

Coleção Química no Cotidiano  
Volume 7

Flavio da Silva Emery  
Gabriela Bianchi dos Santos  
Rita de Cassia Bianchi

# A Química na Natureza



Coleção Química no Cotidiano

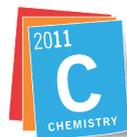
Volume 7

# A Química na Natureza

Flavio da Silva Emery

Gabriela Bianchi dos Santos

Rita de Cassia Bianchi



International Year of  
**CHEMISTRY**  
**2011**

---

QUÍMICA PARA UM MUNDO MELHOR

São Paulo | Sociedade Brasileira de Química | 2010

## **Projeto Comemorativo da Sociedade Brasileira de Química Ano Internacional da Química-2011 (AIQ-2011)**

### **Coordenadores do projeto**

Claudia Moraes de Rezende e Rodrigo Octavio Mendonça Alves de Souza

### **Editora-chefe**

Claudia Moraes de Rezende

### **Revisores**

Ivana Correa Ramos Leal, Claudia Moraes de Rezende, José Norberto Callegari Lopes e Joana Moraes de Rezende

### **Arte gráfica e editoração**

Cabeça de Papel Projetos e Design LTDA ([www.cabecadepapel.com](http://www.cabecadepapel.com))

#### Ficha Catalográfica

Wanda Coelho e Silva (CRB/7 46) e Sandra Beatriz Goulart da Silveira (CRB/7 4168)  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

---

- E53q Emery, Flávio da Silva.  
**A química na natureza.** / Flávio da Silva Emery, Gabriela Bianchi dos Santos, Rita de Cássia Bianchi – São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2010.  
70p. - (Coleção Química no cotidiano, v. 7)  
ISBN 978-85-64099-06-7  
1. Química - Produtos naturais. 2. Natureza. 3. Metabolismo. I. Santos, Gabriela Bianchi dos. II. Bianchi, Rita de Cássia. III. Título. IV. Série.

CDD 547.7

CDU 547.9

---

Todos os direitos reservados – É proibida a reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por outro meio.

A violação dos direitos de autor (Lei nº 5.988/73) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

# Apresentação

Esta edição de livros da *Química no Cotidiano* oferece uma contribuição ímpar para os jovens tomarem conhecimento sobre a riqueza da natureza. Uma obra que permite desvendar a beleza da biodiversidade e o que ela pode fornecer de produtos úteis para a sociedade é uma tarefa muito agradável. O livro possibilita o contato com os vários aspectos dos produtos naturais e sua importância para a humanidade, ao longo dos tempos.

Numa linguagem simples, clara e de fácil leitura, torna-se uma bela ferramenta para provocar o interesse dos jovens, especialmente sobre os produtos naturais, sua formação, usos, significados e valores, dentro de um mundo a cada dia mais escasso de riquezas químico-biológicas.

Acredito que os assuntos discutidos neste livro, ao qual chamo de mergulho dos jovens ao mundo da ciência, possam contribuir de forma significativa para o conhecimento dos processos que envolvem a Química de Produtos Naturais, biodiversidade, as práticas e manifestações culturais, bem como as representações sociais contidas nesse universo multifacetado.

Essa diversidade faz com que o tema remeta a assuntos variados, desde a fotossíntese e formação das principais substâncias presentes nos vários organismos componentes da natureza, até aspectos do

cotidiano, hábitos, produtos úteis, padrões de consumo e tantos outros pensados, inclusive, a preocupação educacional. Desejo, a partir de agora, uma boa leitura da obra.

**Vanderlan da S. Bolzani**

Professora Titular- IQ/Unesp

## Sobre os autores



**Flavio da Silva Emery**

*Farmacêutico formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998). Obteve o título de Doutor em Ciências em 2005 pela mesma instituição, no Núcleo de Pesquisas de Produtos Naturais (NPPN). Atuou como Professor no Espírito Santo, no Mato Grosso do Sul (UFMS) e atualmente é Professor Doutor da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (USP). Desenvolve projetos nas seguintes áreas: Química Medicinal envolvendo produtos naturais; semi-síntese de compostos com atividade farmacológica; síntese e semi-síntese de heterociclos; e síntese de moléculas com aplicação em sistemas de liberação de fármacos.*

*Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto,  
Via do Café S/N, CEP 14040-903, Ribeirão Preto-SP  
flavioemery@fcrfp.usp.br*



**Rita de Cassia Bianchi**

*Bióloga formada pela Universidade Federal do Espírito Santo (1998) com mestrado em Biologia Animal pela Universidade Federal do Espírito Santo (2001). Possui doutorado pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (2009) e atuou em diversos projetos de Ecologia de Médios Carnívoros na Fazenda Nhumirim, Pantanal, MS, coordenado pela EMBRAPA Pantanal. Ministrou as disciplinas Zoologia de Vertebrados, Herpetologia e Biologia da Conservação para graduação em Ciências Biológicas e publicou artigos sobre ecologia de carnívoros. Tem experiência na área de Zoologia, com ênfase em Ecologia e Conservação de Carnívoros, atuando principalmente nos seguintes temas: dieta, área de vida e uso de hábitat, armadilhamento fotográfico e ecologia de carnívoros.*



**Gabriela Bianchi dos Santos**

*Farmacêutica-Bioquímica formada pela Universidade Federal do Espírito Santo (2008). Atuou na área de Engenharia Ambiental. Atualmente é mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, na área de produtos naturais e sintéticos, da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, envolvida em projeto de desenvolvimento de compostos farmacologicamente ativos provenientes de produtos naturais.*

# Prefácio

“A Química na Natureza” apresenta a vocês uma série de considerações que revela a importância desta ciência para a vida em nosso planeta. É nessa relação invisível, entre a Química e a Biologia, que o livro se sustenta.

Discutiremos, de forma geral, as vias biossintéticas em seres vivos, incluindo a fotossíntese, as reações metabólicas e as moléculas orgânicas geradas por tais processos. Apresentaremos suas estruturas químicas e classificações, suas funções nos organismos e no ambiente, bem como seu uso pela sociedade, em aplicações mais usuais.

Também serão brevemente discutidas, por meio de exemplos representativos, as vantagens adaptativas de muitos seres vivos, que se deram com o surgimento de substâncias que favoreceram a redução da predação, o aumento da polinização e outros processos relacionados ao meio ambiente.

Com uma linguagem acessível, sem deixar de lado o compromisso com um texto tecnicamente coerente, o livro pode ser um guia para professores, alunos ou apenas interessados nesse tão belo e instigante mundo das moléculas orgânicas naturais.

*Os autores*



# Índice

1. Por que os produtos naturais são produzidos?.....	13
2. A constituição da matéria viva.....	14
3. Quem são os produtos naturais? .....	19
4. Metabolismo primário .....	23
4.1. Os carboidratos .....	24
4.2. Os lipídeos .....	27
4.3. As proteínas .....	31
4.4. Os ácidos nucleicos.....	33
5. Metabolismo secundário .....	35
6. A Química que repele .....	41
7. A Química que protege pode ser a mesma que mata .....	44
8. Compostos utilizados na imobilização e pré-digestão de presas.....	51
9. A Química que atrai .....	53
10. A Química que informa.....	57
11. Produtos naturais e seu uso comercial .....	58
12. Considerações finais .....	67
13. Referências .....	68



# 1

## Por que os produtos naturais são produzidos?

No mundo regido por uma visão cristã antropocêntrica, tendemos a supor que todas as coisas produzidas na natureza surgiram para que possamos explorá-la e tornar nossa vida urbana mais fácil. Muito se diz: “Uma planta que produz um belo fruto vermelho e doce ao nosso paladar o faz para quê nós possamos desfrutar do seu doce sabor”. Ou ainda: “...a peçonha produzida por uma serpente existe para que, a partir de um sistema absurdamente perigoso à vida da espécie mais ‘importante’ da Terra, possamos elaborar produtos que tratem das diferentes doenças cardiovasculares”.

Aqueles com uma ligação maior com a natureza podem, erroneamente, dizer que o fruto é vermelho e doce para que, dessa forma, atraia interessados em saborear sua esplendorosa polpa, e em contrapartida levar sua semente para vários lugares. Assim, através de uma troca justa, ambos lucram em uma relação benéfica e a planta fornece o fruto para que sua semente seja transportada.

Lamentavelmente, à luz da evolução, nem a visão bíblica de que “todas as coisas foram feitas para o nosso desfrute”, nem a visão de um fim predeterminado, na presença dos sabores, agradáveis ou não, das cores, vivas ou discretas, ou de produtos letais, são corretas. Talvez aí resida a profunda beleza que tanto encantou o naturalista inglês Charles Darwin.

Nada surge com um propósito. Mas quaisquer características, sejam elas anatômicas, fisiológicas ou químicas, que surjam durante o processo evolutivo e que aumentem as chances de um ser vivo deixar descendentes, serão incorporadas hereditariamente. Tudo isso cria um mundo absurdamente aleatório e por isso mesmo tão belo. Isso nos coloca, evolutivamente, na mesma condição de um ser tão pequeno quanto uma bactéria ou tão grande quanto uma baleia azul. Todos constituídos por um conjunto semelhante de moléculas orgânicas: carboidratos, proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos.

## 2

### A constituição da matéria viva

A composição química de organismos vivos pode ser dividida, de maneira geral, em três grupos: **moléculas inorgânicas** – aquelas que não apresentam carbono como constituinte principal de sua estrutura (salvo exceções); **moléculas orgânicas** – estruturas que contém carbono como elemento principal; e **íons** - cátions ou ânions, átomos ou grupo de átomos com carga eletrônica positiva ou negativa, respectivamente.

A água ( $H_2O$ ) é a molécula inorgânica mais abundante, correspondendo a quase metade de toda a constituição da matéria viva na natureza, enquanto os íons, como o  $Na^+$ ,  $K^+$  e  $Cl^-$ , correspondem a apenas 1%, aproximadamente.

As moléculas orgânicas terminam por preencher a composição química de um organismo vivo. Mas é interessante ressaltar que, apesar de conhecer-se um grande número de átomos ou elementos químicos na natureza, somente cinco foram elencados evolutivamente para, juntamente com o carbono, comporem as estruturas de moléculas orgânicas e dos componentes celulares. São eles: enxofre (S), fósforo (P), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e oxigênio (O). Tais elementos juntos são capazes de formar milhares de moléculas, que caracterizam uma diversidade estrutural a qual somente o maquinário natural é capaz de produzir.

Todos os processos químicos que ocorrem nos organismos estão envolvidos com o consumo (*catabolismo*) e com a formação (*anabolismo*) de moléculas. Esse conjunto é denominado metabolismo.

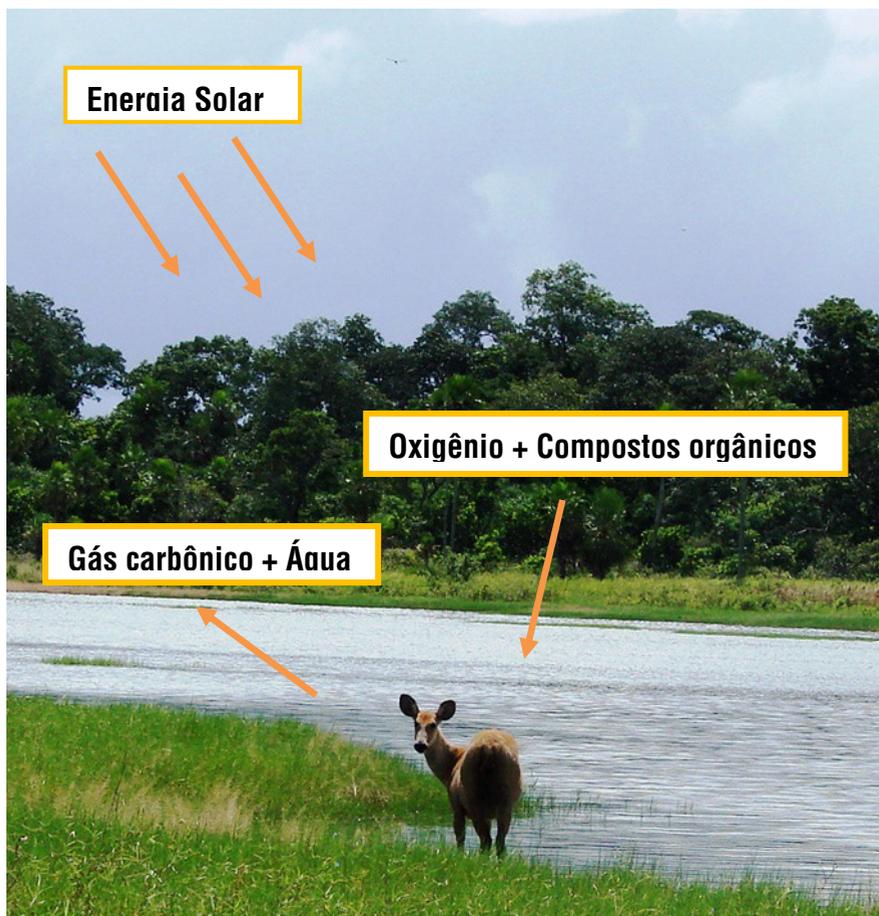
Um dos processos químicos mais importantes existentes na natureza é a fotossíntese, que possibilita a formação de inúmeras moléculas orgânicas a partir da luz,  $\text{CO}_2$  e água.

