

# Metabólitos Secundários Em Plantas

Anne Ligia Dokkedal Bosqueiro\*

- **Resumo:** Os metabólitos secundários são compostos elaborados pelas plantas com função principal de anti - herbívóricos. Assim, substâncias tóxicas a diferentes animais (insetos, pássaros, mamíferos) foram produzidas ao longo da evolução, à medida que estes se adaptavam àqueles. Por outro lado, algumas substâncias, como os flavonóides, constituem uma classe de compostos que contribuem para a atração de polinizadores, por serem responsáveis pela coloração das flores.

Unitermos: metabólitos secundários, herbívoros, contraponto evolutivo, polinização.

---

**Abstract:** Secondary metabolities are produced by plants in order to avoid herbivory. Plant toxins are repellents to different animals (insects, birds, mammals) and were produced through evolutionary processes according to their adaptations for these toxins. On the other hand, some plant chemical compounds, such as flavonoids, are attractive to pollinators for being responsible for the colours of flowers.

**Keywords:** Secondary Metabolities, Herbivores, Pollination

---

## Introdução

Para acompanharmos a variação existente nas plantas, no que diz respeito à produção de metabólitos secundários, vamos nos nortear pelo aspecto da interação planta-herbívoro.

A planta se utiliza da energia solar para converter  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  em moléculas orgânicas, que os animais necessitam para viver. Podemos assim nos perguntar: como existe esta cobertura verde sobre grande parte da área terrestre, apesar do fato de milhões de organismos comerem plantas? Como a terra é tão verde? Será que bactérias, besouros, pássaros e mamíferos são tão limitados por doenças ou predadores que não podem utilizar de todo este suprimento de comida? Ou são as plantas que asseguram sua própria defesa?

---

\* Professora Assistente Doutora do Departamento de Ciências Biológicas da Faculdade de Ciências/UNESP - Bauru

Veremos que as plantas se utilizam de diversas estratégias para proteger suas raízes, caules, folhas e sementes, variando desde a celulose, que dificulta a digestão até exóticos aminoácidos que interferem na formação das proteínas nas células animais. Os animais herbívoros, por sua vez, armam seu contra-ataque, que pode ser desde evitar a planta até produzir digestivos químicos que inutilizem as moléculas vegetais letais. Portanto, as plantas e os herbívoros travam uma luta silenciosa e contínua de adaptação e contra-adaptação (contraponto evolutivo).

As plantas terrestres se originaram a partir de algas verdes, portanto, do ambiente aquático, há cerca de 400 milhões de anos e, provavelmente, não foi por acaso que os animais surgiram na terra logo depois delas. A HERBIVORIA - consumo das plantas pelos animais - evoluiu nos oceanos e lagos antigos e sem dúvida, fez parte da vida terrestre primitiva.

## Arsenal das Plantas

As defesas vegetais incluem;

- Proteção mecânica na superfície da folha
- Impalatabilidade do órgão vegetal
- Toxicidade do órgão vegetal

### Proteção mecânica

É devida a defesas estruturais externas em caules e folhas, as quais desencorajam o ataque dos animais, tanto pequenos (insetos) quanto grandes (mamíferos). Podemos citar como exemplos os espinhos de muitos cactos, que são folhas altamente modificadas, eficientes contra mamíferos; pequenos herbívoros, como insetos, podem ser desencorajados, machucados e até mortos por tricomas; os tricomas geralmente formam um denso emaranhado sobre folhas e caules, com perigosas pontas e ganchos para animais de poucos milímetros. Para algumas plantas, tricomas glandulares combinam defesa química e física, impedindo o ataque, prendendo o inseto e liberando compostos químicos, chamados óleos essenciais. A presença de óleos essenciais em tricomas glandulares é uma indicação de adaptação evolutiva nas plantas; em plantas mais primitivas dentro das angiospermas os óleos essenciais estão presentes em organelas ou células especializadas denominadas de células oleíferas, presentes principalmente em tecidos parenquimáticos de folhas e caules. A subclasse mais primitiva das angiospermas tem a maioria de suas espécies com células oleíferas (*Piper regnelli*). Evolutivamente, a presença destas células se tornou mais escassa e a estrutura de acúmulo de óleo passou para cavidades ou canais secretores, como encontramos em espécies de *Eucalyptus* e *Bauhinia*, numa subclasse considerada mais avançada. Um outro passo evolutivo em relação aos óleos essenciais é seu acúmulo em tricomas glandulares, característicos de famílias bem mais avançadas, como Asteraceae e Lamiaceae. A vantagem do tricoma glandular sobre as outras estruturas é muito grande, graças à sua localização externa aos órgãos vegetais. Assim, o tricoma é o primeiro a entrar em contato com patógenos e herbívoros, impedindo a injúria à planta, tendo assim uma importante vantagem adaptativa, que foi alcançada evolutivamente.

