nos ensinar sobre a evolução do sangue?



Bárbara Pivotto Roncen

A evolução compreende processos de mudanças e transformações dos organismos ao longo do tempo. Ela está relacionada com adaptações e o desenvolvimento das espécies e, para entender um pouco mais sobre isso, vou te contar duas histórias:

## História 1:<sup>31</sup>

*Marrella splendens*<sup>32</sup> é uma espécie de um pequeno artrópode<sup>33</sup> cujos fósseis (Figura 1) foram descobertos em uma região conhecida como Xistos de Burgess<sup>34</sup>. Os fósseis datam mais de 500 milhões de anos e foram encontrados muito bem preservados. O alto grau de preservação permitiu obtermos detalhes sobre a morfologia dessa espécie (Figura 2), mas algo

<sup>31</sup> GARCÍA-BELLIDO, Diego C.; COLLINS, Desmond H. A new study of *Marrella splendens* (Arthropoda, Marrellomorpha), from the Middle Cambrian Burgess Shale, British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, [s. l.], v. 43, n. 6, p. 721-742, 1o jun. 2006. Canadian Science Publishing. DOI <http://dx.doi.org/10.1139/e06-012>.

<sup>32</sup> Nome científico da espécie. A nomenclatura científica é única e universal, sendo escrita em latim para nomear as espécies biológicas. É uma combinação binária, formada pelo gênero e nome específico. O gênero deve iniciar com letra maiúscula, e o nome específico por letra minúscula, ambos devem estar destacados (itálico negrito ou sublinhado).

<sup>33</sup> Filo de animais invertebrados que possuem exoesqueleto rígido e vários pares de apêndices articulados. Representado por animais como os gafanhotos, as aranhas, os caranguejos, as centopeias e os piolhos-de-cobra.

<sup>34</sup> Sítio Fossilífero das Rochosas, localizado na Colúmbia Britânica, Canadá. É considerado uma das principais jazidas de fósseis do mundo.

curioso foi encontrado nos fósseis da *M. splendens*: manchas escuras. Muitos dos fósseis encontrados possuíam essas manchas perto da cabeça, ou próximas à extremidade traseira do corpo. Fósseis de outras espécies foram descobertos na mesma região, porém as manchas escuras estavam presentes apenas nos fósseis da *M. splendens*, indicando alguma relação com a espécie e não com a região em si.



Figura 1 - Fóssil de *Marrella splendens*. Esse fóssil foi coberto com óleo mineral para melhor visualização. Fotografia tirada por Mark Wilson e publicada em 2012, na Wooster Geologists.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> WILSON, Mark. Wooster's fossil of the week: *Marrella splendens* (Burgess Shale, Middle Cambrian, British Columbia). 2012. Disponível em:

<https://woostergeologists.scotblogs.wooster.edu/2012/01/15/wooster%E2%80%99s-fossil-of-the-week-marrella-splendens-burgess-shale-middle-cambrian-british-columbia/>. Acesso em: 5 mar. 2020.

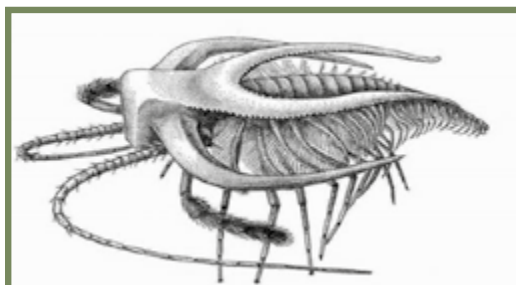


Figura 2 - Reconstrução de *M. splendens* presente no livro *Wonderful life*, de Stephen Jay Gould, 1990<sup>36</sup>.

## História 2:<sup>37-38</sup>

A hemoglobina é uma molécula presente em alta concentração no sangue dos seres humanos. Ela é composta por cadeias de globina, grupos hemes e um átomo de ferro (Fe) e também está presente em vários outros organismos; é encontrada em procariontes, fungos, plantas e animais.

A hemoglobina é muito eficiente em transportar oxigênio (O<sub>2</sub>), mas é importante sabermos que ela não desempenha só essa função e também não funciona em todos os organismos da mesma forma.

Nós usamos a hemoglobina para transportar oxigênio dos pulmões para nossos tecidos; algumas

<sup>36</sup> GOULD, Stephen Jay. **Wonderful life**: the burgess shale and the nature of history. Mm: W. W. Norton & Company, 1990.

<sup>37</sup> HARDISON, R. C. Evolution of hemoglobin and its genes. **Cold Spring Harbor Perspectives In Medicine**, [s. l.], v. 2, n. 12, 1 dez. 2012. Cold Spring Harbor Laboratory. DOI <http://dx.doi.org/10.1101/cshperspect.a011627>.

<sup>38</sup> HARDISON, R. Hemoglobins from bacteria to man: evolution of different patterns of gene expression. **The Journal of Experimental Biology**, EUA, p. 1099-1117. 24 mar. 1998. Disponível em: <https://jeb.biologists.org/node/1058756>. Acesso em: 5 mar. 2020.

espécies de moluscos usam para armazenar oxigênio, a fim de aproveitá-lo quando necessário; certos nematoides reservam hemoglobina na cavidade bucal, para continuarem se alimentando em condições de baixo oxigênio; e outros organismos empregam a hemoglobina para lidar com substâncias tóxicas, como micro-organismos, que utilizam para controlar os níveis de óxido nítrico.

## Mas e o que essas histórias têm em comum?

Bem, você já deve imaginar qual a relação entre a história da *Marrella splendens* e da hemoglobina, mas, mesmo assim, há coisas que você ainda não sabe.

As manchas escuras encontradas junto aos fósseis da *Marrella splendens* nada mais são do que as evidências mais antigas da existência de uma substância que quase todos animais (incluindo nós) compartilham: o sangue.

O sangue é responsável por muitas funções: transporte de substâncias (por exemplo, nutrientes, oxigênio e dióxido de carbono); geração de força hidráulica; regulação da temperatura corporal; ultrafiltração; defesa (através da entrega de fatores de coagulação e imunidade), integração de diferentes partes do corpo (como a regulação hormonal), dentre outras.

Evidências existentes sugerem que o sistema vascular sanguíneo apareceu pela primeira vez há mais de 600 milhões de anos<sup>39</sup>, como um meio de superar as restrições da difusão celular (transporte de

---

<sup>39</sup> MONAHAN-EARLEY, R.; DVORAK, A. M.; AIRD, W. C. Evolutionary origins of the blood vascular system and endothelium. **Journal of Thrombosis and Haemostasis**, [s. l.], v. 11, p. 46-66, jun. 2013. Wiley. DOI <http://dx.doi.org/10.1111/jth.12253>.

substâncias pela membrana celular). A presença do sangue em organismos animais foi uma característica adquirida evolutivamente, conforme os animais tornaram-se maiores e mais ativos, não sendo mais possível depender apenas do processo de difusão. As funções do sangue e o modo como ele as desempenha mudaram à medida que o tempo passou e que as condições de vida dos organismos variaram.

Atualmente, ainda existem animais que não possuem sangue, esse é o caso dos filos Porifera (esponjas), seguidos por Cnidaria (corais e águas-vivas) e Ctenophora (águas-vivas-de-pente). Os animais que pertencem a esses filos realizam os processos de trocas gasosas e excreção por meio da difusão.

Mas, voltando aos animais que possuem sangue: na maior parte desses organismos, o sangue possui proteínas respiratórias que são responsáveis pelo transporte do oxigênio.<sup>40</sup> A proteína respiratória mais comum, que você já conhece, é a hemoglobina. A hemoglobina possui o metal Ferro (Fe) na sua composição e, por isso, é a responsável pela pigmentação vermelha do sangue (o elemento ferro, quando entra em contato com o O<sub>2</sub>, apresenta cor avermelhada). A grande questão é que a hemoglobina não é a única proteína respiratória que existe, há outras, como, por exemplo, a hemeritina e a hemocianina, e os fósseis da *Marrella splendens* são uma boa evidência disso. A hemeritina é uma ferro-proteína que não contém o grupo heme, e a hemocianina é uma proteína que possui Cobre (Cu) em sua composição.

---

<sup>40</sup> BURMESTER, Thorsten. Evolution of Respiratory Proteins across the Pancrustacea. **Integrative and Comparative Biology**, v. 55, Issue 5, Nov. 2015. DOI <https://doi.org/10.1093/icb/icv079>.

As manchas escuras, encontradas nos fósseis da *Marrella splendens*, foram analisadas e, comparando com o restante da rocha, descobriu-se que o local das manchas estava enriquecido com um metal. O metal identificado foi o Cobre (Cu), indicando que indivíduos dessa espécie, provavelmente, tiveram a proteína hemocianina no sangue. A hemocianina, por possuir cobre, quando entra em contato com o oxigênio, fica azul esverdeado, por isso que os animais que têm essa proteína no sangue possuem sangue azul.

Esse é o caso de alguns moluscos (como lulas e polvos) e artrópodes (como alguns crustáceos e aranhas). Abaixo há imagens da espécie: *Limulus polyphemus* (Límulo ou carangueijo-ferradura) e do seu sangue (Figura 3).



Figura 3 - Espécie *Limulus polyphemus* e seu sangue extraído em laboratório GizModo, 2014

Fonte: Adaptado de GHEDIN, Rodrigo, 2014 pela autora<sup>41</sup>.

Além de sangue vermelho e azul, existem animais que possuem sangue de outras cores, como roxa, verde e branca!

<sup>41</sup> GHEDIN, Rodrigo. O valioso sangue azul dos caranguejos-ferradura que salva vidas. 2014. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/caranguejos-ferradura-sangue-azul/>. Acesso em: 5 mar. 2020.

Os animais que possuem sangue roxo, como vermes marinhos e braquiópodes (Figura 4)<sup>42</sup>, possuem a proteína hemeritrina, que também tem o ferro como metal para transportar O<sub>2</sub>, mas possui uma composição química diferente da hemoglobina e, quando o sangue que contém a hemeritrina entra em contato com O<sub>2</sub>, ele fica roxo<sup>43</sup>.



Figura 4 - *Sipunculus nudus*. Imagem da Naturdata Biodiversidade Online.

Espécies de lagartos do gênero *Prasinohaema* (Figura 5) possuem sangue na cor verde, e essa pigmentação é decorrente de um subproduto da decomposição de hemoglobinas, a biliverdina. Em nosso organismo, a biliverdina é formada no fígado e excretada, podendo estar presente em baixa concentração nos hematomas, quando estes apresentam cor esverdeada. Por outro lado, nesses lagartos essa substância

<sup>42</sup> Naturdata Biodiversidade Online. **Sipunculus nudus** Linnaeus, C., 1766. Disponível em: <https://naturdata.com/especie/Sipunculus-nudus/13846/0/>. Acesso em: 5 mar. 2020.

<sup>43</sup> MEYER, Achim; LIEB, Bernhard. Respiratory proteins in *Sipunculus nudus* - Implications for phylogeny and evolution of the hemerythrin family. **Comparative Biochemistry And Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, [s. l.], v. 155, n. 2, p. 171-177, fev. 2010. Elsevier BV. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpb.2009.11.001>.



se acumula na corrente sanguínea, alterando não só a cor do sangue, mas também de músculos e ossos.<sup>44</sup>



Figura 5 – Gênero *Prasinohaema*. Fotografia de Christopher Austin, *Natural Science*, publicada na National Geographic Brasil.<sup>45</sup>

Outros animais possuem sangue verde, mas, ao invés de ser pela presença da biliverdina, é devido à presença da clorocruorina. A clorocruorina possui uma estrutura química parecida com a hemoglobina, e é encontrada no sangue de algumas espécies de vermes marinhos e sanguessugas.