Aristóteles e outros filósofos gregos, observando que a vida dos animais dependia dos alimentos consumidos, acreditavam que as plantas obtinham seu alimento diretamente do solo. Alguns séculos depois, a partir de vários experimentos, descobriu-se que a planta retira do solo apenas água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e algumas moléculas inorgânicas através da raiz para que, juntamente com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) absorvido pelas folhas e na presença de luz, seja capaz de produzir moléculas orgânicas, como, por exemplo, a glicose. Essa descoberta pode ser considerada um dos eventos evolutivos mais importantes do planeta e que mudou completamente o rumo da história.

Além da mudança da atmosfera terrestre, que passou a ter oxigênio, também seus organismos passaram a desfrutar de novas oportunidades. O mundo

foi então dividido em dois grupos: os que conseguem produzir o próprio alimento (seres **autótrofos**), e os que não possuem esta capacidade, precisando retirar energia de outros organismos (seres **heterótrofos**), ou seja, consumindo plantas e outros animais.

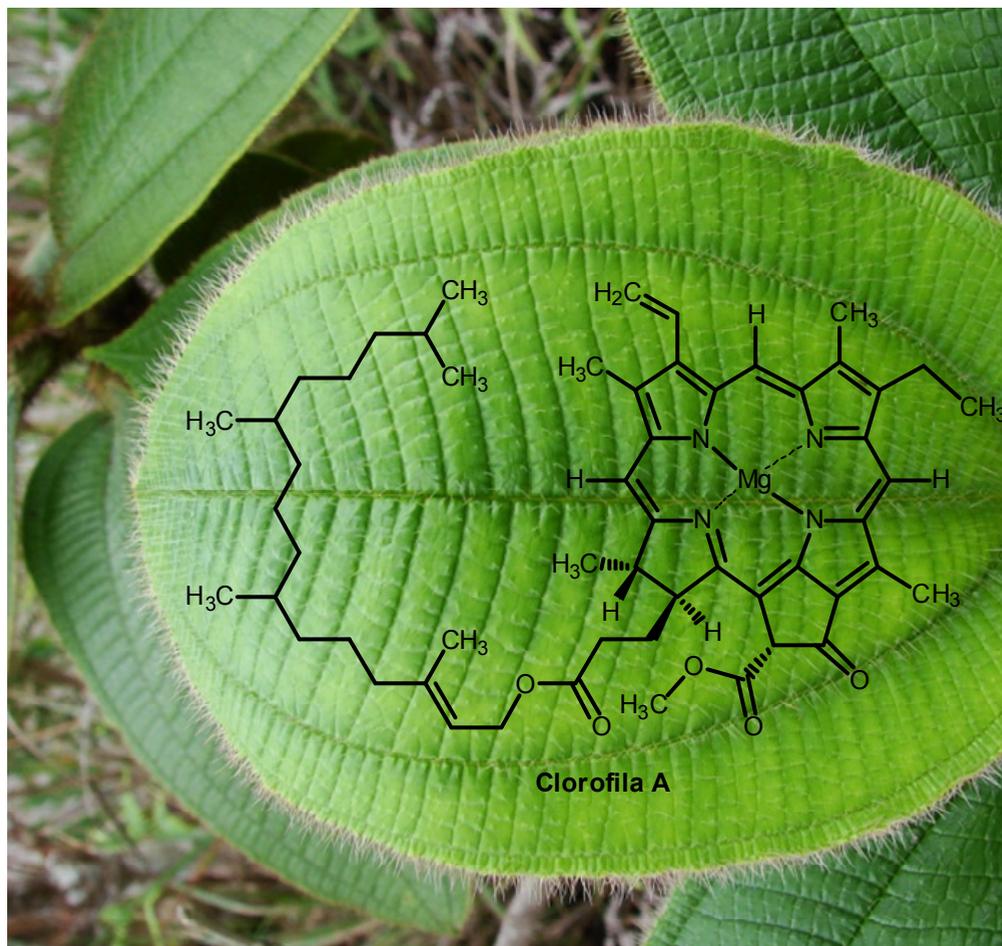
Do ponto de vista químico, a fotossíntese é o inverso da respiração. Os seres heterótrofos (incluindo o homem) consomem outros organismos e oxigênio para obter energia no processo de respiração, formando água e  $\text{CO}_2$ . Por outro lado, os seres autótrofos sintetizam as moléculas orgânicas e liberam oxigênio a partir de luz, água e  $\text{CO}_2$ . Essa interdependência mantém o equilíbrio biológico e recicla o carbono da natureza. A esse fluxo de energia e matéria orgânica dá-se o nome de ciclo do carbono (Figura 1).



**Figura 1-** O ciclo do carbono. Foto: R.C. Bianchi

Para que a planta possa utilizar a luz como fonte de energia, é necessário que ela seja absorvida. As substâncias responsáveis pela absorção e transferência de energia luminosa nos organismos autótrofos são os pigmentos, caracterizados pela emissão de determinadas cores quando expostos à luz. Os principais pigmentos presentes nos organismos vivos são as **clorofilas**, os **carotenoides** e as **ficobilinas**.

A clorofila, responsável pela cor verde das folhas, é considerada o principal pigmento das plantas. Apresenta estrutura complexa com um íon de magnésio ( $Mg^{+2}$ ) coordenado na sua cavidade central (Figura 2).



**Figura 2-** A complexa molécula de um pigmento: a clorofila– atribui a cor verde às folhas. Foto: R.C. Bianchi

As reações que ocorrem durante a fotossíntese são divididas em duas etapas: *fase I* ou reações luminosas e *fase II* ou reações de escuro. Na *fase I* ocorre a captação de energia luminosa pelo organismo e seu armazenamento para realizar a *fase II*. Ocorre também a quebra das moléculas de água e a liberação do oxigênio. Na *fase II*, a energia obtida na *fase I* é utilizada para transformar as moléculas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em compostos complexos, como carboidratos.

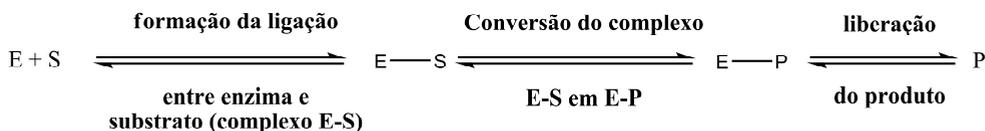
Portanto, a fotossíntese é considerada o processo biossintético – formação ou transformação de compostos orgânicos em meio biológico - mais importante para a vida na Terra, a partir do qual foi possível desenvolver uma diversidade estrutural e funcional de moléculas, algumas essenciais para as funções vitais.

## 3

### **Quem são os produtos naturais?**

Graças ao maquinário celular desenvolvido nos seres vivos ocorrem as reações biossintéticas. É importante ter em mente que todas as reações metabólicas ocorrem em células e são catalisadas por enzimas (*E*) - catalisadores biológicos que aceleram uma etapa específica das vias bioquímicas envolvidas na

formação de um determinado produto (*P*). Isso ocorre a partir do momento em que um determinado substrato (*S*), o composto a ser transformado, liga-se em uma região específica da enzima – o **sítio ativo** (Figura 3).



**Figura 3-** Processo geral de formação de um produto em uma reação catalisada por enzimas.

Os catalisadores são substâncias que participam da reação, mas que não se alteram ao fim do processo. Considerando o vasto número de reações químicas na natureza, que são dependentes umas das outras e ocorrem concomitantemente, é importante que elas ocorram de forma bem rápida.

Em um laboratório, as reações podem ser aceleradas, por exemplo, pelo calor e agitação, provocada pela movimentação forçada das moléculas. No entanto, se o calor fosse utilizado para acelerar reações em uma célula, diversos processos químicos seriam afetados simultaneamente, como os lipídeos e as proteínas, que seriam degradados. É devido à presença das enzimas que as células são capazes de ativar seu metabolismo em temperaturas iguais ao ambiente. Sem elas, a vida seria impensável em temperaturas amenas.



**Figura 4-** Vidas em harmonia. Foto: R.C. Bianchi.

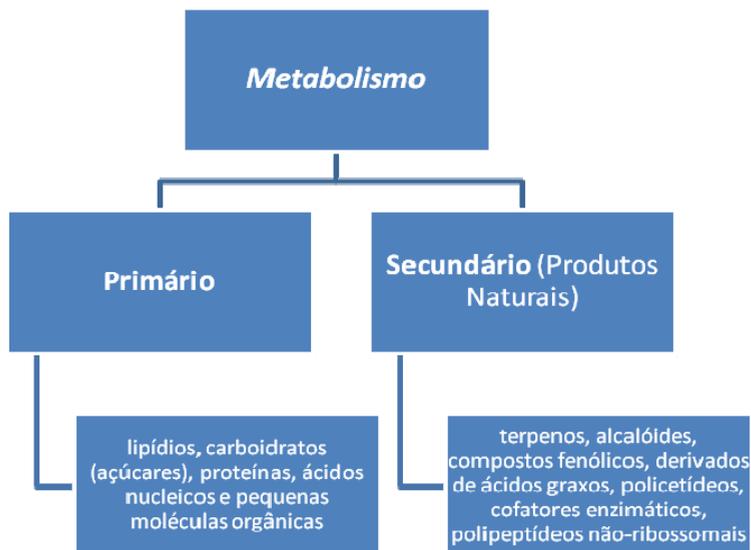
Os produtos gerados pelas reações biossintéticas são moléculas orgânicas, com funções e importância biológica diferentes, sendo chamados de metabólitos. São oriundos das mais diversas fontes de organismos vivos, sejam vegetais, micro-organismos ou animais diversos.

Os metabólitos podem ser classificados em **primários** ou **secundários**, de acordo com a distribuição entre espécies e importância fisiológica.

Os **metabólitos primários** são distribuídos por todos os organismos vivos, sendo fundamentais para o bem-estar e a sobrevivência das espécies. Diga-se de

passagem, são especialmente importantes para o metabolismo básico fotossintético ou respiratório. Por outro lado, os **metabólitos secundários** são aqueles cuja biossíntese é restrita a algumas espécies de organismos vivos, cuja importância biológica não é diretamente relacionada aos mesmos processos metabólicos supracitados, mas que fazem parte, especialmente, do arcabouço de defesa e comunicação entre as espécies (Figura 5).

Nesse momento, é importante fazer um comentário sobre o termo “produto natural”. Apesar de estar intrinsecamente relacionado a toda e qualquer molécula proveniente da natureza, seu uso, na área química, é comumente aplicado aos metabólitos secundários.



**Figura 5-** Classificação dos metabólitos: primários e secundários

Apesar da divisão, os metabolismos primários e secundários se correlacionam diretamente, visto que esse último utiliza pequenas moléculas orgânicas geradas pelo primeiro nas vias biossintéticas. Nesse sentido, cabe ainda ressaltar que essa classificação ordena os tipos de substâncias encontradas na natureza, cuja diversidade estrutural, funcional e biossintética é de sobremodo ampla.