## Impalatabilidade ou Redutores de Digestibilidade

Muitas plantas produzem cristais inorgânicos e outros compostos químicos que tornam as paredes celulares indigestas aos animais, inibem a digestão e por isso são chamados de redutores de digestibilidade. Quanto maior a proporção dos redutores na dieta do herbívoro, menor a nutrição alcançada por ele ao ingerir a planta que o contém.

### Alguns redutores:

- **Celulose e hemicelulose** - são sacarídeos complexos que compreendem de 80-90% do peso seco da maioria das partes das plantas. Omnívoros e carnívoros a digerem parcialmente, mas herbívoros requerem numerosas modificações digestivas, o que dificulta a digestão.
- **Ligninas** - são polímeros fenólicos complexos que enrijecem os tecidos vegetais, ligando-se à celulose e hemicelulose. São responsáveis pelo hábito lenhoso das plantas. As ligninas interferem na digestão por ligar-se a carboidratos e enzimas digestivas no estômago dos animais. Por si só são indigestas. As ligninas são muito importantes como defesas químicas principalmente em plantas de grande porte, onde ela é abundante.
- **Taninos** - como as ligninas, são polifenóis de imensa complexidade. Diferem das ligninas por estarem compartimentalizados ou livres no citoplasma, ao invés de ligados a polissacarídeos. Especialmente importantes como defesa para as plantas são os taninos condensados, que ocorrem em altas concentrações na grande maioria das plantas lenhosas e em muitas ervas. Por se ligar às proteínas os taninos condensados impedem a digestão animal, bloqueando a ação de enzimas digestivas, formando complexos com proteínas foliares (o que torna as folhas indigestas) e interagindo com mucoproteínas salivares, o que produz a sensação de adstringência.

Ruminantes e outros animais que comem grandes quantidades de vegetação rica em taninos geralmente alcançam poucos benefícios nutricionais. Os sintomas mais evidentes deste fato são a redução na taxa de crescimento e a perda de peso.

- **Cristais** - de sílica ou oxalato de cálcio e carbonato de cálcio, são completamente indigestos a animais. As gramíneas em geral acumulam uma quantidade muito grande deste material (sílica) na sua forma cristalina, o que reduz enormemente a digestibilidade de seus tecidos adultos. O papel dos cristais parece ser mais efetivo contra insetos e outros pequenos herbívoros. Exs.: larvas de insetos evitam comer folha de *Vitis* (Vitaceae), devido às suas ráfides; cistólitos (inclusões de carbonato de cálcio) em células epidérmicas dão textura de lixa às folhas de espécies de Moraceae, Urticaceae e Ulmaceae.

## Toxicidade

Normalmente, quando se pensa em plantas tóxicas, se restringe este conceito a plantas venenosas ou perigosas para nós, homens, e nossos animais domésticos. Se assim fosse, um número pequeno de plantas estaria incluído nesta categoria. Entretanto, muitas plantas que não causam qualquer dano para nós podem ser altamente tóxicas para outros grupos de animais - pássaros, peixes e principalmente insetos - e neste sentido amplo, podemos dizer que a toxidez está presente na maioria das plantas.