E, por último, há os animais que possuem sangue branco. Eles são conhecidos como peixes-gelo (Figura 6)<sup>46</sup> e têm o sangue dessa cor devido à ausência de proteínas transportadoras de  $O_2$ . Esses peixes vivem na costa da Antártida, e a ausência de proteínas pode ter acontecido porque a presença de células sanguíneas poderia fazer com que o sangue desses animais

<sup>44</sup> AUSTIN, Christopher C.; JESSING, Kevin W. Green-blood pigmentation in lizards. *Comparative biochemistry and physiology part A: Physiology*, [s. l.], v. 109, n. 3, p. 619-626, Nov. 1994. Elsevier BV. DOI [http://dx.doi.org/10.1016/0300-9629\(94\)90201-1](http://dx.doi.org/10.1016/0300-9629(94)90201-1).

<sup>45</sup> ARNOLD, Carrie. Este lagarto é o único vertebrado de sangue verde conhecido. 11. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/animais/este-lagarto-e-o-palmeirense-unico-vertebrado-palmeiras-de-sangue-verde-conhecido>. Acesso em: 5 mar. 2020.

<sup>46</sup> KLEIN, Joanna. How the icefish got its transparent blood and see-through skull: research shows how the antarctic blackfin icefish differs from its close relatives on the genetic level. **The New York Times**, New York. 28 fev. 2019. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2019/02/28/science/antarctic-blackfin-icefish-genome.html>. Acesso em: 5 mar. 2020.

coagulasse em temperaturas baixas, ou pode ter sido apenas um acaso genético!



Figura 6 - Espécie *Chaenocephalus aceratus*.  
The New York Times, 2019. Adaptado pela autora.

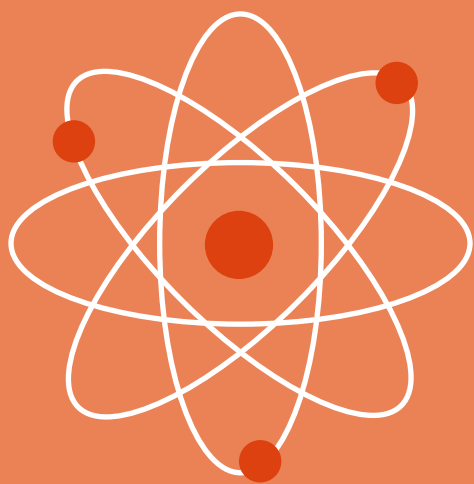
É através dessas duas histórias - da *Marrella splendens* e da hemoglobina - e da relação de uma com a outra que podemos compreender um pouco da história evolutiva do sangue. O sangue remonta centenas de milhões de anos e nos conecta com a *Marrella splendens* e com todos os demais organismos que possuíram ou possuem sistema circulatório.

Com o conhecimento da existência dos tipos de proteínas respiratórias, podemos perceber a forma como a evolução chegou a diferentes soluções para um único problema - nesse caso, o transporte de oxigênio.

## Questões para discussão

1. Por que dizemos que algumas características conquistadas, evolutivamente, podem ser advindas de acasos genéticos?

2. Como podemos explicar o fato de os organismos apresentarem diferentes soluções para um mesmo problema, como transportar oxigênio pelo corpo?



## Impostores da natureza: mimetismo



Diego C. Elias,  
Gabriel Dall'Alba

Observe as três imagens abaixo (Figura 1) e responda: Quantas formigas estão presentes?



Figura 1 - Quantas formigas estão presentes?

Fonte: **Abbott Nature Photography**<sup>47</sup> e Alexander Wild.<sup>48</sup>

A resposta para a pergunta acima é: **nenhuma**. Embora tenham aparência muito semelhante, estes animais não são formigas nem mesmo são seus parentes próximos. Se observarmos bem, o animal na foto do meio pode nos oferecer algumas pistas, para desvendar esses disfarces: podemos contar o número de suas pernas. O animal da foto possui oito (sendo que apenas sete estão visíveis, provavelmente uma perna dianteira foi perdida), e formigas apresentam apenas seis pernas. Além disso, é possível ver na parte frontal o que chamamos de **pedipalpos**, estrutura característica de um animal que, dificilmente, imaginaríamos nessas fotos: uma aranha!

O animal da esquerda é um besouro, e o da direita é um hemíptero (como os percevejos) e, tendo-os à mão, veríamos no besouro as asas externas enrijecidas,

<sup>47</sup> Disponível em: <https://www.naturalista.mx/taxa/514263-Acanthinus-argentinus>. Acesso em: 10 maio 2020.

<sup>48</sup> Disponível em: <https://www.alexanderwild.com/Ants/Natural-History/Ant-Mimics/>. Acesso em: 10 maio 2020.

típicas desses insetos cobrindo a parte traseira de seu corpo (abdômen e parte do tórax), bem como o aparelho bucal do hemíptero, que se assemelha à agulha de uma seringa, com função sugadora. Contudo, nenhum desses animais é parente próximo das formigas. Então como e por que animais tão distintos têm aparência tão similar?

Em algumas circunstâncias, ser semelhante a outro animal pode ser um excelente disfarce para se aproximar de uma presa, uma dissimulação para enganar um predador e até mesmo um chamariz para atrair alguém que lhe convém, ser um **impostor**. O que observamos é uma complexa relação ecológica nomeada **mimetismo**, que consiste em semelhanças entre espécies diferentes, podendo inclusive ser considerada uma **convergência evolutiva**.<sup>49</sup> Dividimos os envolvidos nessa interação ecológica em **mímico** (quem imita, podendo haver mais de uma espécie) e **modelo** (quem é imitado).



Figura 2 – Aranha macho da espécie *Orsima ichneumon*

Fonte: Retirada de Painting *et al.*, 2017.<sup>50</sup>

<sup>49</sup> **Convergência evolutiva** é um processo no qual os indivíduos desenvolvem características em diferentes graus de semelhança, seja na aparência ou na funcionalidade de certas partes do corpo, mas de maneira independente e com origens diferentes.

<sup>50</sup> PAINTING, Christina J. *et al.* Nectary feeding and guarding behavior by a tropical jumping spider. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 8, p. 469-470, 2017.



Figura 3 – Fêmea (esquerda) e macho (direita) de *O. ichneumon*  
Fonte: Retirada de Wee *et al.*, 2017.<sup>51</sup>

Não é incomum encontrarmos casos em que os mímicos partilham mais de uma característica com seus modelos. Além da morfologia, podem também replicar comportamentos, sinais químicos (como odores), produção de sons e quaisquer outros mecanismos que refinem a imitação. A aranha *Orsima ichneumon*<sup>52</sup> (Figuras 2 e 3) é um exemplo disso, porque tem duplo disfarce. Essa saltadora exibe um abdômen longo e estreito, com um belo padrão colorido, além de possuir as fiandeiras (estruturas por onde as teias são colocadas) dispostas de modo que se assemelham a duas antenas e mandíbulas de uma formiga. Essa espécie é encontrada em pequenas árvores, arbustos e samambaias na Malásia e na Indonésia e, principalmente, em uma planta chamada *Clerodendrum villosum*, que possui nectários nas suas folhas. Os machos e as fêmeas se alimentam capturando pequenos invertebrados e complementam sua dieta com o néctar proveniente da planta, patrulham em torno dos nectários, e o defendem de formigas de mesmo tamanho, que também

<sup>51</sup> WEE, Renee HX *et al.* Courtship and male-male interaction behaviour of *Orsima ichneumon* (SIMON, 1901), an ant-mimicking jumper spider (Arachnida: Salticidae). **Raffles Bulletin of Zoology**, v. 65, 2017.

<sup>52</sup> A nomenclatura científica é única e universal, sendo escrita em latim para nomear as espécies biológicas. É uma combinação binária, formada pelo gênero e nome específico. O gênero deve iniciar com letra maiúscula e o nome específico por letra minúscula, ambos devem estar destacados (*itálico*, **negrito** ou sublinhado).

têm interesse nesse alimento, ou fogem ao se deparar com formigas muito maiores. Além da aparência que lembra uma formiga, *O. ichneumon* apresenta um comportamento muito peculiar: após consumir o néctar, a aranha vira-se e balança o abdômen sobre o nectário, de maneira similar à de uma formiga se alimentando e, enquanto isso, distribui sua teia sobre a estrutura da planta. Pesquisadores acreditam que colocar teia sobre o nectário pode ter algumas funções, tais como: marcar o caminho até o alimento, para economizar energia no forrageio, deixar e encontrar sinais químicos para/de possíveis parceiros sexuais e até mesmo atraparlar o acesso de formigas ao nectário.

Este é um caso em que podemos observar a aparência e o comportamento atuando como fatores miméticos e, também, é importante percebermos como a ocorrência do mimetismo nem sempre significa uma “parceria” entre o modelo (formiga) e o mímico (aranha). Ao invés disso, mostra uma relação entre espécies que intensifica a competição e traz desvantagens no acesso ao recurso para o modelo. Fica claro que as relações ecológicas desarmônicas que envolvem mimetismo não ocorrem apenas em modelos “predador-presa”, mas também como um reflexo da sobreposição de nicho, onde há disputa por recursos ou até mesmo por território, tal qual o exemplo anterior. Uma interação semelhante pode ser vista nas imagens abaixo envolvendo uma vespa e seu mímico mantispídio.



**Figura 4** – Comportamento agressivo de uma vespa (modelo, à esquerda nas imagens) diante do mímico (mantispidio, à direita nas imagens).

**Fonte:** Insect Hunter.<sup>53</sup>



**Figura 5** – Filhote de *L. hypopyrra* (esquerda) e lagarta de *Megalopygidae* (direita).

**Fonte:** Retirado de Landoño *et al.*, 2015.<sup>54</sup>

O mimetismo ocorre, majoritariamente, entre os animais invertebrados, mas, às vezes, somos surpreendidos com algumas manifestações envolvendo vertebrados ou até mesmo plantas. A chorona-cinza (*Laniocera hypopyrra*) é uma ave que se beneficia do mimetismo, quando os “ninhegos” (filhote que ainda não deixou o ninho) estão na fase mais vulnerável à predação. Eles apresentam penas modificadas com coloração aposemática<sup>55</sup> e muito semelhantes a uma

<sup>53</sup> Vídeo de comportamento agonista entre vespa e mantispídio. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Lldac13hhKs>. Acesso em: 12 maio 2020.

<sup>54</sup> LONDOÑO, Gustavo A.; GARCÍA, Duván A.; SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Manuel A. Morphological and behavioral evidence of Batesian mimicry in nestlings of a lowland Amazonian bird. **The American Naturalist**, v. 185, n. 1, p. 135-141, 2015.

<sup>55</sup> **Aposematismo** refere-se a características geralmente associadas a colorações fortes e chamativas de um organismo, que advertem potenciais predadores, indicando que este organismo aposemático é tóxico, perigoso ou impalatável.



lagarta “peluda” da família Megalopygidae (Figura 5), que habita as mesmas regiões, conhecida pela sua toxicidade e evitada por predadores. Quando ameaçado, o filhote até movimentar-se de forma vagarosa como a lagarta, dando suporte à sua imitação.