## 4

### **Metabolismo primário**

Os metabólitos primários podem ser divididos em quatro grupos principais: os açúcares ou carboidratos, também chamados de hidratos de carbono; os lipídeos; as proteínas; e os ácidos nucleicos. Além desses, pequenas moléculas orgânicas que são, na verdade, unidades formadoras (blocos de construção) desses quatro grupos, podem ser incluídas no metabolismo primário, visto sua distribuição na natureza, conforme a definição dada acima.

## 4.1. Os carboidratos

O termo carboidrato significa “carbono adicionado de água”, em função da proporção de átomos que o constituem: carbono, hidrogênio e oxigênio. A forma como esses átomos se conectam cria um conjunto de grupos polares que tornam a molécula *hidrofílica*, ou seja, com alta afinidade pela água. Assim, são compostos bastante solúveis nela (Figura 6).

Esses compostos, oriundos da fotossíntese, são unidades de açúcares, e constituem as moléculas orgânicas mais abundantes na natureza. Suas funções principais residem na reserva de energia e na composição estrutural.

São classificados como simples ou complexos em função do número de unidades de açúcares que compõe suas estruturas. Os carboidratos simples são denominados monossacarídeos (um único açúcar) com função energética e constitutiva, sendo imprescindíveis na formação dos carboidratos complexos. Os exemplos mais conhecidos desse tipo são a glicose e a frutose. Muitos outros podem ser citados, como a galactose, que dá origem à lactose nas glândulas mamárias, e a ribose, constituinte do ácido ribonucléico ARN (ou *RNA*, em inglês) e do ATP, o grande responsável pelo armazenamento de energia no organismo.

Os carboidratos complexos são compostos de duas ou mais unidades de açúcar, que podem ser iguais ou não, gerando inúmeras possibilidades estruturais. Dentre os dissacarídeos - aqueles que contêm duas unidades de açúcar em sua estrutura - a sacarose é a mais conhecida (formada por uma unidade de glicose e outra de frutose).

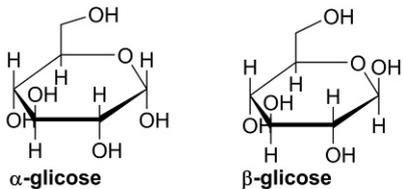
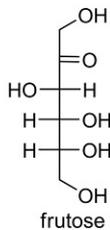
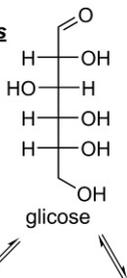
Os polissacarídeos são constituídos por mais de duas unidades de açúcar e representam a forma como os organismos vivos armazenam energia, sendo o

amido um dos mais importantes. Além disso, são constituintes básicos estruturais, principalmente como componente da parede celular de plantas, a exemplo da celulose.

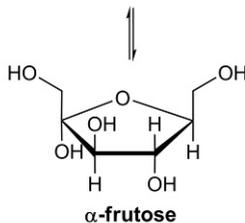
É interessante notar que essas duas estruturas são constituídas por unidades de glicose, diferenciando-se apenas na forma como elas se conectam, provocando propriedades estruturais e funcionais muito diferentes para cada uma (Figura 6).

Muitas plantas estocam o excesso de energia produzida durante a fotossíntese na forma de carboidratos. Por exemplo, a mandioca, a cenoura e a beterraba são raízes que, além de exercerem a função de absorver água e minerais do solo, também reservam a energia excedente que a planta produziu.

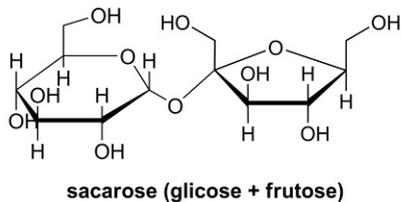
**Monossacarídeos**



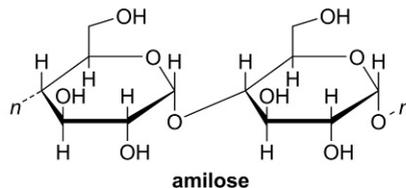
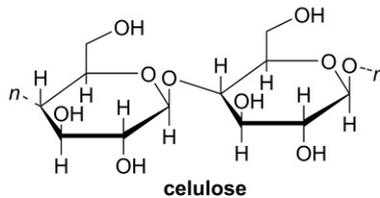
*Forma de ciclo (cadeia fechada)*



**Dissacarídeos**



**Polissacarídeos**



*n = várias unidades de glucose*

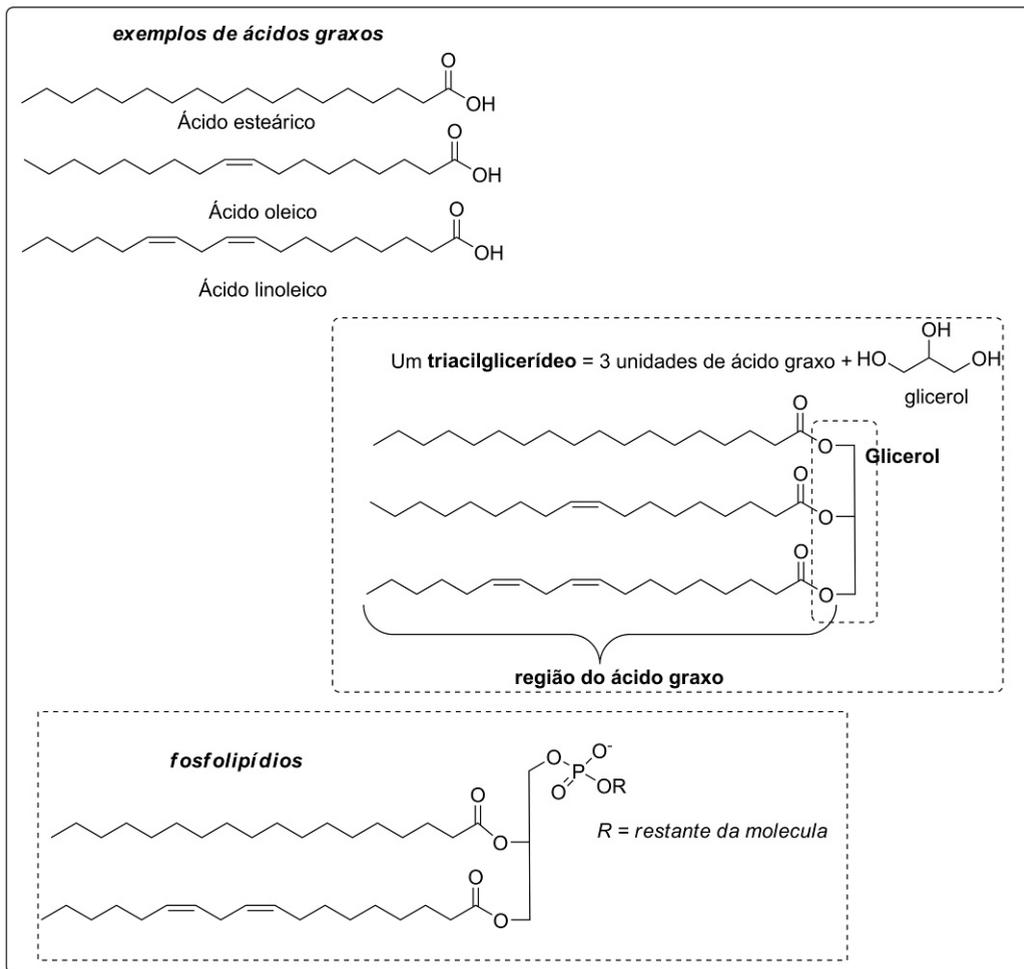
**Figura 6-** As estruturas dos carboidratos

## 4.2. Os lipídeos

A principal função dos lipídeos é o armazenamento de energia, basicamente sob a forma de gordura animal e óleos vegetais. Os lipídeos são insolúveis em água, o que é resultado de sua apolaridade, consequência da maior quantidade de cadeias carbônicas (apolares) frente aos grupamentos polares (Figura 7). Assim, eles são *hidrofóbicos*, ou seja, com baixa ou nenhuma solubilidade em água.

Os lipídeos são formados a partir de compostos gerados da transformação de carboidratos nos organismos vivos. Os óleos e gorduras são também conhecidos como triacilglicerídios e constituídos por três unidades menores de compostos orgânicos, conhecidos como ácidos graxos, e uma unidade de glicerol. Os ácidos graxos são classificados como saturados ou insaturados, pela ausência ou presença de ligações duplas ou triplas na estrutura, respectivamente (Figura 7).

Outro tipo de lipídeo importante é o fosfolipídeo, um diacilglicerídio que contém em sua estrutura uma ligação fosfato, além dos ácidos graxos e da unidade de glicerol típicas (Figura 7). A porção fosfato normalmente carrega um grupo polar. Assim, esse tipo de molécula apresenta características hidrofílicas e hidrofóbicas simultaneamente, sendo chamada de *anfifílica*, aspecto importante para as membranas celulares.



**Figura 7-** As estruturas químicas dos lipídeos

As unidades de ácidos graxos insaturados têm baixo ponto de fusão, enquanto os saturados apresentam maior ponto de fusão. Isso se deve à maior interação entre as moléculas de ácidos graxos quando a cadeia está completamente saturada, permitindo maior empacotamento entre elas e conferindo rigidez à temperatura ambiente. Os ácidos graxos insaturados

apresentam estrutura menos rígida, que impossibilita o mesmo grau de empacotamento, sendo líquidos à temperatura ambiente. Essa propriedade pode ser observada nos triacilglicerídeos. Assim, quando estes têm maior proporção de insaturação, são líquidos e constituem a maior parte dos óleos vegetais, de constituição quase sempre viscosa. Exemplos de óleos vegetais são os óleos de milho, de soja e de girassol. O contrário é observado em gorduras animais, que apresentam baixa proporção de ácidos graxos insaturados, sendo assim geralmente sólidas, como a manteiga e a gordura de porco.

Plantas geralmente armazenam óleos em suas sementes, que servem de alimento para o embrião. Ou seja, quando a semente começa a germinar, ela ainda não tem folhas para realizar a fotossíntese. Dessa forma, o óleo contido na semente constitui a energia armazenada que a pequena plântula utiliza para produzir suas primeiras folhas e raízes, e possa então sobreviver a partir da energia proveniente do sol (Figura 8).



**Figura 8-** As plântulas obtêm energia do óleo armazenado na semente, enquanto não realizam fotossíntese. Foto: R.C. Bianchi

Assim como as plantas estocam o excesso de energia produzida geralmente na forma de amido, os animais guardam a energia excedente proveniente dos alimentos na forma de gordura. Seria inviável para os animais armazenar energia na forma de carboidratos, como fazem as plantas. Como o catabolismo de carboidratos fornece menos da metade da energia que a degradação da mesma quantidade de gordura, o armazenamento de energia na forma de lipídeos representa uma vantagem adaptativa para organismos que se locomovem, como os animais.