A toxidez de um composto químico é sempre relativa, dependente da dose utilizada num dado período de tempo, a idade e o estado de saúde do animal e o mecanismo de absorção e excreção. A solanina, por exemplo, que é um tipo de alcalóide, está presente em todas as batatas domésticas, mas a quantidade é tão infinitesimal que raramente causa algum transtorno dietético; o que acontece no caso de uma intoxicação é que a grande quantidade ingerida não permite ao animal desenvolver um mecanismo de desintoxicação em tempo hábil.

Os compostos químicos que podem ser tóxicos para alguns animais podem ou não ter funções metabólicas nas células vegetais. Toxinas com um papel claramente defensivo, mais do que metabólico, são chamados de **metabólitos secundários** ou compostos secundários. Estes compostos são produzidos seletivamente ou estocados em tecidos mais vulneráveis, como gemas em desenvolvimento ou folhas jovens.

A capacidade das plantas de produzir toxinas diversas, muitas vezes específicas para um determinado herbívoro, foi também uma conquista evolutiva. Plantas mais primitivas, como as gimnospermas, com o hábito arbóreo altamente desenvolvido, têm como principais defesas químicas as ligninas, necessárias também à manutenção do porte bem desenvolvido. Os taninos e os cristais também são defesas presentes principalmente em plantas muito lignificadas. O que vai acontecer evolutivamente, é a necessidade de mudanças químicas nas estratégias defensivas a partir das angiospermas. Assim, a produção de ligninas vai sendo gradativamente reduzida, à medida que seus precursores são sendo desviados para a produção de novos metabólitos secundários, atendendo à necessidade de produção de novas defesas. Consequentemente, o hábito arbóreo vai também sendo reduzido ao hábito herbáceo.

Compostos químicos como taninos e cristais, que estão presentes em grandes quantidades nas plantas que os produzem, e só são efetivos como defesas químicas em grande quantidade são chamados de **defesas quantitativas**; são mais comuns em grupos lenhosos e portanto, mais primitivos. Gradativamente, se acompanharmos a evolução das angiospermas, veremos que grupos mais avançados vão perdendo taninos e cristais, à medida que reduzem o seu prote arbóreo, e vão substituindo suas defesas por novos e diversos tipos de compostos secundários, com valor defensivo acentuado por sua toxicidade, amargor, etc., tornando-os altamente valiosos para plantas arbustivas e herbáceas, que têm uma provisão de energia mais restrita. Estas são **defesas qualitativas**, que em pequenas quantidades são efetivas na proteção das plantas. Existe uma quantidade imensa de toxinas qualitativas nas plantas, arranjadas basicamente em toxinas nitrogenadas e não-nitrogenadas.

## Toxinas Nitrogenadas

- *Aa* não protéicos: das várias toxinas baseadas em compostos nitrogenados, são os mais simples. Amplamente distribuídos nas plantas, são considerados como antimetabólitos de um dos vinte *aa* protéicos. Uma vez ingerido, este análogo de *aa* protéico pode ser incorporado na síntese protéica do herbívoro e causar até sua morte, por não poder ter suas propriedades enzimáticas normais. Os *aa* não protéicos são comumente encontrados em muitas sementes de leguminosas, com uma função óbvia de proteção a muitos herbívoros, uma vez que estas sempre são muito grandes e com grande quantidade de nutrientes. A toxina mais disseminada entre os legumes é a canavanina, análoga ao *aa* arginina, muito tóxica a ratos, o que indica sua proteção nas sementes aos mamíferos herbívoros.

- Alcalóides - constituem a classe das toxinas mais familiares nas plantas; têm ação no SNC, inclusive do homem, o que os levou a serem amplamente estudados e atualmente são utilizados na medicina moderna para vários propósitos. Exemplos bem conhecidos são a nicotina ( tabaco), a cafeína (café e chá), a estricnina (árvores tropicais), a cocaína e a morfina.