Existem duas grandes classificações clássicas para o mimetismo, chamadas de mimetismo *batesiano* e *mulleriano*. Ambos são similares em alguns aspectos que já abordamos aqui: envolvem uma espécie - a *espécie mímica* -, que desenvolve ao longo do tempo um grau de similaridade com outra espécie, chamada de *espécie-modelo*. Em ambos os casos, uma *espécie receptora* (podendo ser um predador ou não, por exemplo) predispõe-se de um “viés”, negativo ou positivo, quanto à *espécie-modelo*, devido ao tempo em que ambas as espécies, *modelo* e *receptora*, já estão expostas às relações ecológicas, e aprendem a correlacionar os indivíduos da espécie *mímica*, com a similaridade compartilhada com a *espécie-modelo*. Em outras palavras, a espécie *mímica* procura se beneficiar da aversão que o predador já possui pelo modelo.

Ambas as classificações são influenciadas pelo mesmo mecanismo evolutivo, a **seleção dependente de frequência**, embora uma é inversa à outra: mímicos batesianos precisam apresentar uma densidade populacional (número de indivíduos na natureza) menor que a da espécie modelo. Imagine um predador que reconhece a *espécie-modelo* como impalatável, de repente recebendo sinais mistos das suas presas, comendo indivíduos que apresentam a cor de alerta, mas não apresentando a mesma “impalatabilidade”. Frente a esse cenário, o predador pode perder a correlação entre a cor de alerta e a “impalatabilidade”. Por isso, uma frequência populacional **maior** da espécie

mimética pode interferir, **negativamente**, na interação ecológica, retirando o valor protetivo da coloração, como sinal de advertência. Mímicos *müllerianos*, por outro lado, podem e devem apresentar uma densidade populacional maior do que a da *espécie-modelo*, uma vez que isso reforça a associação entre coloração e “impalatabilidade”.<sup>56</sup>

Com isso, começamos a identificar algumas diferenças fundamentais entre os mimetismos *mülleriano* e *batesiano*. A maior delas reside na maneira como se chega a um estágio mimético. No caso *batesiano*, espécies **palatáveis** copiam modelos **impalatáveis**, sem apresentar as mesmas características que lhe configuram como impalatável senão a *coloração de advertência (ou morfologia*, no caso de aranhas miméticas de formigas). Além disso, geralmente, ocorre entre espécies que ocupam um mesmo espaço geográfico.<sup>57-58</sup> No caso do mimetismo *mülleriano*, existem similaridades além da característica mais externa (como somente cor ou forma), que conferem “impalatabilidade” às duas espécies. Geralmente duas espécies *distintas* apresentam características compartilhadas, possivelmente resultantes de uma **convergência**, e que apressam o aprendizado do predador. A ideia aqui é que os sinais “induzam” o aprendizado para uma aversão total à característica (e, por isso, maior densi-

<sup>56</sup> KLEIN, A. L. **Mimetismo e reconhecimento específico em borboletas do Sul do Brasil**. 2015, 62f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

<sup>57</sup> BORGES, F. C. M. **Interação presa-predador com aprendizado**. 2018. 125f. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

<sup>58</sup> BATES, H. W. Contributions to an insect fauna of the Amazon Valley: Lepidoptera: Heliconidae. **Transactions of the Linnean Society of London**, v. 25, p. 495-566, 1862.

dade populacional é benéfica neste caso). A rejeição por parte do predador pode ser mais rápida e, assim, menos indivíduos de uma espécie são perdidos no processo de aprendizado. Espécies raras também se beneficiam, imensamente, deste modelo, reduzindo as chances de serem extintas.

O mimetismo apresenta uma oportunidade singular de estudar a seleção natural e compreender ainda mais o que é a evolução – tarefa que precisa do auxílio de diversas áreas da biologia (como Ecologia, Zoologia e Botânica) e até da Física. O mimetismo é um convite à admiração da natureza, mas não apenas de modo contemplativo, mas através de uma provocação ao entendimento dos mecanismos por trás de seu funcionamento, sendo uma oportunidade de pôr, sob um olhar evolutivo, algumas questões complexas que não nos permitem explicá-las de maneira simplista, com suas inúmeras características passando despercebidas.

## Questões para discussão<sup>59</sup>

Suponha que você é uma ave. Dentre suas atividades diárias, talvez a mais importante seja andar por aí em busca de alimento (ou forrageando) e, não por acaso, suas refeições favoritas são besouros ou mariposas. Você tem, através do seu DNA, uma predisposição genética que faz com que você responda, **negativamente**, aos besouros, especialmente àqueles de coloração avermelhada e escura: não são nada apetitosos e são potencialmente tóxicos, assim como nós, humanos, sentimos ânsia de vômito ao nos

---

<sup>59</sup> Para quem se interessar mais pelo assunto, uma versão expandida do capítulo – juntamente com a resposta e discussão do problema proposto para sala de aula – pode ser encontrado em: <https://nastrilhasdarazao.wordpress.com/2020/06/13/impostores-da-natureza-mimetismo/>. Acesso em: 26 de jan. de 2023

depararmos com cheiros e gostos demasiadamente estranhos a nós.

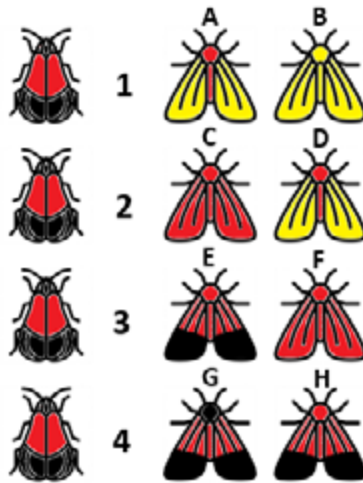
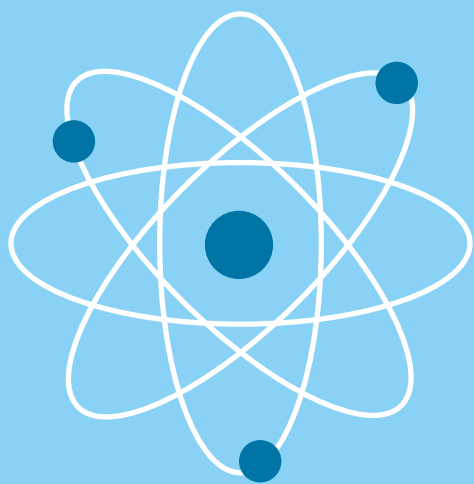


Figura 6 - Representação de licídios e mariposas de diferentes colorações

Fonte: Elaboração própria.

Imagine cada um dos quatro cenários da Figura 6. Por exemplo, caso você se depare, em uma de suas buscas por alimento, com as mariposas A e B da imagem acima, qual das duas escolheria como refeição? Bem, se você for uma ave cautelosa, preferirá comer a mariposa B, pois a outra possui parte do corpo com cores que você já viu em um besouro impalatável (coluna à esquerda da imagem). Suponha que, à medida que o tempo passa, cada cenário restante (2, 3 e 4) passe a ser verdade. Discuta seu comportamento em cada situação e tente identificar o tipo de mimetismo (batesiano ou mülleriano). Além disso, o mimetismo pode contribuir para a seleção natural das mariposas?



# Lá e de volta outra vez



Pedro Lenz Casa,  
Fernanda Pessi de Abreu  
Matheus Parmegiani Jahn

As tartarugas marinhas estão entre as mais extraordinárias criaturas do nosso Planeta. Esses répteis aquáticos podem ser considerados verdadeiros fósseis vivos, tendo sido contemporâneos do período dos dinossauros e estando até hoje presentes na natureza. O espécime mais antigo já encontrado no registro fóssil possui cerca de 120 milhões de anos, o *Desmatochelys padillai*.<sup>60</sup> As feições desse fóssil, como membros frontais semelhantes a remos e indícios da presença de uma glândula de sal<sup>61</sup> no crânio, sugerem que o animal viveu em ambiente de água salgada.<sup>62</sup>

Uma das peculiaridades mais curiosas das tartarugas reside na capacidade de retornarem ao local de origem, após longos anos de viagem, sem sequer um mapa do Globo ou celular com GPS. As fêmeas encaram essa árdua jornada com a finalidade de reproduzir, terminando com uma postura de ovos na praia em que nasceram. Dessa forma, durante sua vida as tartarugas alternam entre regiões para alimentação e zonas reprodutivas (Figura 1). No entanto, o mecanismo

---

<sup>60</sup> A nomenclatura científica é única e universal, sendo escrita em latim para nomear as espécies biológicas. É uma combinação binária, formada pelo gênero e nome específico. O gênero deve iniciar com letra maiúscula e o nome específico por letra minúscula, ambos devem estar destacados (*italico*, **negrito** ou sublinhado).

<sup>61</sup> Glândula de sal: órgão presente em algumas aves e répteis marinhos que elimina o excesso de sal do organismo.

<sup>62</sup> CADENA, Edwin A.; PARHAM, James F. Oldest known marine turtle? A new protostegid from the Lower Cretaceous of Colombia. *PaleoBios*, v. 32, n. 1, 2015.

enigmático por trás dessa habilidade de localização tem intrigado a mente de pesquisadores, há bastante tempo, e, ainda, é sujeito a debates na comunidade científica.

Com a finalidade de melhor entender o ambiente onde esses animais vivem, pesquisadores têm encarado a missão de acompanhar as rotas percorridas por tartarugas marinhas. Nesse sentido, existem dois métodos amplamente utilizados que se destacam. O primeiro investiga as relações de parentesco por meio de análises de DNA. Um estudo contemplando tartarugas-de-couro no oceano Pacífico, por exemplo, sugeriu que populações com ninhos em ilhas na Indonésia migram para regiões tropicais e temperadas na costa dos Estados Unidos, para se alimentarem. Essa suposição foi alcançada com base na similaridade de marcadores genéticos entre as tartarugas encontradas em cada praia.<sup>63</sup> É interessante que essa mesma relação foi comprovada alguns anos depois pelo segundo método de análise de rotas migratórias, o rastreamento por satélite. Nesse caso, tartarugas individuais são equipadas com um dispositivo transmissor, que, periodicamente, envia um sinal ao satélite conectado. Durante esse acompanhamento, foi estabelecido o recorde de distância percorrida entre uma praia de postura e uma área de forrageio.<sup>64</sup> A tartaruga-de-couro fêmea, que detém esta marca, partiu da província de Papua na Indonésia e chegou à costa do estado de Oregon nos Estados Unidos, completando uma viagem de 20.558 km (Figura 1). Estudos desse tipo

---

<sup>63</sup> DUTTON, Peter H. *et al.* Molecular ecology of leatherbacks in the Pacific. In: **PROCEEDINGS OF THE 2ND ASEAN: Symposium and Workshop on Sea Turtle Biology and Conservation**, 15-17th July, 1999, Kota Kinabalu, Malaysia. UNIMAS, p. 361, 2000.

<sup>64</sup> Forrageio: é a procura de recursos alimentares pelos seres vivos.

não somente contribuem para o entendimento da capacidade superior de navegação das tartarugas, como também auxiliam no planejamento de estratégias para conservação.