### 4.3. As proteínas

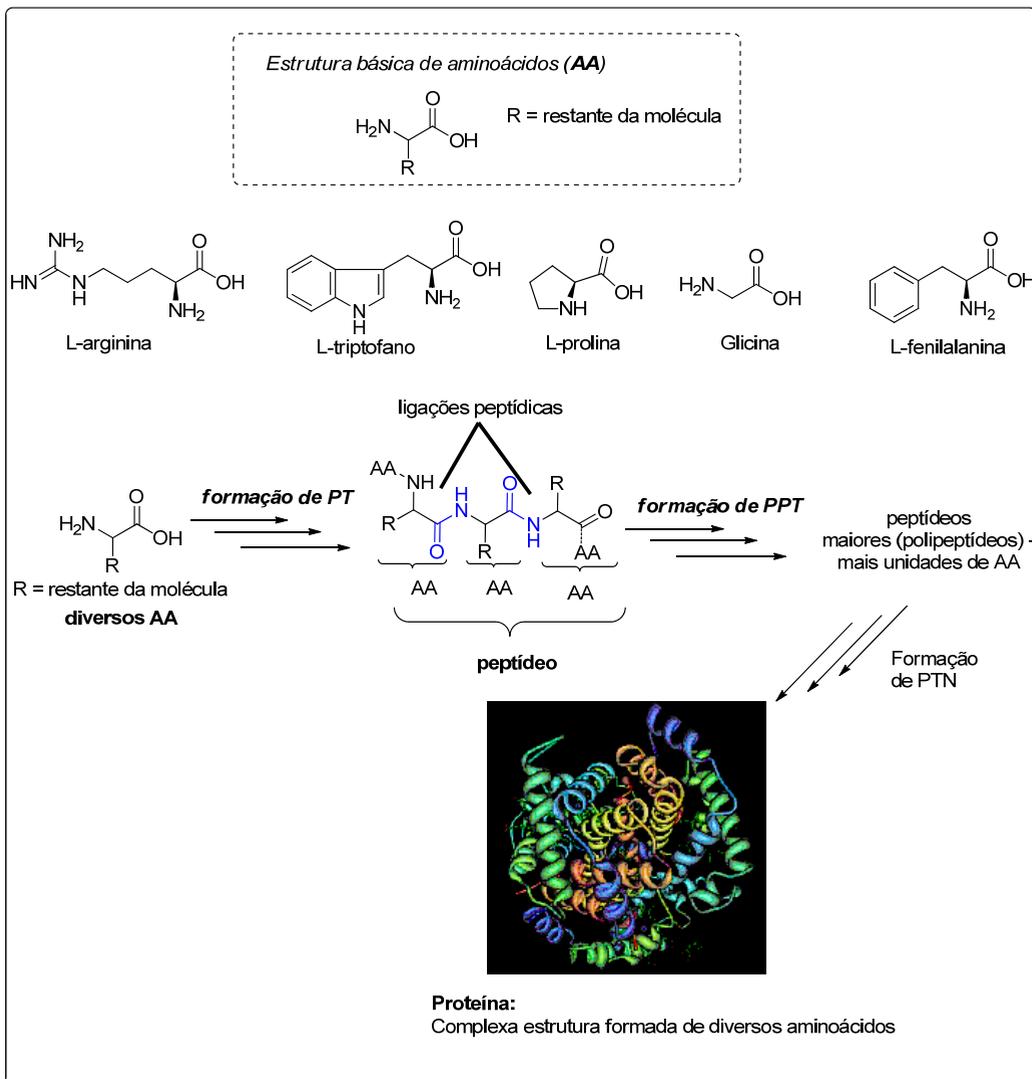
Proteína é um termo oriundo do grego, que significa “de primeira importância”, denotando seu papel vital para os organismos devido à diversidade de funções exercida (Figura 9).

As proteínas estão entre os compostos orgânicos mais abundantes da natureza perfazendo, aproximadamente, 50% do peso seco dos organismos vivos. Essa ampla distribuição está associada a uma vasta diversidade estrutural, sendo conhecidas nos seres humanos mais de 100.000 proteínas diferentes.

As estruturas de proteínas são extremamente grandes e complexas. São formadas por aminoácidos, que contêm grupos funcionais amina, com características básicas, e ácido carboxílico, com características ácidas, como o próprio nome sugere (Figura 9).

São conhecidos mais de 700 aminoácidos na natureza, dos quais 20 são formadores de proteínas em seres vivos. As plantas conseguem produzir todos os aminoácidos necessários para sua constituição, enquanto os animais produzem somente alguns dos essenciais, precisando buscar o complemento na alimentação.

A formação de proteínas segue um esquema único, no qual *aminoácidos* (AA) se ligam em combinações diversas formando *peptídeos* (PT), através de **ligações peptídicas** – ligação entre as funções amina e ácido carboxílico de dois aminoácidos formando uma um grupamento amida (Figura 9). À medida que incorporam outros aminoácidos geram *polipeptídeos* (PPT), que seguem se agrupando até formar as estruturas proteicas (PTM).

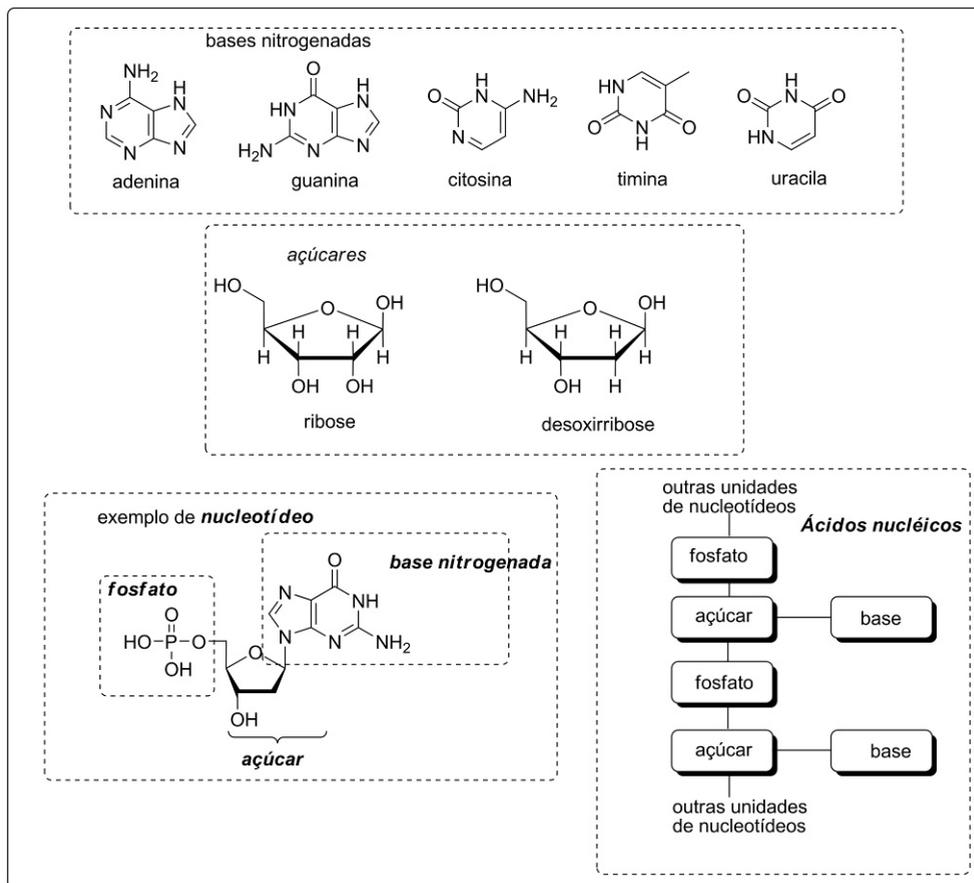


**Figura 9** - A estrutura de aminoácidos, o esquema geral de formação de proteínas e a ilustração de uma proteína – a hemoglobina humana (fonte: [www.pdb.org](http://www.pdb.org); nº 3B75).

#### 4.4. Os ácidos nucleicos

O ácido desoxirribonucleico (ADN, ou DNA em inglês) e o ácido ribonucleico (ARN, ou RNA em inglês) são os responsáveis pela informação genética, que determina as estruturas dos organismos vivos. Cada ácido consiste de uma longa cadeia de nucleotídeos, unidade básica formadora, constituída por um grupo fosfato, uma unidade de açúcar (ribose no RNA e desoxirribose no DNA) e uma base nitrogenada (um anel aminado com características de uma base) (Figura 10).

Embora semelhantes estruturalmente, o RNA e DNA exercem funções biológicas diferentes. O RNA está envolvido na síntese de proteínas, enquanto o DNA conduz a informação genética para desencadear essa formação.



**Figura 10-** As estruturas de bases nitrogenadas, açúcares, nucleotídeos e esquematização da estrutura de um ácido nucléico.

# 5

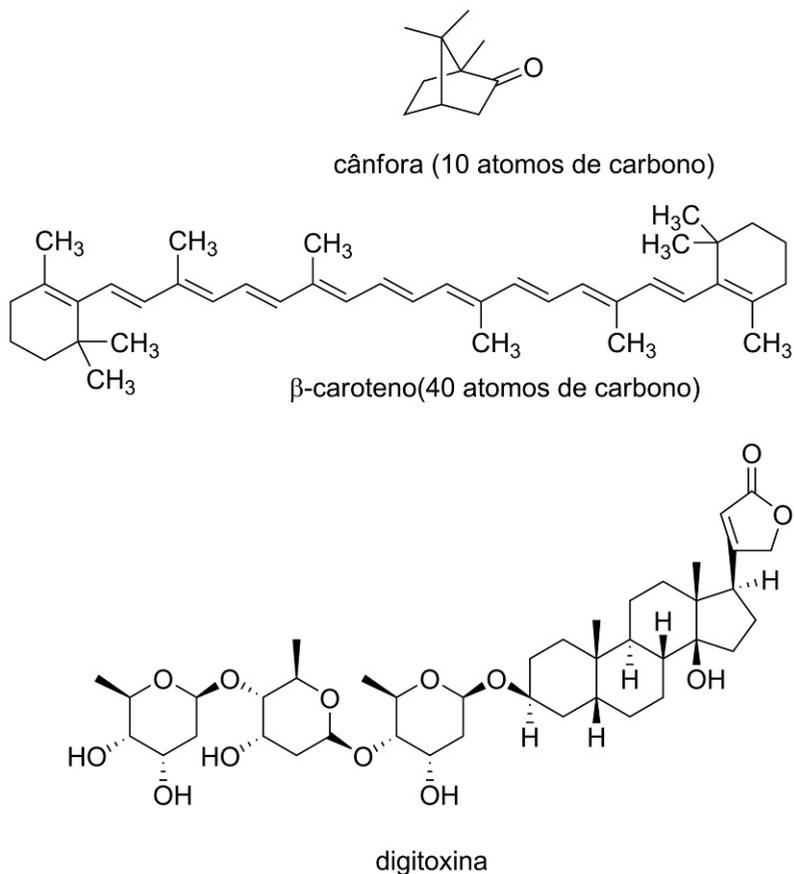
## Metabolismo secundário

Os metabólitos secundários expressam a individualidade de uma determinada espécie em termos químicos e respondem por inúmeras funções na proteção, desenvolvimento e interação com meio-ambiente.

De forma didática serão apresentadas, a seguir, as classes de metabólitos secundários mais representativas. As suas principais funções ecológicas e aplicações industriais, bem como de outras classes não pormenorizadas, serão apresentadas no decorrer do texto.

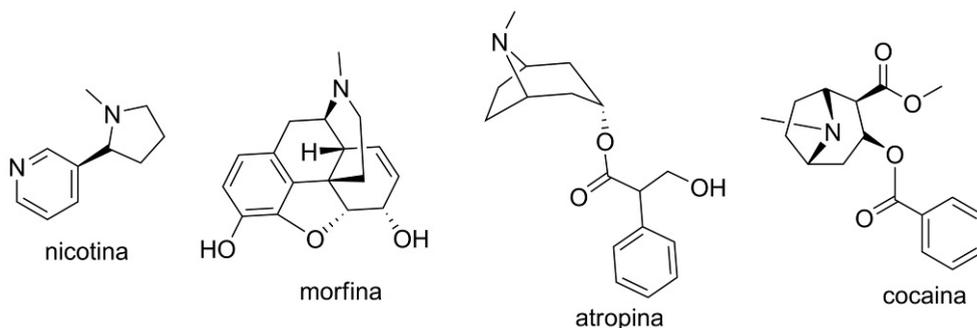
1. Terpenoides: existem mais de 20.000 terpenos conhecidos, produzidos por vegetais e outros organismos terrestres e marinhos, inclusive animais, fungos e bactérias. Sua diversidade estrutural é tão ampla que podem ser encontrados compostos com 10, 15, 20, 30 ou 40 átomos de carbono. São conhecidos, respectivamente, como *mono*, *sesqui*, *di*, *tri* e *tetraterpenos*, com as mais diferentes formas estruturais. Alguns são hidrocarbonetos simples, outros contêm em sua estrutura oxigênio ou nitrogênio ligado às cadeias de carbono. Muitos monoterpenos e sesquiterpenos, por serem compostos voláteis, compõem os **óleos essenciais**, como o mentol extraído da menta. Compostos esteroidais também pertencem a esta

classe, dentre eles o colesterol (precursor de hormônios) e os glicosídeos cardiotônicos como a digitoxina e digoxina, molécula comercializada como fármaco para tratamento de problemas cardíacos. Outros compostos, a exemplo do pigmento  $\beta$ -caroteno, também se inserem nesta classe (Figura 11).