## Toxinas não nitrogenadas

- Terpenóides - constituem uma classe de compostos com diversas funções. Alguns são universais nas plantas, como o ácido giberélico, hormônio de crescimento; outros são voláteis e aromáticos, usados pelas plantas para atrair polinizadores. Terpenos com função principal de defesa, geralmente são restritos a uma *taxa* vegetal particular, sendo indicativo de respostas evolutivas a herbívoros específicos. Exemplo: o monoterpeno piretróide, presente em espécies de *Crysanthemum* são inseticidas utilizados comercialmente, muito efetivos contra insetos voadores.

## Atração de polinizadores

Pelo que vimos até agora, as plantas desenvolveram ao longo do seu curso evolutivo metabólitos secundários para se defender contra predadores.

Principalmente nas angiospermas, a produção de compostos secundários teve também um outro papel muito importante, que é o de atração de insetos e outros animais, necessários ao seu desenvolvimento, por realizarem a polinização das flores. Quando insetos, morcegos ou pássaros visitam as flores para se alimentar de néctar, geralmente polinizam a flor. Nesta interrelação há três fatores bioquímicos contribuintes:

- cor da flor
- aroma da flor
- valor nutritivo de néctar e pólen

## Papel da cor na flor

Existe uma preferência de cores pelos diferentes polinizadores. As abelhas preferem o que para nós é azul e amarelo. Podem também discernir diferenças na absorção de UV e são sensíveis aos flavonóides, que absorvem intensamente nesta

região do espectro; estes compostos estão presentes em praticamente todas as flores brancas e nas flores com cor, como co-pigmentos. As abelhas são insensíveis à cor vermelha e às vezes são guiadas a flores com esta cor, pela presença de flavonas, que absorvem luz UV, de coloração púrpura. Famílias tipicamente visitadas por abelhas são Lamiaceae (*Salvia*), Fabaceae (leguminosas), Asteraceae (compostas), onde são comuns flores amarelas. Os beija-flores são sensíveis ao vermelho e escarlate. Membros tropicais de Bignoniaceae (ipê, jacarandá-mimoso) e Lamiaceae, com flores vermelhas, laranjas ou amareladas são polinizadas por beija-flores. As outras classes de polinizadores mostram menos sensibilidade à cor da flor: borboletas são atraídas pelas cores vivas; mariposas e vespas, por cores pálidas; besouros e morcegos dependem mais de outros sinais para guiá-los.

#### Base Química da Cor

A cor da flor é devida principalmente à presença de pigmentos localizados em cromoplastos ou vacúolos celulares de tecidos florais. O grupo mais importante de pigmentos florais é o dos flavonóides, que contribuem para as cores ciânicas (laranja, vermelho e azul) e para amarelo e branco. O outro grande grupo é o dos carotenóides, que contribuem para a cor amarela.

Nas cores ciânicas a base química é constituída por uma classe de flavonóides - antocianidina - onde há três pigmentos vegetais: pelargonidina (vermelho-laranja), cianidina (carmim) e delfinidina (azul e púrpura). É muito comum que estes três tipos básicos estejam presentes como misturas, promovendo toda a variação de cores e tons.

A distribuição das cores ciânicas nas angiospermas obedece a um padrão na frequência relativa de delfinidina, pelargonidina e cianidina. Análises realizadas sobre a frequência destes pigmentos mostram que a seleção atuou em duas direções, partindo de cianidina como o tipo básico e mais primitivo. A partir deste pigmento, ocorreram mutações de perda de OH, em habitats tropicais, produzindo cores vermelhas e laranjas, favorecidas por beija-flores e mutações de ganho de OH, nos climas temperados, que produzem as cores azuis, favorecidas por abelhas. Portanto, há evidências de seleção natural de determinadas cores em diferentes ambientes, de acordo com a presença de polinizadores mais ativos.

#### Bibliografia

- Harborne, J.B. 1982. *Introduction to ecological biochemistry*. Academic Press. London. 278pp.
- Harborne, J.B. 1984. *Phytochemical methods*. 2nd. ed. Chapman and Hall. London. 288pp.
- Stace, C.A. 1989. *Plant taxonomy and biosystematics*. 2nd. ed. Edward Arnold. London. 264pp.