**Figura 1** - Representação do ciclo de vida de uma tartaruga, sendo o ícone laranja a área de forrageio e o ícone cinza a praia de nidificação.<sup>65</sup> Este é também o trajeto aproximado da viagem mais longa já percorrida por uma tartaruga-de-couro, completando 20.558 quilômetros em 647 dias. Seus movimentos foram rastreados via satélite

**Fonte:** Adaptada de Benson *et al.* (2007) pelos autores.<sup>66</sup>

Além de entender os caminhos percorridos, cientistas buscam explicações por trás dessa capacidade de deslocamento entre ninhos e espaços de alimentação. Um plausível mecanismo poderia envolver a captação de sinais magnéticos específicos. Nesse sentido, o Planeta Terra pode ser comparado a um grande ímã

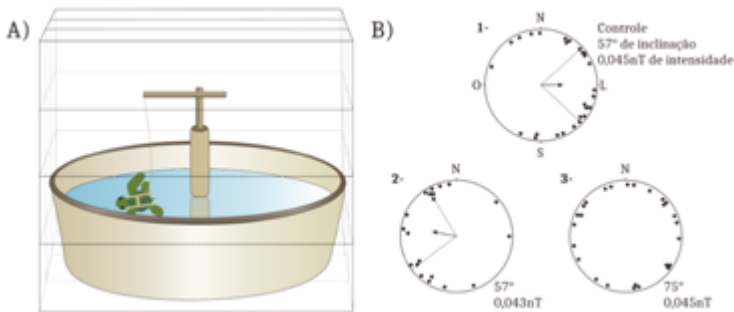
<sup>65</sup> Nidificação: ação de alguma espécie de animal construir seu ninho.

<sup>66</sup> Adaptado de: BENSON, Scott R. *et al.* Post-nesting migrations of leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) from Jamursba-Medi, Bird's Head Peninsula, Indonesia. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 6, n. 1, p. 150-154, 2007.



com os polos negativo e positivo. Os seres humanos aprenderam a aproveitar essa característica em dispositivos como bússolas, que, originalmente, auxiliavam na orientação de embarcações em alto-mar. De forma similar, alguns animais possuem, naturalmente, a capacidade de percepção do campo magnético terrestre, que é originado da interação entre os dois polos.

Um experimento clássico que apoia essa hipótese foi desenvolvido na década de 90, do século XX, por pesquisadores da Universidade de Carolina do Norte, nos Estados Unidos. Em uma série de trabalhos, o grupo avaliou o comportamento de filhotes de tartaruga-cabeçuda, em resposta a campos magnéticos de intensidade e inclinação diferentes. Os animais eram posicionados em um tanque com água salgada e amarrados a um braço central que registrava a direção do nado (Figura 2A). O arranjo de um sistema de bobinas, ao redor do tanque, permitiu o controle do campo magnético local. Por meio desse experimento, foi observado que as tartarugas tendiam a nadar em direção ao leste, quando expostas a condições similares ao local em que nasceram (Figura 2B-1). Em contrapartida, derivaram para a direção oposta, quando a intensidade do campo magnético foi diminuída (Figura 2B-2). Além do mais, os movimentos apresentaram uma distribuição aleatória quando a inclinação do campo foi alterada (Figura 2B-3). Assim, foi demonstrado que a orientação do nado das tartarugas pode ser afetada por parâmetros de inclinação e intensidade magnética.



**Figura 2** – Experimento que investiga a percepção de campos magnéticos por tartarugas marinhas: A) Design experimental, sendo que a caixa ao redor do tanque representa o sistema para geração do campo magnético; B) Resultados do experimento, sendo que o círculo representa o espaço do tanque, os pontos representam a direção em que cada tartaruga nadou, e as flechas denotam a tendência do grupo

**Fonte:** Adaptada de Lohmann e Lohmann (1994, 1996) pelos autores.<sup>67-68</sup>

Existem duas teorias sobre como ocorre a magnetorrecepção na natureza. A primeira assume a existência de um sensor químico, sendo que alguns animais possuem pequenas partículas de magnetita no corpo, as quais poderiam estar agindo como receptores magnéticos. Esse mecanismo explicaria a precisão com que são detectadas pequenas variações, visto que a magnetita é o mineral mais magnético da Terra, originado de forma natural. A segunda teoria pressupõe sensores mecânicos e, nesse caso, o sensor seria uma proteína denominada criptocromo. Essa se encontra presente nos olhos de alguns animais, e é

<sup>67</sup> LOHMANN, Kenneth J.; LOHMANN, Catherine MF. Detection of magnetic inclination angle by sea turtles: a possible mechanism for determining latitude. **Journal of Experimental Biology**, v. 194, n. 1, p. 23-32, 1994.

<sup>68</sup> LOHMANN, Kenneth J.; LOHMANN, Catherine MF. Detection of magnetic field intensity by sea turtles. **Nature**, v. 380, n. 6569, p. 59-61, 1996.

possível que eles sejam capazes de enxergar o campo magnético ao seu redor. No entanto, nenhuma teoria foi comprovada, e os mecanismos que possibilitam às tartarugas sua capacidade extraordinária de localização ainda são intrigantes para cientistas.<sup>69-70-71</sup>

Além das tartarugas, outros animais podem reagir a estímulos magnéticos, desde micro-organismos, como bactérias, invertebrados, como moluscos, crustáceos e insetos e até vertebrados, como peixes, aves, morcegos e baleias. Em suma, esse sentido magnético é encontrado em diversas espécies, tanto em indivíduos jovens, quanto em adultos. Apesar dessa característica auxiliar em longas migrações, como é o caso das tartarugas-de-couro, ela não é exclusiva de animais com esse hábito, visto que animais sem características migratórias, por exemplo moscas e galinhas, também apresentam percepção magnética.<sup>72</sup> Ainda mais, um estudo recente demonstrou que seres humanos também podem desfrutar deste “sexto sentido”. No entanto, embora tenham sido observadas variações na atividade cerebral, em resposta aos estímulos magnéticos, essa informação não é manifestada de forma consciente. Os pesquisadores envolvidos nesse trabalho concluíram que os resultados obtidos podem estar apontando um resquício dos componentes envolvidos

---

<sup>69</sup> JOHNSEN, Sönke; LOHMANN, Kenneth J. The physics and neurobiology of magnetoreception. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 6, n. 9, p. 703-712, 2005.

<sup>70</sup> WE Don't Know: Magnetoreception. Direção: Nguyễn Khôi Nguyễn. **Science AAAS**, 2016. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=tdXb\\_4EkYtU](https://www.youtube.com/watch?v=tdXb_4EkYtU). Acesso em: 19 jul. 2020.

<sup>71</sup> DIEBEL, Carol E. *et al.* Magnetite defines a vertebrate magnetoreceptor. **Nature**, v. 406, n. 6793, p. 299-302, 2000.

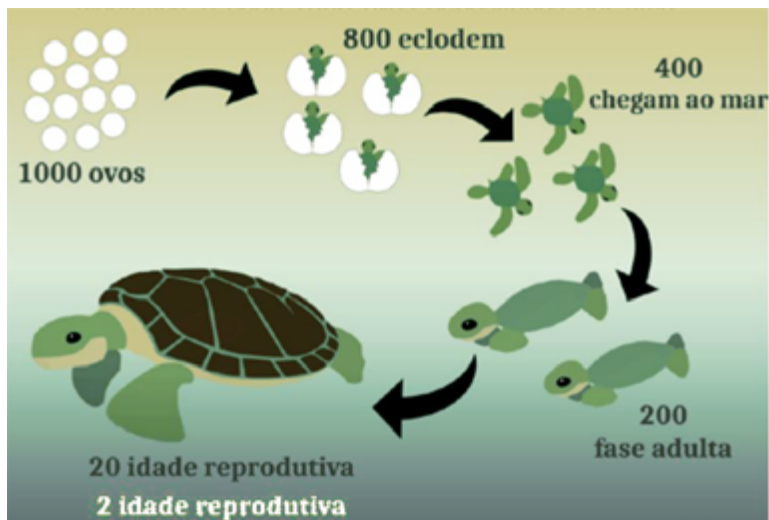
<sup>72</sup> FORMICKI, Krzysztof; KORZELECKA-ORKISZ, Agata; TAŃSKI, Adam. Magnetoreception in fish. **Journal of Fish Biology**, v. 95, n. 1, p. 73-91, 2019.

na magnetorecepção, retidos ao longo da História evolutiva.<sup>73</sup>

Além de percorrer longas distâncias para concluir o ciclo reprodutivo, as tartarugas acabam enfrentando outros desafios nesse processo. Em uma situação hipotética, a cada 1.000 ovos depositados por uma tartaruga, aproximadamente 20% não eclodem, e somente 50% daqueles que emergem sobrevivem à predação por outros animais, antes de chegarem ao mar. Continuando essa árdua jornada, apenas 50% dos pequenos filhotes que alcançam o mar sobrevivem até uma idade avançada. Atingir a idade reprodutiva é um feito extraordinário, visto que dos 1.000 ovos depositados, cerca de 20 tartarugas irão chegar até essa fase. Pelo menos essas seriam as probabilidades, se não ocorresse a interferência humana, no desenvolvimento costeiro, na disposição inadequada de lixo, caça predatória, nas redes de pesca e nos derramamentos de óleo. Esses problemas mencionados diminuem a probabilidade de sobrevivência das tartarugas, reduzindo, substancialmente, as chances de alcançarem a idade reprodutiva (Figura 3).

---

<sup>73</sup> WANG, Connie X. *et al.* Transduction of the geomagnetic field as evidenced from alpha-band activity in the human brain. *eNeuro*, v. 6, n. 2, p. 1-23, 2019.



**Figura 3** – Representação hipotética da probabilidade de sobrevivência a cada estágio do ciclo de vida de uma tartaruga sem a intervenção humana (valores em preto) e com a interferência humana (valor em vermelho)

**Fonte:** Adaptada de TED-Ed (2012) pelos autores.<sup>74</sup>

Assim, as populações de diversas espécies de tartarugas marinhas vêm diminuindo devido às pressões humanas. Algumas medidas consideradas indispensáveis, para combater esse cenário, incluem: redução das interações pesqueiras, proteção das praias onde ocorre a nidificação, reforço do engajamento público, monitoramento e pesquisa.<sup>75</sup> Adicionalmente, futuras estratégias também poderão levar em conta a habilidade de percepção do campo magnético pelas tartarugas, sendo que estudos recentes apontam a forte correla-

<sup>74</sup> The survival of the Sea Turtle. TED-Ed, 2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=t-KmQ6pGxg4>. Acesso em: 19 jul. 2020.

<sup>75</sup> LEATHERBACK Turtle. **NOAA Fisheries**. Disponível em: <https://www.fisheries.noaa.gov/species/leatherback-turtle#spotlight>. Acesso em: 19 jul. 2020.

ção da distribuição de ninhos com pequenas variações na assinatura magnética local, ao longo do tempo.<sup>76</sup> Dessa forma, a compreensão do compasso natural desses animais pode auxiliar no monitoramento, com a finalidade de conservação. A curiosidade em entender como e por que as coisas acontecem faz parte das habilidades dos cientistas. Nesse sentido, a observação dos fenômenos e a elaboração de hipóteses testáveis são etapas fundamentais, que nos permitem conhecer o mundo. Quando os pesquisadores começaram a realizar questionamentos, e por meio desses propor possíveis explicações para as habilidades perspicazes das tartarugas, provavelmente não tinham um objetivo predeterminado, além da geração de conhecimento. Contudo, o estudo científico da ida e vinda das tartarugas revela diversas possibilidades para aplicação desse conhecimento, sendo exemplar da natureza transformadora da ciência.