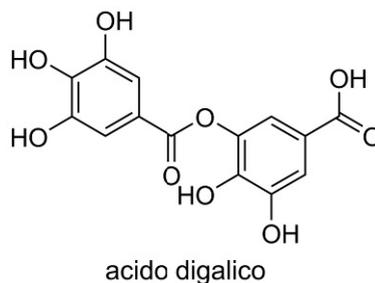
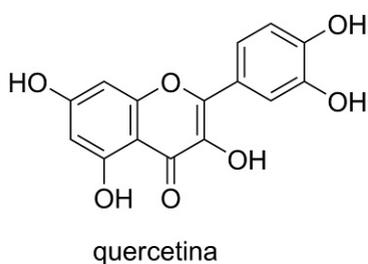
**Figura 11-** Exemplos de terpenoides

2. **Alcaloides:** são compostos nitrogenados que podem ter origem microbiana, vegetal ou de animais, tanto terrestres como marinhos. Muitos são conhecidos pelo sabor amargo e por suas propriedades básicas (de álcali), apesar de não serem características comuns a todos os compostos desta classe. Boa parte desta família é derivada de aminoácidos. Também constitui, como os terpenos, uma classe ampla e diversificada em termos estruturais. A morfina, obtida da papoula (*Papaver somniferum*), foi descoberta no início do século XIX por Sertürner, sendo o primeiro alcaloide a ser identificado. Desde então, aproximadamente 10.000 compostos desta classe foram identificados, entre eles: a cocaína, um problema de saúde pública e segurança nacional; a cafeína, estimulante encontrado no café, chás, guaraná e chocolate; a nicotina, isolada do tabaco; e a atropina, isolada da beladona, de cujo extrato Cleópatra fazia uso para dilatar suas pupilas e parecer mais atraente aos olhos do mundo (Figura 12).



**Figura 12-** Exemplos de alcaloides

3. Compostos fenólicos: esta classe, com grande variedade estrutural, tem por característica a presença de um grupamento hidroxila (-OH) ligado a um anel aromático, que é um ciclo de seis átomos de carbono contendo três duplas ligações alternadas (⬡). A este grupo pertencem os flavonoides, presentes no vacúolo das plantas, a exemplo da quercetina que é encontrada nas cascas das frutas. Os taninos conferem sabor adstringente às folhas de plantas lenhosas, como o ácido digálico. As ligninas, superadas apenas pela celulose em abundância na natureza, são polímeros que conferem rigidez, resistência e impermeabilidade à parede celular de plantas (Figura 13).



**Figura 13-** Exemplos de compostos fenólicos.

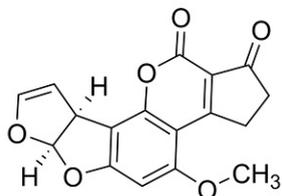
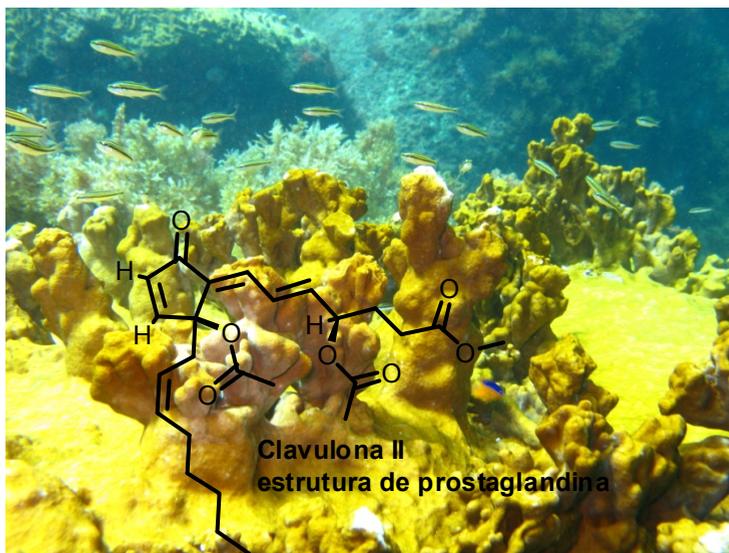
4. Outros compostos: muitas outras classes de substâncias naturais são conhecidas e algumas estão apresentadas a seguir (Figura 14).

- *Derivados de ácidos graxos*, como as **prostaglandinas**, cujo nome advém da crença de que eram produzidas na próstata, são importantes

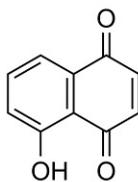
para o sistema circulatório, hormonal e respiratório. Essas moléculas são produzidas por mamíferos, mas são também encontradas em espécies de corais marinhos.

- *Policetídeos*, como as naftoquinonas juglona e plumbagina, são encontradas em plantas e possuem a capacidade de inibir o crescimento de outras plantas competidoras que estão na vizinhança. Outros exemplos são as aflatoxinas, substâncias muito tóxicas produzidas pelos fungos do gênero *Aspergillus*, que podem ocorrer em produtos alimentícios, além das tetraciclinas, antibióticos usados no tratamento de infecções bacterianas.

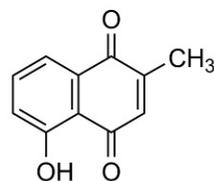
- *Peptídeos*, outra classe de compostos importantes, têm como exemplo as *penicilinas*, produzidas por fungos ou bactérias e que apresentam grande poder antibiótico. Esses compostos atuam na defesa contra microorganismos, sendo utilizados como medicamentos.



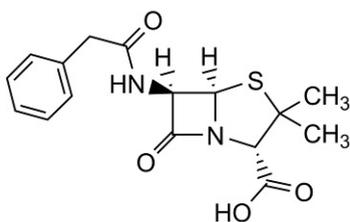
Aflatoxina B1



juglona



plumbagina



Penicilina G

**Figura 14-** Alguns produtos naturais de diversas classes.

Baseando-se nessa diversidade estrutural é que muitas espécies obtiveram sucesso evolutivo, sendo capazes de se defender de inimigos naturais, atrair polinizadores ou dispersores, repelir herbívoros e predadores ou mesmo de informar e sinalizar eventos importantes para a espécie.

Nesse sentido, é importante ter em mente que nenhuma substância foi engenhosamente produzida para um determinado fim. Na realidade, foi em função de sua produção que muitos organismos vivos sobreviveram com o tempo. Assim, essas características foram transmitidas de geração para geração, dando continuidade ao processo de evolução.

Algumas das interações entre a Química e a Biologia estão apresentadas a seguir, e demonstram a beleza da natureza que está invisível.

## 6

### **A Química que repele**

Na natureza, todos os organismos investem sua energia em uma incessante luta pela sobrevivência tentando encontrar alimento, procriar e evitar ser predado. A maioria dos organismos não sobrevive até chegar à maturidade sexual e muitos adultos não sobrevivem o suficiente para produzir proles. A

predação é a maior causa de mortalidade em populações naturais e pode ocorrer em qualquer fase da vida.

Toda característica de um organismo que aumente o gasto de energia de um consumidor para descobri-lo, ou manipulá-lo, será uma defesa se o consumidor o atacar menos.

Muitos animais evitam ser predados fugindo de seus predadores. É fácil pensar em uma capivara fugindo de uma onça ou uma mosca voando para longe de um sapo. Mas e aqueles organismos que não conseguem se locomover? Aqueles que vivem fixos - organismos sésseis - como as plantas?

A produção de algumas substâncias pelas plantas diminui o ataque por herbívoros predadores. Por exemplo, os bugios, também conhecidos como barbados (*Alouatta* spp.), preferem folhas jovens e evitam folhas maduras com maior quantidade de tanino. Os taninos, que são compostos polifenólicos, alteram a palatabilidade e digestibilidade de muitos herbívoros, tornando a planta ingerida desagradável ao gosto do animal (Figura 15).

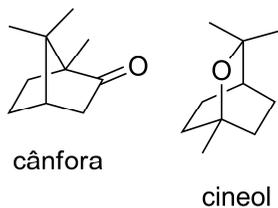


**Figura 15** – Larvas e insetos adultos alimentando-se de plantas que contêm produtos naturais e reduzem sua predação. Fotos: R.C. Bianchi.

Outros compostos, como os terpenos, podem agir de forma diversa, como o limoneno, um importante repelente encontrado nas árvores de *Pinus*. Dessa forma, besouros evitam pousar nessas espécies de plantas e predá-las. A capacidade repelente de terpenos menores (monoterpenos, por exemplo) é bastante eficaz por serem muito voláteis.

Esse conjunto de defesas químicas apresenta uma versatilidade fascinante que auxilia não somente no combate aos predadores, como também evita infecções por vírus, bactérias ou fungos, ou mesmo a competição com outras plantas.

No último caso, temos o exemplo que ocorre no chaparral, vegetação típica encontrada na Califórnia e no Chile (entre outras localidades com clima semelhante). As espécies *Salvia lucophylla* e a *Artemisia californica* são dois arbustos importantes nesse tipo de vegetação e, no verão, liberam cânfora e cineol para o ambiente (Figura 16). Quando suas partes aéreas caem no solo e lá ficam depositadas, essas substâncias impedem que outras plantas cresçam na primavera seguinte, evitando um aumento diversificado de populações de outras espécies. É interessante notar que essas substâncias são voláteis: terpenos de baixa massa molecular e que, com o aumento da temperatura no verão, são liberados mais facilmente. No inverno, com baixas temperaturas, esse processo não tende a ocorrer.



**Figura 16-** Exemplo de monoterpenos capazes de impedir que outras espécies de plantas se desenvolvam no chaparral.

Os animais têm mais opções de defesa do que os vegetais, mas também fazem uso de substâncias químicas neste processo. Secreções defensivas contendo ácido sulfúrico, no pH 1 ou 2, ocorrem em alguns grupos de gastrópodes marinhos.

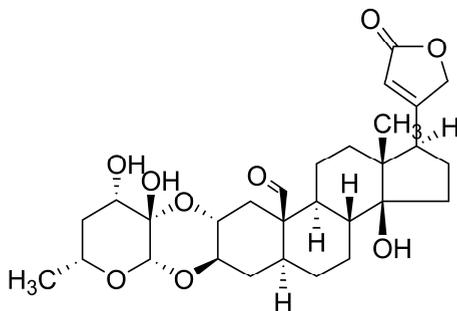
## 7

### **A Química que protege pode ser a mesma que mata**

As plantas utilizam inúmeras substâncias químicas para reduzir a predação por animais, especialmente por insetos. Entretanto, muitos outros animais, além de serem imunes a elas, acabam por incorporá-las em seu arsenal de defesa, por meio das plantas consumidas na dieta. Essas substâncias,

posteriormente, podem ser exsudadas de glândulas especiais, borrifadas ou injetadas, mas também podem estar presentes no sangue ou nos tecidos.

Um exemplo clássico é o da borboleta monarca (*Danaus plexippus*), cujas larvas se alimentam de asclépias, que contêm glicosídeos cardioativos (Figura 17), tóxicos para mamíferos e aves. Essas larvas podem armazenar o veneno, que permanece ainda no adulto. Desse modo, após consumir uma monarca, uma ave vomitará intensamente e, uma vez recuperada, rejeitará outras monarcas.

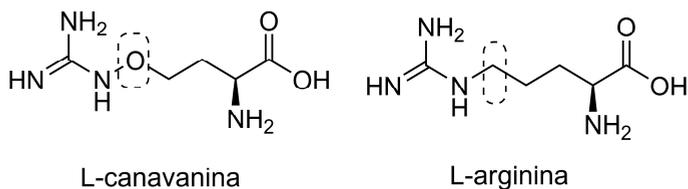


Calotropina

**Figura 17-** Estrutura da calotropina, um glicosídeo cardioativo consumido por larvas e que impede a predação por outros animais.

Um recurso alimentar com melhor defesa pode exercer uma pressão seletiva sobre os consumidores, como insetos, por exemplo. Aqueles que conseguirem se tornar imunes à toxina passam a ter a vantagem de, além de poderem consumir a planta, não terem muitos competidores.