## Sugestão de atividade

### Desafio matemático

Você é um biólogo que trabalha com ecologia de tartarugas marinhas e recebeu a missão de fazer uma projeção da população de uma espécie. Suponha que pesquisadores enviaram a informação de que a população atual, no ano de 2021, é de *três* indivíduos machos e *quatro* fêmeas, todos em idade reprodutiva. Para o cálculo, leve em consideração as probabilidades sem interferência humana descritas no texto. Além disso, cada tartaruga deposita 100 ovos por

---

<sup>76</sup> BROTHERS, J. Roger; LOHMANN, Kenneth J. Evidence for geomagnetic imprinting and magnetic navigation in the natal homing of sea turtles. **Current Biology**, v. 25, n. 3, p. 392-396, 2015.

ano, sendo metade de cada gênero. Calcule o número de tartarugas da população após cinco anos. Seus cálculos serão utilizados por órgãos do governo para guiar as estratégias de conservação de uma espécie ameaçada.

Não esqueça de levar em consideração que: (i) os ovos vão eclodir no mesmo ano em que ocorreu a postura; (ii) as tartarugas atingem idade adulta no ano seguinte; e (iii) maturidade reprodutiva em 30 anos.

\*Os valores e as informações ecológicas informadas neste exercício são hipotéticas e possuem finalidade didática.

## Notas para o professor

A exemplificação da resolução do problema está no Quadro 1, na qual se encontra o número de indivíduos de cada categoria de tartaruga, conforme o passar dos anos. No final do quinto ano, a população terá 487 tartarugas, incluindo indivíduos recém-nascidos (chegando ao mar), adultos e em maturidade sexual (três machos e quatro fêmeas). Nesse momento, sugere-se para o professor conversar com os alunos sobre os fatores que resultam no declínio da população de tartarugas, visto que as populações iniciais são constituídas por um número significativo de indivíduos.

	Ovos	Eclusão	Mar	Adulto	Idade reprodutiva
Ano 1	400	320	<b>160</b>	-	3 machos 4 fêmeas
Ano 2	400	320	<b>160</b>	80	3 machos 4 fêmeas
Ano 3	400	320	<b>160</b>	80 + 80	3 machos 4 fêmeas

Ano 4	400	320	<b>160</b>	80 + 80 + 80	3 machos 4 fêmeas
Ano 5	400	320	<b>160</b>	80 + 80 + 80 + 80	3 machos 4 fêmeas
Total	-	-	160	320	7

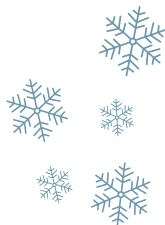
**Quadro 1** - Resolução do problema matemático apresentado

**Fonte:** Elaboração dos autores.





# A catástrofe climática iminente: o calor que gera calafrios



*Gabriele Zenato Lazzari  
Pedro Lenz Casa  
Fernanda Pessi de Abreu  
Rodrigo Sebastian Iglesias*

**D**e forma global e sem precedentes, as mudanças climáticas são um fenômeno que vêm impactando a sociedade e desequilibrando o meio ambiente desde a Revolução Industrial iniciada no século XVIII, configurando-se como um dos maiores desafios da atualidade. Sem uma atitude radical, hoje, lidar com as consequências deste fenômeno - que afetam desde a produção de alimentos e a geração de energia, até a elevação do nível do mar - será ainda mais difícil e custoso no futuro.<sup>77</sup>

Para compreender esse cenário e a partir dele elaborar estratégias de mitigação<sup>78</sup> e adaptação às mudanças climáticas, é preciso inicialmente entender como o Planeta mantém e regula sua temperatura. Um fenômeno importante desse mecanismo de regulação é o efeito estufa (Figura 1). Como o próprio nome indica, nosso Planeta mantém a temperatura proveniente dos raios solares utilizando uma barreira parcial, tal como o

---

<sup>77</sup> IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.* World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, p. 32, 2018.

<sup>78</sup> Mitigação: ações para reduzir ou remediar os impactos ambientais.

vidro de uma estufa. Nesse sentido, esta função é exercida pelos gases que compõem a atmosfera da Terra, que age de maneira semelhante a um escudo seletivo, refletindo a maior parte da radiação solar prejudicial, no mesmo tempo em que permite a passagem e aprisiona a energia térmica que é refletida de volta pela superfície terrestre. Da mesma forma que um cobertor nos mantém quentes durante a noite, a atmosfera garante uma temperatura favorável ao Planeta e a seus habitantes.

Dentre os principais gases que contribuem para o efeito estufa, estão: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e gases fluorados.<sup>79</sup> De longe, o  $\text{CO}_2$  é o que contribui com o maior percentual de aquecimento (60%), já que é o mais abundante. Todavia, apesar do  $\text{CH}_4$  ser cerca de 200 vezes menos concentrado na atmosfera que o  $\text{CO}_2$ , esse gás é, aproximadamente, 28 vezes mais poderoso em um período de 100 anos,<sup>80</sup> uma vez que apresenta maior capacidade de absorção de calor do que o  $\text{CO}_2$ . Já os gases fluorados, de origem exclusivamente antrópica, também estão presentes em concentrações muito pequenas - na ordem de partes por milhão (ppm) - mas possuem um potencial de aquecimento de até 23.000 vezes maior do que o  $\text{CO}_2$  e podem permanecer na atmosfera por até 50 mil anos. Alguns destes são responsáveis pela decomposição da camada de ozônio, a

---

<sup>79</sup> Gases fluorados: incluem hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorocarbonetos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ).

<sup>80</sup> I INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: synthesis report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (ed.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p.151, 2014.

qual é responsável por nos proteger dos nocivos raios ultravioletas.

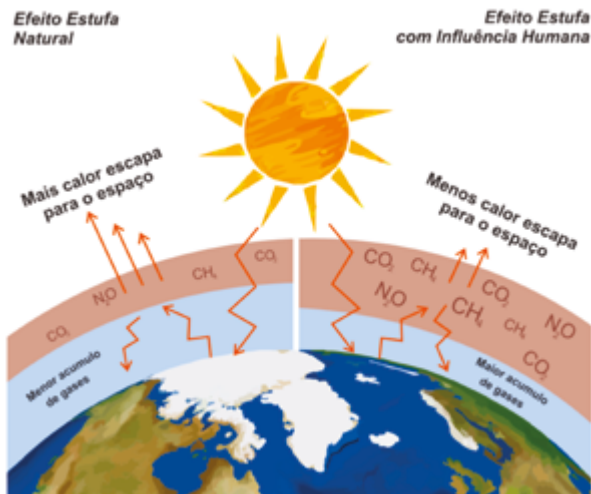


Figura 1 - Esquema do efeito estufa em condições naturais (esquerda) e com influência humana (direita). No primeiro caso, devido ao menor acúmulo de gases do efeito estufa (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>), o calor irradiado pelo Sol escapa mais facilmente para o espaço. Já no segundo caso, devido ao maior acúmulo de gases do efeito estufa, ocorre a formação de uma camada mais densa. Esta impede que o calor escape para o espaço acarretando no aumento da temperatura global

Fonte: Adaptada de RAHMAN, Farahiyah Abdul et al (2017) pelos autores.<sup>81</sup>

Além do efeito estufa, a temperatura e o clima da terra são afetados, em longo prazo, por distintos movimentos da Terra – a forma da órbita, o ângulo e a direção do eixo do nosso Planeta variam em ciclos de centenas de milhares de anos, alterando a intensidade recebida de radiação solar e, conseqüentemente, a temperatura

<sup>81</sup> RAHMAN, Farahiyah Abdul *et al.* Pollution to solution: Capture and sequestration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and its utilization as a renewable energy source for a sustainable future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 112-126, 2017.

média global. Estes movimentos foram descobertos pelo matemático sérvio Milutin Milankovitch, e sua correlação com as variações de temperatura na Terra confirmadas em 1976, sendo hoje denominados Ciclos de Milankovitch. Segundo estes ciclos, o Planeta pode se encontrar mais perto ou mais longe do Sol de tempos em tempos, causando alterações climáticas globais. Este modelo permite explicar os períodos conhecidos como eras glaciais, quando a temperatura média da Terra era de 4°C abaixo da atual. Portanto, há cada cerca de 100.000 anos, a Terra alterna entre períodos interglaciais mais quentes e períodos glaciais mais frios.<sup>82</sup>

Atualmente, o Planeta se encontra em um estágio interglacial do ciclo mais longo que o habitual, e se esperaria que as temperaturas médias evoluíssem em direção a um aumento da glaciação. Entretanto, o cenário real se mostra diferente (Figura 2). Com base em dados de numerosas estações de monitoramento climático, cientistas têm observado um rápido aumento da temperatura média da superfície da Terra e dos oceanos.<sup>83</sup> Estima-se que, em 2017, o aquecimento tenha atingido 1,0°C acima dos níveis pré-industriais (início do século XIX), aumentando em torno de 0,2°C a cada década.<sup>84</sup> Veremos mais adiante o que está por trás dessa mudança inesperada.

---

<sup>82</sup> MASLIN, Mark. Forty years of linking orbits to ice ages. **Nature**, v. 540, n. 7632, p. 208-209, 2016.

<sup>83</sup> WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Provisional Statement on the State of the Global Climate in 2019**.

<sup>84</sup> HAUSTEIN, K. *et al.* A real-time global warming index. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-6, 2017.

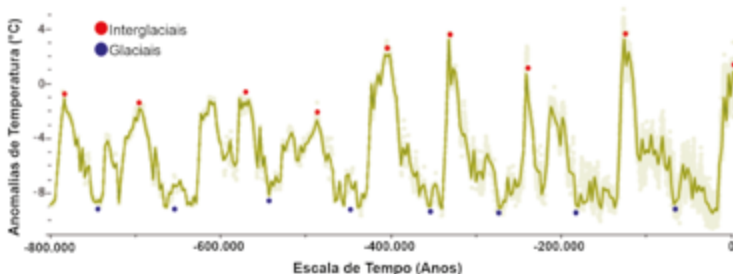


Figura 2 – Representação da alternância entre as eras glaciais (pontos azuis, grandes anomalias negativas) e interglaciais quentes (pontos vermelhos, picos)

Fonte: Adaptada de Robert Simmon (2010), pelos autores.<sup>85</sup>

Além da perturbação do sistema climático da Terra, este cenário de aumento da temperatura média global é responsável por uma série de outros efeitos que estão sendo observados em todo o Planeta. Nos oceanos, o excesso de calor absorvido e retido pela água está provocando sua expansão térmica<sup>86</sup> e, com isso, um aumento do nível médio do mar. Em 2019, foi registrado o aumento mais alto desde o início das medições de alta precisão, em 1993, acelerada pela perda extensiva da cobertura de gelo da Groenlândia e da Antártica.<sup>87</sup> Geleiras estão recuando e, em alguns casos, desaparecendo rapidamente, em quase todos os lugares do mundo.

Nas duas últimas décadas, também foi observada maior frequência e intensidade de eventos climáticos

<sup>85</sup> How is Today's Warming Different from the Past? **NASA Earth Observatory**, 3 Jun. 2010. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page3.php>. Acesso em: jul. 2020.

<sup>86</sup> Expansão térmica: quando aquecidas, as moléculas dos líquidos ganham energia cinética (velocidade) e passam a ocupar um volume maior.

<sup>87</sup> INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for Policymakers. In: \_\_\_\_\_. **Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**, 2019.

extremos.<sup>88</sup> No Continente Europeu, por exemplo, diversos países têm experimentado fortes ondas de calor, atingindo recordes nacionais de temperatura sucessivamente a cada ano. Do outro lado do Globo, a Austrália também enfrentou consequências de um verão excepcionalmente seco em 2019 - incêndios afetaram o país inteiro, incluindo regiões onde o fogo era, historicamente, raro. O fogo não só quase dizimou a última população natural conhecida de uma antiga parente das nossas araucárias, como também suas cinzas atravessaram o Oceano Pacífico e encobriram o Sul do Brasil.<sup>89</sup>

A imprevisibilidade desses fenômenos, que incluem também tempestades severas, inundações e furacões mais intensos e com maior frequência, alia-se ao pouco preparo dos governos em responder a eventos cada vez mais catastróficos. O resultado: prejuízos de bilhões de dólares aos governos e um impacto incalculável sobre vidas humanas.

## O que está por trás desse fenômeno?

Como vimos, o clima da Terra pode ser entendido como resultado de alterações: (i) na quantidade de radiação solar absorvida pela superfície da Terra e (ii) na radiação infravermelha retida pelos gases de efeito estufa na atmosfera. Fenômenos naturais, como erupções vulcânicas, impactos de meteoros, incêndios florestais, dentre outros, também contribuem para a

---

<sup>88</sup> COUMOU, Dim; RAHMSTORF, Stefan. A decade of weather extremes. *Nature Clim Change* v. 2, p. 491-496, 2012; WMO (World Meteorological Organization). Provisional Statement on the State of the Global Climate in 2019.

<sup>89</sup> HANNAM, P. Incredible, secret firefighting mission saves famous “dinosaur trees”. *The Sydney Morning Herald*. Sydney. 15 jan. 2020; Fumaça de incêndios da Austrália cobre parte do Chile e da Argentina. *G1*. 7 jan. 2020.

variabilidade do sistema climático. Contudo, quando falamos hoje em mudanças climáticas, a maior parte destas se deve às atividades humanas. Segundo os relatórios da ONU, é extremamente provável (mais de 95% de certeza) que fatores humanos sejam a causa dominante do aumento observado da temperatura desde meados do século XX<sup>90</sup> (Figura 3).

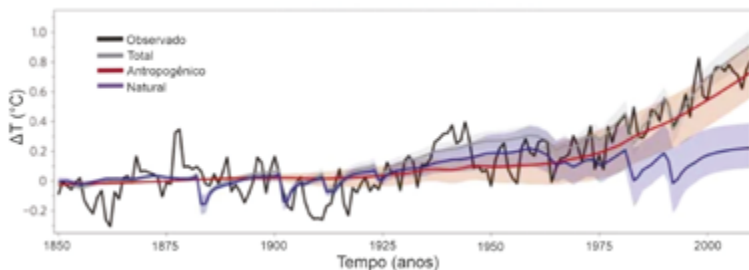


Figura 3 - Contribuição natural (azul) e antropogênica (vermelho) para a anomalia de temperatura global, a partir de simulações (cinza) e observações (preto). O sombreamento das linhas representa possíveis desvios dos valores estimados

Fonte: Adaptada de HUBER, Markus; KNUTTI, Reto (2012) pelos autores.<sup>91</sup>

Desde a Revolução Industrial, a humanidade vem alterando drasticamente o ambiente natural e as espécies que o habitam. O aumento da emissão de gases de efeito estufa acontece, principalmente, por meio da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), uso extensivo da terra para agropecuária, desmatamento e atividades industriais. Ao remover o carbono subterrâneo armazenado e o lançar para a

<sup>90</sup> INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE Change (IPCC). **Climate Change 2014**: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (ed.)]. IPCC. Geneva, Switzerland, p.151, 2014.

<sup>91</sup> HUBER, Markus; KNUTTI, Reto. Anthropogenic and natural warming inferred from changes in Earth's energy balance. **Nature Geoscience**, v. 5, n. 1, p. 31-36, 2012.



atmosfera, o homem desequilibrou o ciclo do carbono, afetando diretamente o clima. É possível perceber um aumento excepcional na concentração de  $\text{CO}_2$  nos dias atuais (Figura 4). E este aumento está diretamente relacionado ao aumento da temperatura média global.



Figura 4 - Representação gráfica da concentração de  $\text{CO}_2$  no decorrer do tempo até os dias atuais

Fonte: Adaptado de Climate Atlas of Canada pelos autores.<sup>92</sup>

## Quais as consequências das mudanças climáticas?

Desde os anos 80, cerca de 20-30% do total de emissões antropogênicas de  $\text{CO}_2$  foram absorvidos pelo oceano, causando sua acidificação.<sup>93</sup> Isto ocorre, pois, quando o  $\text{CO}_2$  é dissolvido na água, forma-se ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), causando a liberação de íons de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ), reduzindo o pH. Este desequilíbrio químico no oceano interfere nos ecossistemas marinhos, afetando a disponibilidade e circulação de nutrientes e a acústica aquática,<sup>94</sup> o que põe em risco

<sup>92</sup> **Climate Atlas**. Why Climates Change. Disponível em: <https://climateatlas.ca/why-climates-change>. Acesso em: 26 abr. 2020.

<sup>93</sup> INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for policymakers. In: \_\_\_\_\_. **Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**, 2019.

<sup>94</sup> Acústica aquática: a redução do pH facilita a propagação de frequências abaixo de 10kHz, portanto, tende a aumentar o ruído no

a sobrevivência da biodiversidade nesses ambientes. Organismos calcificadores, como algas, corais, moluscos, crustáceos e plâncton<sup>95</sup> se deparam com dificuldades na formação de suas conchas, pois estas são constituídas por carbonatos instáveis em meios mais ácidos.<sup>96</sup> Assim, esses organismos tornam-se mais susceptíveis a doenças, apresentam capacidade de defesa reduzida e demonstram alterações de comportamento, dentre outros impactos. Em longo prazo, mesmo que algumas espécies apresentem maior resistência, toda a biota marinha sofrerá efeitos potencialmente negativos. A população humana também será afetada por essas consequências, visto que a economia e o sustento de milhões de pessoas ficam comprometidos pela redução dos estoques de peixes, crustáceos e moluscos. No caso de comunidades costeiras vulneráveis, a insegurança alimentar não é o único problema. O aumento no nível do mar promete deixar cerca de 300 milhões de pessoas sob risco de inundações até 2050.<sup>97</sup> Quando analisada a projeção para 2100, há uma perspectiva de aumento de 0,5 m a 1,2 m em relação a 1992. Nesse cenário, pequenas ilhas podem desaparecer, fenômeno que já está ocorrendo com ilhas da Polinésia, no oceano Pacífico, afetando a população e biodiversidade local. Outros impactos associados incluem a destruição de ecossistemas

---

oceano, prejudicando os sistemas de localização e comunicação de animais como baleias, orcas e golfinhos. Fonte: HESTER, K. C. *et al.* Unanticipated consequences of ocean acidification: a noisier ocean at lower pH. *Geophysical research letters* 35.19. 2008.

<sup>95</sup> Base da cadeia alimentar oceânica.

<sup>96</sup> ORR, James C. *et al.* Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, v. 437, n. 7059, p. 681-686, 2005.

<sup>97</sup> KULP, Scott A.; STRAUSS, Benjamin H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications*, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2019.

litorâneos, como manguezais, a salinização de solos e água doce próximos ao Litoral, e a crescente vulnerabilidade de usinas nucleares à beira-mar.<sup>98</sup>

O rápido progresso das mudanças climáticas deixa pouco espaço para adaptação de plantas e animais. Nesse sentido, a estratégia de dispersão ou migração de espécies para outros locais do Globo se torna uma das únicas saídas para evitar a extinção. Contudo, essa estratégia também enfrenta barreiras, como a crescente fragmentação de *habitats*. Na Amazônia, por exemplo, à medida que o desmatamento e os incêndios progridem, esse bioma fica cada vez mais próximo a tornar-se uma savana.<sup>99</sup> Os ecossistemas também sofrerão alterações nas taxas de precipitação e evapotranspiração, influenciando fortemente a disponibilidade de água e nutrientes.<sup>100</sup> Animais migratórios, como aves e baleias, poderão ser forçados a percorrer longas jornadas em busca de alimento. No entanto, animais que ocupam ecossistemas muito específicos, como os ursos polares, estão ainda mais vulneráveis (Figura 5).

---

<sup>98</sup> MARQUES, Luiz. Consequências da elevação do nível do mar no século XXI. **Jornal da UNICAMP**. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/consequencias-da-elevacao-do-nivel-do-mar-no-seculo-xxi>. Acesso em: 4 ago. 2020.

<sup>99</sup> AMIGO, Ignacio. When will the Amazon hit a tipping point? **Nature**, v. 578, n. 7796, p. 505, 2020.

<sup>100</sup> CAIN, Michael L.; BOWMAN, William D.; HACKER, Sally D. **Ecologia**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.



Figura 5 - Urso polar sobre gelo em derretimento, no arquipélago de Svalbard, Noruega<sup>101</sup>

Fonte: NAEVRA, Arne (2007).

Além dos problemas ambientais, as mudanças climáticas também impactam na saúde pública. Algumas consequências diretas incluem a morbidade<sup>102</sup> e a mortalidade causada por desastres, como enchentes, ondas de calor, secas e queimadas. Entretanto, as mudanças climáticas também podem estar indiretamente associadas às questões de saúde. Por exemplo, flutuações climáticas sazonais influenciam na dinâmica populacional de insetos, como o *Aedes aegypti*. Esse animal é vetor de transmissão da dengue e da malária, sendo que, no Brasil, os maiores picos de incidência dessas doenças em humanos ocorrem no verão e nos

<sup>101</sup> NAEVRA, Arne, Polar Meltdown, 2007, photograph. Courtesy of Arne Naevra. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/gallery/2007/oct/25/wildlife.photography>. Acesso em: 26 de abril de 2020.

<sup>102</sup> Morbidade: estado ou condição doentia.

períodos de estiagem na Amazônia, respectivamente. Quando acontecem eventos climáticos atípicos, o período e a intensidade que essas doenças acometem os humanos podem aumentar. Além das doenças transmitidas por vetores, outras enfermidades de veiculação hídrica e respiratória também podem apresentar impacto na saúde pública.<sup>103</sup>

Frente a este panorama desanimador, a comunidade internacional começou, já há algumas décadas, a se mobilizar, inicialmente através de conferências e declarações internacionais, promovendo debates com respaldo social, ambiental e econômico. Um dos marcos iniciais foi a Conferência de Estocolmo, em 1972. Nesse evento, a preservação do meio ambiente começou a ser vista como essencial, tanto para o bem-estar dos povos quanto para o desenvolvimento econômico. Desse modo, o documento proposto na conferência estipula medidas para amenizar os impactos ambientais, e, ao mesmo tempo, asseguram o desenvolvimento econômico.<sup>104</sup> Ao final, foi fundado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma).<sup>105</sup> Um ano após a conferência foi publicado o relatório de Brundtland,<sup>106</sup> intitulado “Nosso Futuro Comum” (do inglês *Our Common Future*), que enfatizou

---

<sup>103</sup> BARCELLOS, C. *et al.* Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v.18, n. 3, p. 285-304, 2009.

<sup>104</sup> ONU. A Declaração de Estocolmo sobre o ambiente humano/jun. 1972.

<sup>105</sup> PNUMA. **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/agencia/pnuma/>. Acesso em: 4 ago. 2020.