Um exemplo é a leguminosa tropical (*Dioclea metacarpa*), tóxica para quase todas as espécies de insetos porque contém um aminoácido não proteico, a *L*-canavanina, que os insetos incorporam em suas proteínas no lugar da *L*-arginina. A diferença entre esses dois aminoácidos é a substituição de um grupo metileno  $-CH_2$  na *L*-arginina por um átomo de oxigênio na *L*-canavanina (Figura 18). Lembrando que os aminoácidos são as unidades formadoras de proteínas, e como estas têm funções fisiológicas diversas, a alteração da sua estrutura pode afetar as funções vitais de um organismo, gerando toxicidade.



**Figura 18-** A semelhança entre as estruturas pode ser fundamental para uma determinada atividade biológica de um metabólito secundário.

Porém, uma espécie de besouro da família Bruchidae (*Caryedes brasiliensis*) desenvolveu uma enzima modificada que distingue a *L*-canavanina da *L*-arginina durante a formação de proteína. Além disso, ele possui enzimas adicionais que degradam a *L*-canavanina, que passa a ser usada também como fonte de nitrogênio.

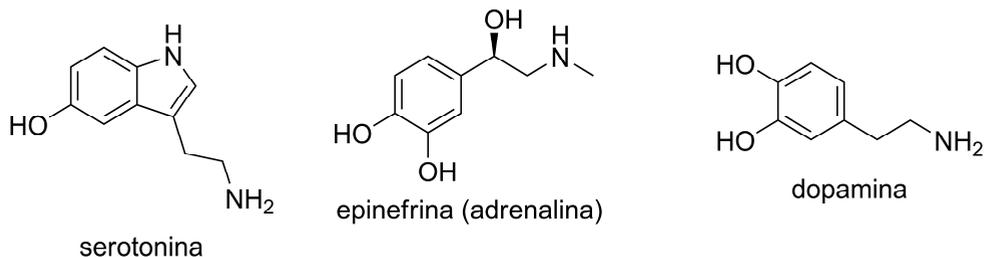
Alguns indivíduos podem deter predadores utilizando substâncias produzidas ou adquiridas através do alimento, ou seja, de presas ingeridas. É o caso de anfíbios (Figura 19).



**Figura 19-** Exemplos de anfíbios que possuem toxinas em sua pele, que os protegem contra fungos, vírus e bactérias e, eventualmente, contra a predação.

Foto superior: R.C. Bianchi. Foto inferior: J.L. Gasparini.

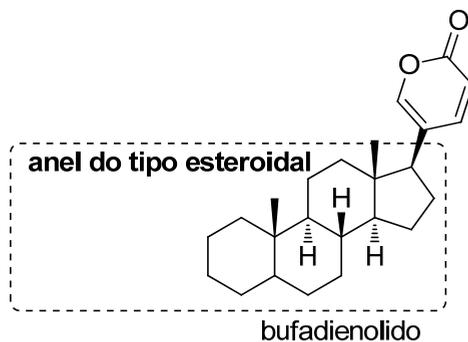
Várias substâncias nocivas e componentes tóxicos já foram identificados na pele de anfíbios e muitos deles são usados para defesa química. Os compostos conhecidos são de quatro grupos: *aminas biogênicas*, *peptídeos*, *bufadienólidos* e *alcaloides*. As *aminas biogênicas* incluem serotonina, epinefrinas e dopaminas, que afetam as funções normais do sistema nervoso e vascular (Figura 20). Esses compostos são derivados de aminoácidos e produzidos normalmente por animais. Os *peptídeos* compreendem compostos tais como a bradicinina, que modifica as funções cardíacas. Os *bufadienólidos* e os *alcaloides*, citados anteriormente, afetam o transporte celular normal e o metabolismo, além de serem sempre muito tóxicos.



**Figura 20-** Aminas biogênicas tóxicas, produzidas por animais e que afetam predadores.

Alguns anfíbios, com sua pele glandular, produzem metabólitos que podem provocar desde uma irritação no predador até mesmo levá-lo à morte. As

glândulas granulares podem estar distribuídas no dorso ou se concentrar em alguma região específica do animal. Os sapos bufonídeos concentram uma classe de compostos esteroidais – os *bufadienolidos* - nas glândulas paratoides, localizadas lateralmente na cabeça, e tão logo a presa é colocada na boca, a substância é secretada (Figura 21). Essa classe de substâncias é proveniente do metabolismo que envolve o colesterol, um esteroide precursor de várias substâncias.



**Figura 21**- Estrutura química do bufadienolido, um produto do tipo esteroidal, produzido por sapos bufonídeos. Um bufonídeo (*Rhinella schneideri*) com glândulas paratóides. Foto: J.L. Gasparini.

Muitas substâncias químicas que ocorrem na pele de anfíbios parecem ser provenientes de artrópodes ingeridos durante a alimentação, particularmente as formigas. Anfíbios de muitas famílias, especializados em comer formigas, produzem alguns dos compostos mais tóxicos.

É importante lembrar que os anfíbios não possuem mecanismos para expelir o veneno à distância, muito menos para injetá-lo. O veneno é liberado da pele ao entrar em contato com o predador, normalmente quando pressionado na sua boca. O mito de que sapos possuem urina venenosa e que são capazes de lançá-la a grandes distâncias é um erro comum. Isso se deve a um dos mecanismos de defesa dos anfíbios, que é o de esvaziar a bexiga quando capturado, como forma de assustar o predador.

Especula-se que as substâncias provenientes das glândulas presentes nas peles dos anfíbios tenham, ou já tiveram, originalmente, outras funções, como atuar na comunicação com outros indivíduos, demarcar território, atrair parceiros, reduzir a perda de água através da pele e prevenir contra agentes infecciosos como fungos, vírus ou bactérias.

# 8

## Compostos utilizados na imobilização e pré-digestão de presas

Serpentes, assim como os anfíbios, são predadores e alimentam-se de outros animais. Para ingerir a presa sem se ferirem, podem imobilizá-la ou matá-la. Dentre esses mecanismos de ação, destacam-se os venenos como potentes mecanismos de defesa, que se situam em glândulas internas. (Figura 22).



**Figura 22-** Esquerda: cobra coral-verdadeira, serpente peçonhenta que produz veneno com ação neurotóxica. Foto: R.C. Bianchi. Direita: jararaca, serpente que produz veneno com ação proteolítica. Foto: J.L. Gasparini.

Basicamente, existem dois grupos de serpentes. As chamadas serpentes peçonhentas são aquelas que possuem um aparato para inocular a peçonha, que é constituído por um duto pelo qual será escoado o veneno.

Serpentes que não possuem esse aparato são chamadas de não peçonhentas e subjagam suas presas através de constrição, enrolando-se à presa e, à medida que esta vai tentando realizar movimentos respiratórios, a serpente aumenta a pressão, até matá-la por asfixia.

A maior parte das espécies de serpentes pertence a este último grupo (70% das espécies) e, no Brasil, as mais famosas são a jibóia e a sucuri, da família Boidae e a caninana, da família Colubridae. Serpentes da família Elapidae (coral-verdadeira), Viperidae (jararaca, surucucu e cascavel) e muitas espécies da família Colubridae (cobra-cipó, por exemplo) são peçonhentas.

O veneno de cada espécie é uma mistura de várias substâncias que funcionam sinergicamente, subjagando a presa. Geralmente, o veneno causa destruição do tecido ou colapso neurológico.

Dentre os constituintes dos venenos estão as enzimas, os polipeptídeos (conjunto de aminoácidos ligados por ligações peptídicas), alguns íons inorgânicos, como o sódio e o potássio (que aumentam a atividade de uma determinada enzima), as glicoproteínas (que atuam no sistema imune), os aminoácidos e as aminas biogênicas.

Os venenos são produzidos continuamente na glândula e armazenados em bolsas. Quando a presa é picada, músculos comprimem essa glândula e forçam o veneno a passar pelos dutos através do dente, injetando-o na presa. Muitas serpentes peçonhentas injetam o veneno, liberam a presa e seguem-na através do cheiro, deglutindo-a com total segurança. Outras injetam o veneno e mantêm-na segura para garantir a penetração do veneno.

# 9

## A Química que atrai

As relações biológicas não são sempre cheias de agentes conflituosos pautados em uma constante corrida para a produção de substâncias antipredação, repelência ou imunização. Na realidade, a grande diversificação das plantas com flores (Angiospermas) só foi possível graças à interação com os animais, em especial, com os insetos. Como não se deslocam, não podem buscar parceiros para se acasalar. Em geral, as plantas utilizam alguns produtos naturais que permitem a atração de animais que irão, então, realizar a tarefa de transportar o pólen até outras plantas, ou depositar as sementes em outros locais. Dessa forma, é possível que a fecundação cruzada – *fecundação entre indivíduos diferentes* - ocorra frequentemente.

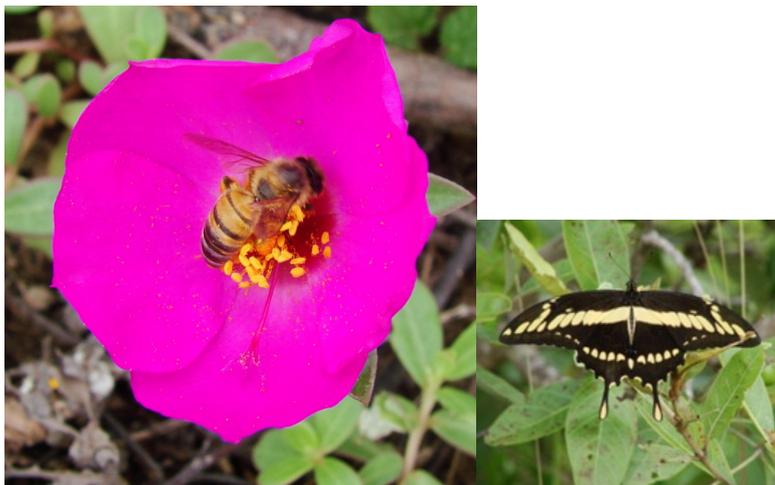
Assim, as plantas com flores transcenderam a sua condição de organismo sésstil e se tornaram tão móveis quanto os animais. Isso tudo só foi possível graças a uma infinidade de substâncias químicas que surgiram durante todo o processo evolutivo, e que permitiram a atração dos animais às estruturas reprodutivas das plantas em troca de uma valiosa moeda: o néctar. Sua composição é rica em açúcares, o que o torna de alto valor energético; além disso, muitas vezes estão acompanhados de aminoácidos, vitaminas, antioxidantes e toxinas, capazes de repelir os oportunistas indesejáveis.

As plantas com sementes mais primitivas eram polinizadas passivamente. Grandes quantidades de pólen eram dispersas pelo vento, atingindo os óvulos da vizinhança apenas por acaso. Conforme os insetos foram sendo atraídos para as flores em função da presença de atrativos, como a cor e o aroma, mais eles se tornaram capazes de transferir o pólen ao visitar cada planta, aumentando as chances da fecundação de óvulos de outros indivíduos. Esse sistema é mais eficiente que a polinização passiva pelo vento, pois permite uma polinização muito mais acurada, com uma quantidade muito menor de pólen.

Quanto mais atraentes forem as plantas para os insetos, mais frequentemente elas serão visitadas e maior será o número de sementes produzidas. Logo, qualquer mudança fenotípica que torne as visitas de polinizadores mais frequentes, ou mais eficientes, oferece uma vantagem seletiva para a planta.

Várias mudanças evolutivas importantes se seguiram. Por exemplo, plantas que produziam tipos especiais de alimentos para os visitantes poderiam ter vantagens seletivas. Nesse sentido, o desenvolvimento de nectários florais foi uma grande vantagem, fornecendo um arsenal de odor, sabor e energia interessante para os visitantes.

As abelhas, o grupo de visitantes mais importante das flores, são responsáveis pela polinização de mais espécies de plantas do que qualquer outro grupo de animais. Elas se alimentam de néctar e coletam pólen para alimentar as larvas. Possuem partes bucais, pelos e outras estruturas do corpo adaptadas à coleta e ao transporte de pólen e néctar (Figura 23).



**Figura 23**– Abelha melífera e borboleta atraídas para as flores em busca de néctar e pólen. A cor púrpura exemplifica a influência direta na atração.

Fotos: R.C. Bianchi.

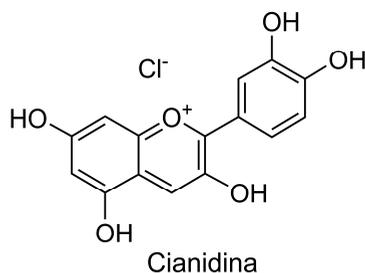
As flores polinizadas por animais que são capazes de enxergar cor apresentam, geralmente, coloração intensa. Assim, é comum que as flores polinizadas por abelhas sejam azuis ou amarelas, enquanto que as polinizadas por aves sejam vermelhas.

São os pigmentos que dão cor às flores. Muitas flores vermelhas, alaranjadas ou amarelas devem suas cores à presença de pigmentos *carotenoides*, compostos do grupo dos terpenoides que se encontram nos plastídeos.

No entanto, os mais importantes pigmentos são os *flavonoides*, compostos fenólicos abundantes em flores. Já as antocianinas são os principais determinantes da coloração vermelha ao azul. Elas são compostos fenólicos que,

devido a sua característica polar, se solubilizam em água e interagem com íons e outros constituintes, o que favorece uma vasta gama de cores nas flores.

Um mesmo pigmento dessa natureza pode apresentar cores diferentes, dependendo do pH no qual ele se encontra. A cianidina (Figura 24), um composto dessa classe, é vermelha em solução ácida, violeta em neutra e azul em solução alcalina (básica). Em algumas plantas, as flores mudam de cor após a polinização devido à produção de grandes quantidades de antocianinas, ficando menos distintas para os insetos.



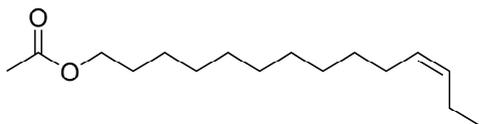
**Figura 24-** Corante natural presente nas flores e usado comercialmente, a cianidina.

Os flavonóis, outro grupo dos polifenólicos, são comumente encontrados em folhas e flores. Alguns apresentam pouca cor, mas podem contribuir para os tons de marfim e branco encontrados em certas flores. A quercetina (Figura 13), um flavonol amplamente distribuído, é encontrada na flor do trevo, por exemplo.

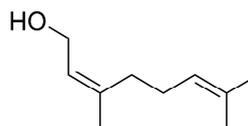
# 10

## A Química que informa

Os insetos utilizam uma enorme quantidade de compostos orgânicos como mediadores de interações que envolvam atração sexual, fatores de agregação, sinais de trilha e organização social. Esses compostos são tipicamente monoterpenos, fenóis ou ésteres de ácidos graxos, que podem ser produzidos pelos próprios insetos ou oriundos das plantas consumidas (Figura 25).



éster de ácido graxo  
encontrado em espécie de besouro



nerol  
terpeno - utilizado por  
abelhas para evitar  
enxames

**Figura 25-** Metabólitos responsáveis por sinalizar atração sexual e organização social.

# 11

## Produtos naturais e seu uso comercial

Desde os primórdios, o homem faz uso de produtos naturais no seu cotidiano. Usou-os para simular a natureza, para fantasiar-se e embelezar-se para festas ou batalhas através dos pigmentos de origem natural. Extraiu veneno de anfíbios no auxílio à caça ou fez uso de plantas ou fungos alucinógenos, em rituais religiosos e de cura.

A partir do momento em que o homem começou a compreender e utilizar os produtos naturais, em sua rotina diária, iniciou-se a história do desenvolvimento da ciência e tecnologia em diversas áreas, inclusive nas indústrias alimentícia, têxtil e farmacêutica.

É simples pensar que os homens fazem uso dos recursos naturais como alimento, nas terapias ou para o embelezamento, seja através de plantas, minerais ou mesmo animais. Porém, o uso de substâncias isoladas da natureza começou a se desenvolver conforme novas tecnologias foram desenvolvidas para separar um único produto, de forma pura, do conjunto de uma determinada fonte natural.

Do ponto de vista terapêutico, por exemplo, cerca de 80% da população oriental tem contato com alguma terapia tradicional, que invariavelmente envolve fontes naturais de tratamento. Nesse caso, a fitoterapia é uma das mais importantes utilizadas no tratamento de doenças. No Brasil, é comum encontrar

feiras-livres com comerciantes de matérias-primas naturais (folhas, cascas, raízes) para o tratamento das mais diversas aflições (Figura 26), havendo a necessidade de ressaltar que essas não podem ser consideradas medicamentos fitoterápicos.



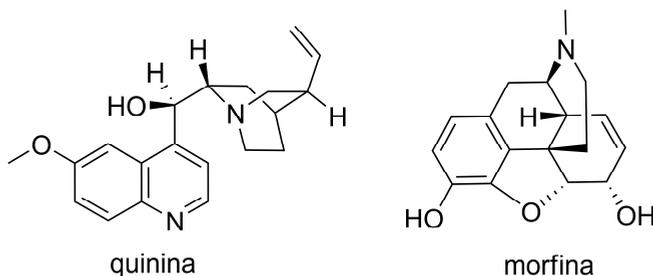
**Figura 26** – Foto ilustrativa da exploração de matérias-primas vegetais, especialmente em regiões do interior do Brasil. Foto: F.S. Emery.

Desde o século passado, diversos foram os produtos naturais ou seus derivados lançados no mercado de fármacos. Um levantamento recente indica

que, somente entre os anos de 1981 até 2006, aproximadamente 30% dos fármacos vendidos em farmácias e drogarias estiveram diretamente relacionados aos produtos naturais. Nos últimos anos, a partir de 2006, aproximadamente uma dezena de fármacos com essas características foi lançada no mercado.

É interessante notar ainda que as fontes de fármacos naturais são extremamente diversas, havendo representantes das plantas, fungos e também dos animais. Isso demonstra a grande capacidade do homem em pesquisar o que a natureza é capaz de nos beneficiar.

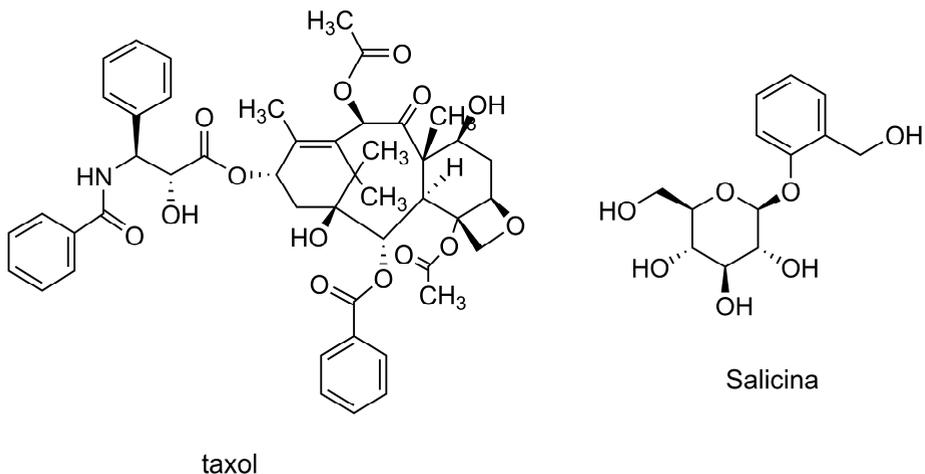
Dos medicamentos de origem natural podemos citar a quinina, para o tratamento de malária, e a morfina, como analgésico, dentre os alcaloides oriundos de plantas (Figura 27). A primeira é obtida de espécies da árvore cinchona (*Cinchona* spp.), e a segunda de papoula (*Papaver somniferum*). Imaginemos uma época em que as cirurgias eram realizadas sem analgésicos, ou que muitas doenças e traumas que acometiam a sociedade não eram aliviados. Esse cenário, inimaginável para as sociedades civilizadas da atualidade, era lugar-comum há pouco tempo atrás, e só era amenizado pelo uso dos produtos naturais.



**Figura 27-** Alcaloides importantes na história dos medicamentos:  
quinina e morfina.

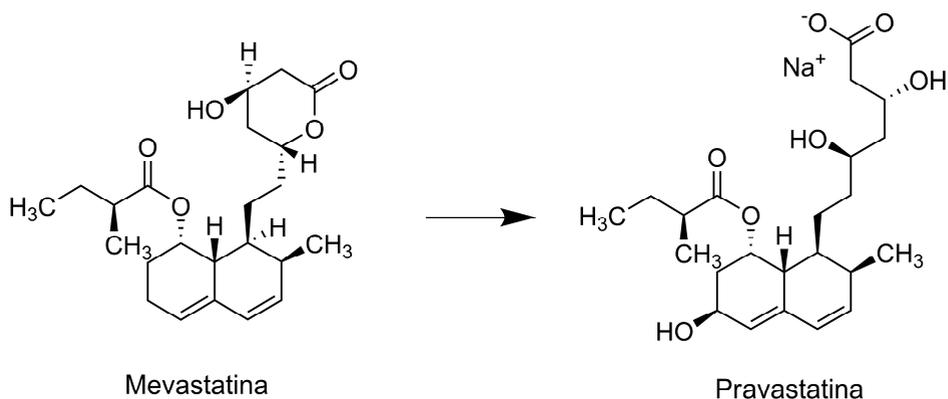
Antibióticos, como as penicilinas, são obtidos de *Penicillium* sp., em processos de fermentação industrial que utilizam o próprio microorganismo para desenvolvê-las em grande quantidade. Sua atividade antibiótica foi extremamente útil para o prolongamento da vida humana na Terra. Dentre as penicilinas naturais mais comuns, a penicilina G (benzilpenicilina), com ampla atuação sobre bactérias, obteve muito sucesso no mercado farmacêutico (Figura 14).

Outros compostos importantes na medicina podem ser destacados, dentre eles a salicina, extraída da folha de salgueiro (*Salix alba*) e útil no tratamento de febre. A partir dessa molécula foi desenvolvido o ácido acetilsalicílico, um dos mais importantes fármacos de nossa era. Outro composto de destaque é o taxol, um fármaco complexo utilizado no tratamento de tumores de ovários e de mama, geralmente obtido em quantidades mínimas (cerca de 300 mg) da árvore centenária *Taxus brevifolia* (Figura 28).



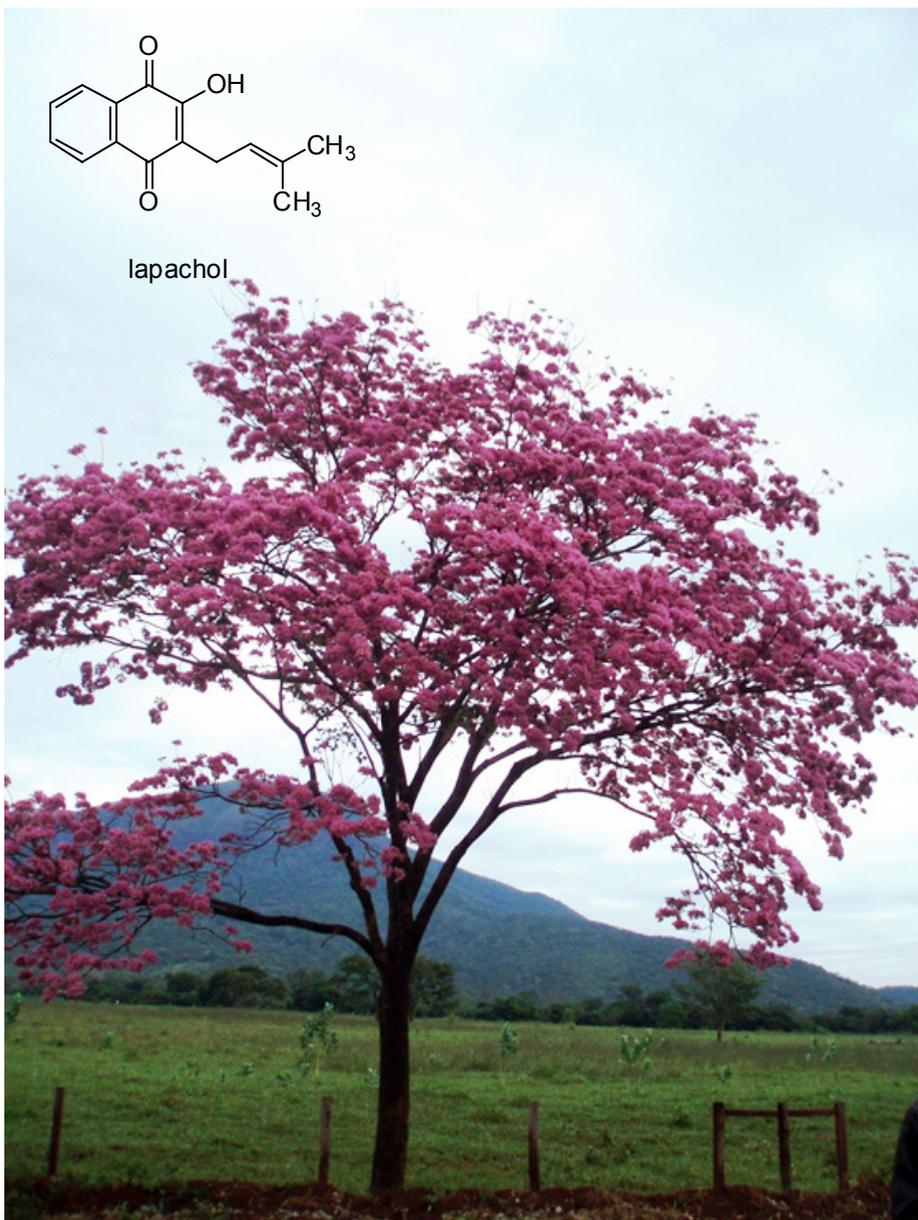
**Figura 28-** Estruturas de importantes fármacos naturais da história:  
taxol e salicina.

Há ainda a mevastatina (compactina), obtida da cultura de *Penicillium* sp., que atua na redução dos níveis de colesterol e deu origem a uma série de compostos presentes hoje no mercado. Pensando em nossa dieta rotineira, não é difícil imaginar medicamentos mais oportunos, que previnam e tratem potenciais doenças cardiovasculares (Figura 29).



**Figura 29-** Substâncias naturais que atuam na redução de níveis de lipídeos.

No Brasil, muitos produtos e fontes naturais são pesquisados para a descoberta de novos medicamentos. Um exemplo histórico no país é a obtenção de lapachol a partir de espécies do ipê-roxo. O lapachol, uma naftoquinona, é muito eficaz no tratamento de infecções e do câncer. Esta, dentre outras informações, sugere que os produtos naturais são importantes modelos para pesquisa de novos agentes terapêuticos. (Figura 30).



**Figura 30-** Muitos produtos naturais são explorados e extraídos de plantas brasileiras, como é o caso do lapachol. Foto: P.H.D. Cançado.

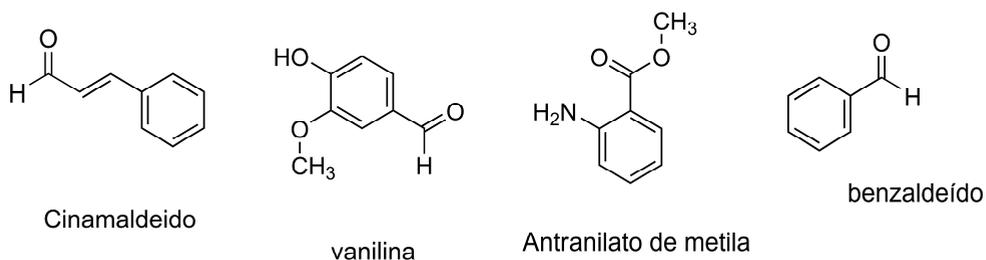
Porém, não somente os fármacos são obtidos industrialmente da natureza. Flavorizantes e fragrâncias são outros produtos extremamente importantes para a indústria cosmética, alimentícia, química e farmacêutica.

Substâncias relacionadas ao sabor e aroma movimentam bilhões de dólares por ano, em torno de 25% do total do mercado de alimentos no mundo. Apesar da maioria dos aromatizantes ser obtida sinteticamente, as estruturas químicas são idênticas ou foram planejadas a partir de produtos naturais.

Dentre os principais aromatizantes utilizados na indústria de alimentos e cosméticos, os mais comuns são a vanilina, o benzaldeído, o cinamaldeído – os três compostos do tipo aldeído - e o antranilato de metila, um éster (Figura 31).

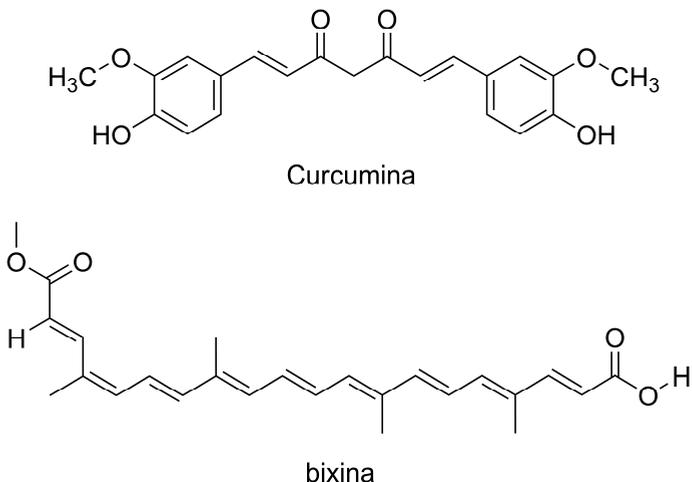
A vanilina, que confere odor de baunilha aos alimentos, é isolada da fava da baunilha, uma orquídea, e já era utilizada pela sociedade asteca. Seu consumo anual é estimado em mais 12 mil toneladas, com fins flavorizantes, em preparações farmacêuticas e como intermediário químico para fármacos e herbicidas. A vanilina é extraída da natureza e também obtida por via sintética.

Em geral, a simplicidade estrutural é inversamente proporcional ao lucro gerado por eles (Figura 31).



**Figura 31-** Os flavorizantes e aromatizantes representados em sua simplicidade estrutural.

É possível pensar em fontes de corantes naturais, como o urucum e o açafrão, que apresentam pigmentos diversos em sua composição e são utilizados como temperos culinários (Figura 32).

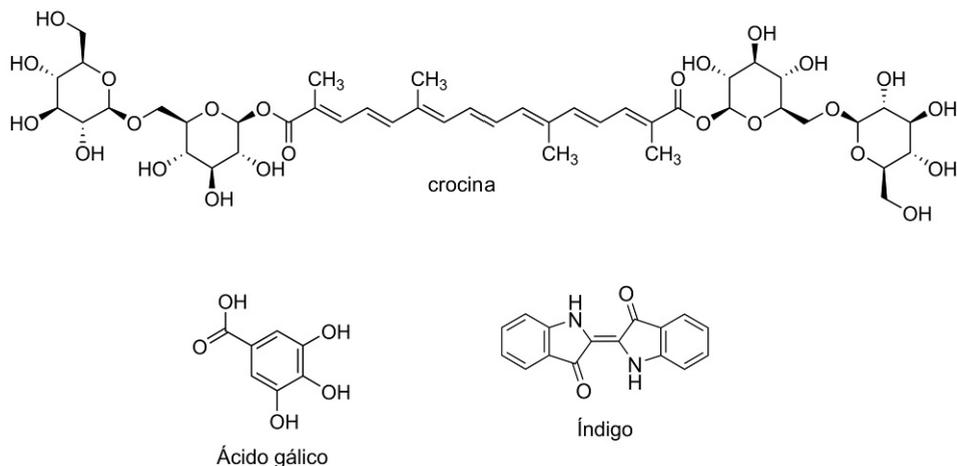


**Figura 32-** Corantes naturais muito empregados na culinária brasileira: curcumina (açafrão) e bixina (urucum).

Algas também são fontes de agentes espessantes, como a carragenina, o alginato e o ágar, muito empregados na indústria alimentícia e cosmética.

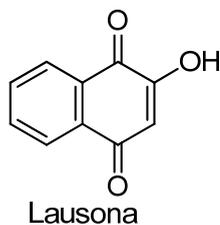
Já o uso têxtil de corantes naturais existe há mais de quatro mil anos. O exemplo mais conhecido de corante natural é o índigo, utilizado bem antes de Cristo. É extraído de plantas do gênero *Indigofera*, nativa de países tropicais e subtropicais.

Outros corantes como a crocina, corante amarelo extraído de flores de *Crocus sativus*, e o ácido gálico, obtido de taninos e que apresenta cor marrom, são muito empregados na indústria de tecidos e couro (Figura 33).



**Figura 33-** Exemplos de corantes naturais utilizados na indústria têxtil.

Já a lausona (ou *lawsona*), obtido de *Lawsonia sp.*, constitui a *henna*, e é utilizado desde os tempos mais remotos para a pele, e mais atualmente, para tintura capilar (Figura 34).



**Figura 34-** Lausona, pigmento natural comumente empregado em cosméticos pelos indianos. Foto: Abi Vanack.

# 12

## Considerações finais

Os exemplos apresentados no texto constituem um breve resumo da ampla utilização da biodiversidade em prol do bem-estar do ser humano. Seja para saúde ou por motivos sociais, os compostos provenientes da natureza continuam sendo produtos de alto valor agregado.

É impossível imaginar o mundo, hoje, sem a presença dos produtos naturais. Infelizmente, muitos deles estão se perdendo antes mesmo de serem descobertos, já que a mãe natureza está progressivamente sendo substituída por cidades, pastagens ou culturas agrícolas, para sustentar os quase sete bilhões de habitantes do planeta.

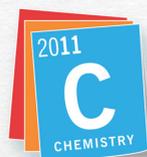
É paradoxal pensar que esse imenso arsenal de produtos naturais, que nos permitiu avançar a um número tão elevado de habitantes, se encontre ameaçado por nossa superpopulação, que superabusa da natureza. Sem os antibióticos, os pesticidas e muitas outras substâncias, não conseguiríamos ter tanto sucesso na ocupação de todos os ambientes da Terra.

# 13

## Referências

- 1- BARREIRO, E.J., BOLZANI, V. Biodiversidade: fonte potencial para a descoberta de fármacos. *Química Nova*, v.32, p.679-688, 2009.
- 2- JARDIM, W. Química Ambiental: A Evolução da atmosfera terrestre. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, p. 5-8, 2001.
- 3- LEHNINGER, A.L., NELSON, D.L., COX, M.M. *Princípios de bioquímica*. 4ª Ed. New York: Sarvier, 2006.
- 4- LOBO, A.M., LOURENÇO, A.M. *Biossíntese de produtos naturais*. 1ª Ed. Lisboa: Ed. Instituto Superior Técnico, 2007.
- 5- PINTO, A.C., SILVA, D.H.S., BOLZANI, V.S., LOPES, N.P. EPIFANIO, R.A. *Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas*. *Química Nova*, v.25, p.45-61, 2002.
- 6- POUGH, J.R. *A vida dos vertebrados*. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. Atheneu, 2008.

- 7- RAVEN, P.H., EVERT, R.F., EICHHORN, S. Biologia vegetal. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara-Koogan, 2001.
- 8- RICKLEFS, R.E. A economia da natureza. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2010.
- 9- SARKER, S.D., NAHAR, L. Química para estudantes de farmácia. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara-Koogan, 2009.
- 10- SIMÕES, C.M.O. Farmacognosia da planta ao medicamento. 6ª Ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2007.
- 11- TOWNSEND, C.R., BEGON, M., HARPER, J.L. Fundamentos em ecologia. 3ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- 12- ZIMMER, C. O livro de ouro da evolução o triunfo de uma ideia. Rio de Janeiro: Ediouro, 2003.



International Year of  
**CHEMISTRY**  
**2011**

---

QUÍMICA PARA UM MUNDO MELHOR

[www.quimica2011.org.br](http://www.quimica2011.org.br)