<sup>106</sup> BRUNDTLAND, Gro Harlem *et al.* **Our common future**. New York, 1987. v. 8.

problemas ambientais como o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio.<sup>107</sup>

Passadas duas décadas da primeira grande conferência, em 1992 teve lugar na cidade do Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92, Rio-92 ou Cúpula da Terra). Como resultado, foi assinada a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Declaração de Princípios para Florestas, a Agenda 21 e as Convenções do Clima e da Biodiversidade. Essa última tem como principal objetivo articular, por meio de negociações, medidas que possam estabilizar e reduzir as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera.<sup>108-109</sup> Com o objetivo de organizar e avançar o conhecimento científico sobre as mudanças climáticas recentes e auxiliar nestas negociações, o Pnuma, juntamente com a Organização Mundial Meteorológica (WMO), criou, em 1988, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Este painel reúne mais de mil cientistas no mundo inteiro e prepara relatórios periodicamente (a cada cinco anos, aproximadamente), buscando compilar o conhecimento existente, apresentar perspectivas e sugerir diretrizes para enfrentar as mudanças climáticas e seus impactos.

Como resultado dessas iniciativas, diversos acordos multilaterais foram assinados entre nações - como

---

<sup>107</sup> BERCHIN, Issa Ibrahim; CARVALHO, Andréia de Simas Cunha. **O papel das conferências internacionais sobre o meio ambiente para o desenvolvimento dos regimes internacionais ambientais:** de Estocolmo à Rio+ 20. DEBATESVII, p. 167, 2016.

<sup>108</sup> MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Agenda 21 Global. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>. Acesso em: 4 ago. 2020.

<sup>109</sup> CORDANI, Umberto G.; MARÇOVITCH, Jacques; SALATI, Eneas. Avaliação das ações brasileiras após a Rio-92. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 29, p. 399-408, 1997.

a declaração de Johannesburgo, o Protocolo de Kyoto e o mais recente o Acordo de Paris (COP-21) – com o propósito de reduzir a emissão de poluentes, a fim de atenuar os impactos causados pelo aquecimento global.

No último relatório do IPCC, lançado em 2017, foi constatado que limitar o aumento da temperatura média global a 1,5°C ao invés de 2°C, em relação ao período pré-industrial, poderia garantir uma sociedade mais sustentável e equitativa.<sup>110</sup> De acordo com esse relatório, existe uma perspectiva de limitar o aquecimento a 1,5°C, desde que consigamos atingir um equilíbrio entre as emissões de CO<sub>2</sub> e medidas de remoção desse gás da atmosfera pelo ano de 2055 (Figura 6). No entanto, atingir um cenário satisfatório exige mudanças rápidas e de longo alcance, em todos os aspectos da sociedade.

---

<sup>110</sup> INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for policymakers. *In*: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. **World Meteorological Organization**, Geneva, Switzerland, p. 32, 2018.

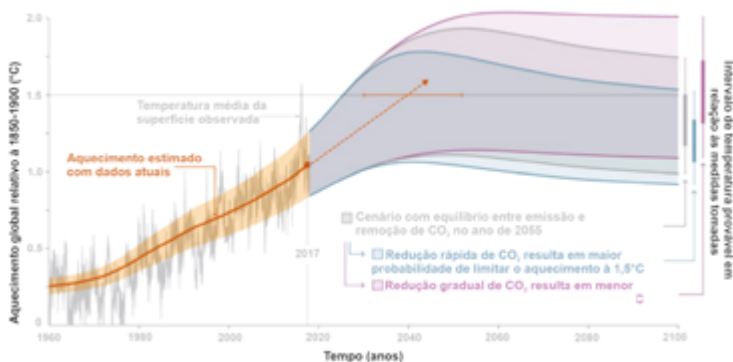


Figura 6 – Gráfico representando o aumento de temperatura desde a década de 60 até o ano de 2017, bem como uma projeção da temperatura global futura, diante de diferentes cenários

Fonte: Adaptada de Intergovernmental Panel on Climate Change (2018) pelos autores.<sup>111</sup>

## O que você pode fazer para combater a mudança climática?

A magnitude das mudanças climáticas não é percebida da mesma forma pelas pessoas. Para muitos, o distanciamento entre a realidade pessoal e a situação climática global resulta em menor preocupação e, por consequência, dificulta o engajamento em atitudes de combate a esse fenômeno.<sup>112</sup> Ainda assim, é possível traçar um novo rumo em meio a essa história, e para quem ainda não sabe como entrar nessa luta, algumas ações rotineiras incluem:

- evite o desperdício de alimentos: quando reduzimos o desperdício de alimentos, também utili-

<sup>111</sup> \_\_\_\_\_, Intergovernmental Panel on Climate Change). Special report: global warming of 1.5 °C. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>. Acesso em: 25 abr. 2020.

<sup>112</sup> CHADWICK, A. E. Climate change communication. In: **Oxford Research Encyclopedia of Communication**, 2017.



zamos, de modo indireto, menos recursos como água, mão de obra e transportes. Nesse sentido, atitudes como comprar apenas os alimentos necessários, verificar a validade dos produtos e utilizar os alimentos em sua totalidade, contribuem para essa ação;

- repensar os hábitos de consumo: adotar o consumo consciente, evitando a extração de recursos naturais, a emissão de gases intensificadores do efeito estufa e a geração de grandes quantidades de lixo;
- apoiar produtores locais e empresas ecologicamente corretas: comprar produtos locais de agricultores familiares e pequenas empresas ajuda na luta contra a poluição;
- exigir comprometimento das autoridades na elaboração de políticas e na aplicação de medidas de mitigação para as mudanças climáticas, incluindo investimentos em energias renováveis.

## Leituras complementares

Para se aprofundar ainda mais na ciência da mudança climática, você pode realizar o curso *online* gratuito introdutório sobre mudança climática da UN CC: e-Learn (ONU), através do *link*:

<https://unccelearn.org/course/view.php?id=24&page=overview>.

No *site* da NASA, você pode conferir diferentes mapas interativos:

O visualizador global de gelo: <https://climate.nasa.gov/interactives/global-ice-viewer/#/>

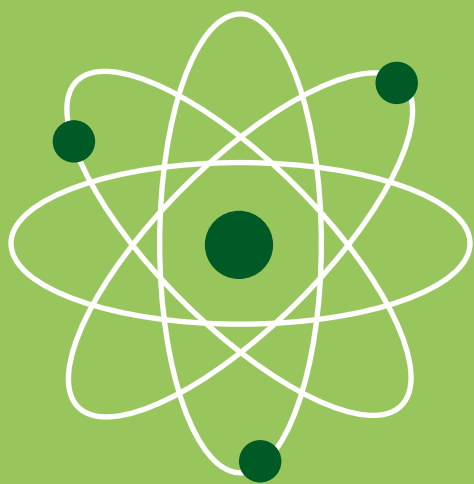
Temperatura global: <https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine>

Dióxido de carbono: <https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine>

Nível do mar: <https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine>

Além de uma série de imagens antes e depois das mudanças climáticas através do *link*: <https://climate.nasa.gov/images-of-change?id=365#365-mccarty-glacier-melt-alaska>

Se quiser entender mais sobre os Ciclos de Milankovitch e seu papel no clima da Terra, acesse: <https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/>.



## E se eu disser que já tivemos araucárias na África?



Rafael Galiotto Thains

Sim, já tivemos araucárias na África! Assim como tantos outros organismos vivos atuais, seus ancestrais viviam em locais completamente diferentes dos que estamos acostumados a ver hoje, e isso se deve a vários fatores (clima, solo, movimentação das placas tectônicas). Você pode estar se perguntando como eu sei disso, e a resposta é simples: através da biogeografia. Mas você sabe o que é biogeografia? Resumidamente, é a junção do significado de duas palavras que já conhecemos:



Ou seja, a biogeografia estuda o espaço que a vida ocupou ao longo dos anos e suas modificações.

Para entender melhor, vamos pensar em um organismo que todos conhecemos e que, ao olharmos mais atentamente ao nosso redor, veremos diversos exemplares: a araucária ou pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze). Nas imagens a seguir, temos ideia de como a configuração do Planeta mudou e, com isso, a distribuição das araucárias também:



Figura 1 - Distribuição das coníferas do gênero *Araucariaceae* durante a Era Mesozóica: A - Período Triássico; B - Jurássico; C - Cretáceo

Fonte: Dutra e Stranz (2003).

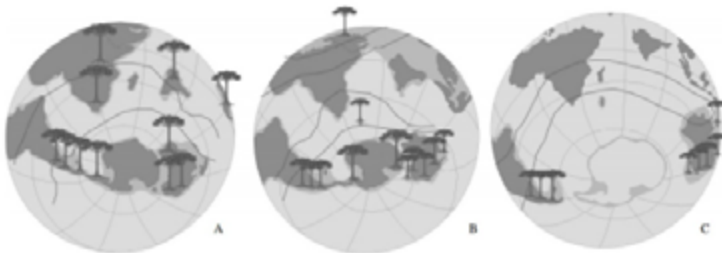


Figura 2 - Distribuição das coníferas do gênero *Araucariaceae*: A - Período Cretáceo/Terciário; B - Época Eoceno; C - Época Oligoceno/Mioceno

Fonte: Dutra e Stranz (2003).



Figura 3 - Distribuição geográfica atual e número de espécies dos gêneros modernos de *Araucariaceae*

Fonte: Dutra e Stranz (2003).

Este é um dos principais focos da biogeografia: o deslocamento das espécies ao longo do tempo, como elas chegaram aos locais em que se encontram hoje, e qual é sua forma de dispersão (outro ponto muito importante, afinal, se há uma espécie em um determinado local, hoje, ela chegou lá de algum modo). Dispersão é o conjunto de processos que levam indivíduos a novos lugares.

Cada organismo terá uma forma de dispersão: plantas se dispersam por esporos (briófitas e pteridófitas) ou por sementes e frutos (gimnospermas e angiospermas). Já os animais marinhos podem ser levados pelas correntes oceânicas a outros locais e se adaptarem a eles, enquanto répteis, anfíbios e mamíferos podem ir por via terrestre, e as aves cruzam os céus. Mas essas formas de dispersão podem ser combinadas: os esporos das plantas dispersos pelo vento podem ser levados por quilômetros de distância, assim como acontece com as sementes, que podem ser

levadas por aves para locais a metros ou quilômetros de distância da planta-mãe. Outro dispersor de organismos muito eficiente (mas nem sempre benéfico) é o ser humano, que leva esporos, sementes, enxertos, animais de um local a outro, e os dispersa, de forma intencional ou não.

O ambiente ao qual o organismo irá poderá ser diferente daquele em que ele está acostumado, portanto, é importante que ele seja capaz de suportar os desafios à vida nesse novo ambiente, principalmente quando falamos de climas e solos distintos. Caso ele se adapte bem, muitas vezes pode se tornar um problema para o ecossistema local, pois pode não haver predadores para essa espécie, e o organismo irá competir com espécies nativas por alimento, solo (território) e, no caso das plantas, luz, o que pode acarretar um efeito dominó de extinção de espécies nativas.

A forma mais fácil de estudar um determinado grupo de organismos e sua dispersão é com o surgimento de ilhas, onde se vê desde o organismo colonizador até o último indivíduo que foi para o local, como aconteceu com a ilha de Krakatau, após uma erupção vulcânica no ano de 1883. Essa explosão extinguiu tudo que havia na ilha, e os pesquisadores puderam conhecer todos os organismos que a colonizaram e como chegaram lá depois da erupção. Porém, quando isso não é possível, a paleontologia pode nos ajudar, mostrando quais organismos já viveram em um determinado local, antes da atual formação de fauna e flora.

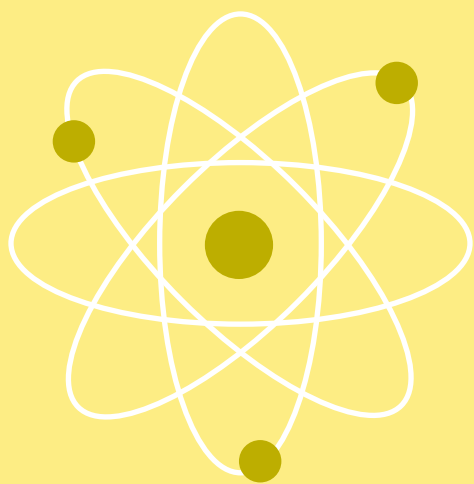
A biogeografia é importante, pois ela nos ajuda a conhecer a história de cada espécie e as adaptações que ela sofreu ao longo do tempo. Isso nos possibilita vislumbrar não somente o passado dos ecossistemas,

mas também inferir seu futuro, afinal, as espécies são dinâmicas, elas surgem e se extinguem e, às vezes, as respostas para perguntas de hoje e do futuro estão no conhecimento que temos do passado.

## Leitura complementar

Site: <https://super.abril.com.br/ideias/ilha-de-trindade-o-vulcao-que-saiu-do-mar/>





# Plantas medicinais: tradição e ciência



*Rafael Galiotto Thains  
Felipe Esteves da Silva*

Neste capítulo, vamos abordar as plantas medicinais e como elas se transformam em medicamentos que são comercializados nas farmácias e drogarias de todo mundo. Para isso vamos entrar no mundo da pesquisa e entender o caminho da floresta até o laboratório. Vamos começar contando um pouco da história do eucalipto e as funções que o homem descobriu para ele. Nativos da Austrália, os eucaliptos são árvores que podem chegar a mais de 60 metros de altura e estima-se que existam mais de 700 espécies dessa planta. Imensamente estudadas desde sua descoberta por botânicos, como Joseph Banks, Daniel C. Solander e Charles L. L'Héritier de Brutelle, sendo chamada por alguns deles de “ouro verde”, devido à infinidade de usos. Por ter tantas propriedades, essa planta rapidamente se espalhou pelo mundo e foi pesquisada por cientistas de diversos países.

Mas, antes de chegar aos laboratórios farmacêuticos, a ciência das plantas medicinais muitas vezes busca um conhecimento muito importante: o conhecimento popular. Isso mesmo, o conhecimento da sua comunidade, da sua família e o seu conhecimento também. Estamos falando daquele conhecimento adquirido através de sua avó, por exemplo, quando lhe dizia que chá de malva era bom para dor de dente e, por isso, quando o siso estava nascendo, era pra fazer esse chá para não doer tanto, a malva da vovó possui propriedades conhecidas como anti-inflamatórias e, assim, ajudam a diminuir a dor. É por isso que, muitas

vezes, os cientistas realizam suas pesquisas com as pessoas comuns, para saber como elas utilizam as plantas e assim ter alguma pista sobre os poderes das plantas. Depois disso, inicia o trabalho no laboratório: primeiro é necessário realizar o isolamento do princípio ativo, o que significa descobrir exatamente qual parte ou qual substância produzida por aquela planta causa o efeito esperado, após são realizados testes em animais e depois em seres humanos.

Já deu para perceber que é um longo caminho até um medicamento chegar às prateleiras das farmácias. Lembram do eucalipto que falamos antes? Foi descoberto, há muito tempo, que a resina da casca do Eucalipto produz ácidos quinotânicos, essas substâncias são usadas na produção da sua pasta de dente e em xaropes para a garganta. Não é incrível? E tem mais, as folhas do eucalipto produzem óleos com poderes antissépticos e desinfetantes, que podem eliminar bactérias da pele e de superfícies, esses mesmos óleos essenciais também são acrescentados a suplementos vitamínicos e perfumes.

Apesar de as plantas trazerem tantos benefícios para a saúde dos humanos e animais, devemos lembrar que tudo em excesso faz mal. Sua utilização em excesso de determinada planta pode causar outros efeitos colaterais negativos, como, por exemplo, no caso de chá de boldo utilizado para problemas gástricos, quando em excesso pode causar um problema ainda mais grave, as úlceras no estômago. Por isso, é importante tomar cuidado e sempre que possível procurar ajuda médica (temos muitos médicos que receitam medicamentos fitoterápicos ou possuem conhecimentos populares sobre as plantas medicinais) ou de pessoas que têm conhecimento sobre isso.

## Conceitos importantes

- Plantas medicinais: são aquelas que já têm suas propriedades medicinais reconhecidas pelo conhecimento popular;
- Produto e/ou medicamento natural: é a utilização direta da planta em forma de chá, por exemplo, o boldo.
- Medicamento fitoterápico: é quando a planta medicinal passa por um processo de industrialização ou manipulação.
- Medicamento de síntese química: é quando o medicamento é obtido via processos de síntese química (orgânica e inorgânica), sem utilizar a planta *in natura*, propriamente.

## Farmacologia das plantas medicinais

Assim como todos os outros seres vivos, as plantas interagem com o ambiente onde vivem. Enquanto crescem e se desenvolvem, as plantas modificam o solo, regulam a presença de outras plantas, modificam a qualidade do ar, da água, servem de alimento para pequenos insetos e grandes mamíferos herbívoros e também interagem com micro-organismos, ácaros parasitas, fungos e também adoecem. Para sobreviver a todas as interações que podem ocorrer na natureza, as plantas produzem diversos tipos de elementos químicos que servem tanto para a sua proteção quanto para metabolizar os nutrientes que extraem do solo e convertê-los em galhos, folhas, flores ou frutos. O tipo e a quantidade do elemento químico produzido podem variar, conforme a espécie da planta, do local onde se

desenvolvem, dos nutrientes que recebem e dos desafios que precisam superar para se desenvolver.

Antes mesmo de compreender o que era um elemento químico ou como eles se formavam nas plantas, o homem percebeu que cada planta apresentava características diferentes e descobriu como extrair esses elementos e utilizá-los para curar doenças ou amenizar sintomas.

Com a evolução do conhecimento humano e da ciência em si, ocorreu a **Padronização dos Elementos Químicos**, ou seja, foram criadas formas de nomear e organizar cada elemento químico que existe na natureza, para que esse conhecimento fosse universal. Uma das formas mais conhecidas de organização dos elementos químicos é a Tabela Periódica.

Outro ramo da ciência que se desenvolveu através dos estudos sobre os elementos químicos das plantas foi a Farmácia ou Farmacologia. Isso mesmo, a Farmácia é muito mais do que aquele lugar onde compramos remédios e podemos conferir o nosso peso. A palavra *Farmácia* tem origem no idioma da Grécia antiga, que significa, ao mesmo tempo, “remédio” e “veneno”. A Farmácia é o braço da ciência que tem como objeto estudar os fármacos, as drogas e os medicamentos e a forma como eles podem ajudar as pessoas e animais doentes.

Na *Farmácia* existem dois tipos de estudos muito importantes e que têm nomes que podem assustar um pouco:

1. *Farmacocinética*: significa estudar qual é a melhor forma de oferecer um determinado remédio para uma pessoa ou animal. Nessa fase, os farmacêuticos estudam se aquele elemento químico funcio-

na melhor como um comprimido, como um xarope ou como uma pomada, por exemplo, isso é chamado de **via de administração**. Em outra etapa será estudado como o organismo vai absorver e distribuir pelo corpo aquele elemento químico que está na medicação. Por fim, também é preciso estudar como o corpo transforma e elimina aquele elemento químico.

2. *Farmacodinâmica*: significa estudar os efeitos dos elementos químicos no organismo e a relação entre a quantidade (concentração) e os efeitos (desejáveis ou colaterais).

Após todas essas pesquisas, os farmacêuticos chegam a uma forma farmacêutica, o que nós conhecemos como comprimidos, cápsulas, pomadas, cremes, xampus, soluções, xaropes, drágeas...

Somente após o estabelecimento de uma dosagem segura e com o conhecimento dos efeitos esperados, é que um medicamento pode chegar àquela Farmácia que nós conhecemos e ser vendido para a população.

## Sugestões de atividades práticas

### 1. Quadro etnobotânico

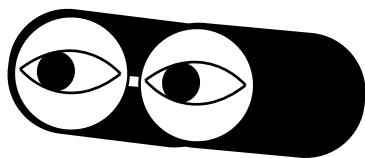
Agora o que você acha de ver quais plantas são utilizadas na casa dos seus colegas e professores? Utilize o modelo do quadro a seguir, para fazer sua própria pesquisa científica e ver quantos resultados incríveis virão!

Nome popular da planta	Nome científico	Uso (alimentar, medicinal, ornamental, outros usos)	Hábito (árvore, arbusto, palmeira, rasteiro, trepador, etc.)	Parte utilizada (raiz, caule, folha, flor, fruto, semente)
Planta 1				
Planta 2				
Planta 3				

## Leitura complementar

LAW, Bill. *50 plantas que mudaram o rumo da História*. Rio de Janeiro: Sextante, 2013.

Ciência  
para ler



na  
Escola





A Universidade de Caxias do Sul é uma Instituição Comunitária de Educação Superior (ICES), com atuação direta na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Tem como mantenedora a Fundação Universidade de Caxias do Sul, entidade jurídica de Direito Privado. É afiliada ao Consórcio das Universidades Comunitárias Gaúchas - COMUNG; à Associação Brasileira das Universidades Comunitárias - ABRUC; ao Conselho de Reitores das Universidades Brasileiras - CRUB; e ao Fórum das Instituições de Ensino Superior Gaúchas.

Criada em 1967, a UCS é a mais antiga Instituição de Ensino Superior da região e foi construída pelo esforço coletivo da comunidade.

## *Uma história de tradição*

Em meio século de atividades, a UCS marcou a vida de mais de 120 mil pessoas, que contribuem com o seu conhecimento para o progresso da região e do país.

## *A universidade de hoje*

A atuação da Universidade na atualidade também pode ser traduzida em números que ratificam uma trajetória comprometida com o desenvolvimento social.

Localizada na região nordeste do Rio Grande do Sul, a Universidade de Caxias do Sul faz parte da vida de uma região com mais de 1,2 milhão de pessoas.

Com ênfase no ensino de graduação e pós-graduação, a UCS responde pela formação de milhares de profissionais, que têm a possibilidade de aperfeiçoar sua formação nos programas de Pós-Graduação, Especializações, MBAs, Mestrados e Doutorados. Comprometida com excelência acadêmica, a UCS é uma instituição sintonizada com o seu tempo e projetada para além dele.

Como agente de promoção do desenvolvimento a UCS procura fomentar a cultura da inovação científica e tecnológica e do empreendedorismo, articulando as ações entre a academia e a sociedade.

## *A Editora da Universidade de Caxias do Sul*

O papel da EDUCS, por tratar-se de uma editora acadêmica, é o compromisso com a produção e a difusão do conhecimento oriundo da pesquisa, do ensino e da extensão. Nos mais de 1.500 títulos publicados é possível verificar a qualidade do conhecimento produzido e sua relevância para o desenvolvimento regional.



Conheça as possibilidades de formação e aperfeiçoamento vinculadas às áreas de conhecimento desta publicação acessando o QR Code:

