

# **BIOLOGIA FLORAL DE PLANTAS CULTIVADAS. ASPECTOS TEÓRICOS DE UM TEMA PRATICAMENTE DESCONHECIDO NO BRASIL**

*Rodolfo Antônio de Figueiredo\**

## **RESUMO**

*Aspectos da biologia floral de plantas cultivadas são praticamente desconhecidos no nosso país. A partir deste, serão comunicados em artigos seriais os resultados inéditos obtidos nos estudos de ecologia reprodutiva, realizados em Jundiaí e região. Neste artigo inicial serão destacados os aspectos básicos do conhecimento sobre biologia floral.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Reprodução Vegetal, Conceitos Ecológicos.*

## **ABSTRACT**

*Aspects of the reproductive ecology of cultivated plants in Brazil is almost unknown. From this it will be communicated, in serial papers, the results obtained from studies on reproductive ecology carried out in Jundiaí and region. On this first communication, the basic concepts of floral biology will be underlined.*

**KEY-WORDS:** *Plant Reproduction, Ecological Concepts.*

---

\* Biólogo, Mestre em Ecologia e Doutor em Ciências, Professor Titular e Coordenador Pedagógico dos cursos de Graduação em Ciências - Habilitação em Biologia e Pós-Graduação em Ecologia e Educação Ambiental da Faculdade de Ciências e Letras Padre Anchieta.

## INTRODUÇÃO

As idéias de como as plantas eram fertilizadas e produziam frutos surgiram na Grécia e nas culturas orientais antigas. Podem ser observadas citações de visitas a flores pelas abelhas e da produção de mel, observadas em livros de Aristóteles e na Bíblia, mas um dos maiores estudiosos de plantas dos tempos antigos foi Teofrasto (373-287 aC), que fez observações detalhadas em algumas flores. A importância da polinização para a produção de sementes, no entanto, somente foi analisada pelo alemão Rudolph Camerarius (1665-1721). Somente no século dezanove o botânico alemão Christian Konrad Sprengel (1750-1816) fez observações sistematizadas sobre insetos visitando flores e descreveu, detalhadamente as flores de cerca de 500 espécies vegetais. Após seu livro “Das entdeckte Geheimniss der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen” (“A Revelação dos Segredos da Natureza na Estrutura e Fertilização das Flores”) publicado em 1793, Sprengel passou a ser considerado o fundador da biologia floral moderna.

Existem vários aspectos importantes para a compreensão da biologia floral, tais como a morfologia, a fenologia, o sistema reprodutivo, a polinização e a fertilização das flores. Os estudos de ecologia reprodutiva são importantes para o aumento da compreensão sobre equilíbrio ecológico existente na natureza, sobre como as plantas evoluíram no planeta e como sobrevivem os animais que utilizam flores, principalmente as abelhas. As interações entre plantas e polinizadores são vitais para a integridade estrutural e funcional dos ecossistemas naturais, assim como para a manutenção ou aumento na produção de alimentos pelo ser humano. Acredita-se que três quartos dos produtos vegetais consumidos pelos seres humanos, assim como noventa por cento das plantas silvestres sejam dependentes da polinização por animais. Além disso, a proteção a espécies silvestres ameaçadas de extinção, a utilização de espécies vegetais em ambientes urbanos e a produção de forrageiras para alimentar animais úteis também são beneficiadas com a compreensão dos conceitos de biologia floral e polinização.

No Brasil, o estudo da biologia floral é muito recente, tendo sido iniciado por pesquisadores estrangeiros que visitavam nosso país, dentro os quais se destacou o professor alemão Stephan Vogel na década de 1950. Nos anos de

1960, o também alemão Gerhard Gottsberger, que trabalhava na Universidade Estadual Paulista, em Botucatu, estudou a polinização de diversas plantas brasileiras antes de voltar para a Alemanha no início da década de 1970. O estudo da biologia floral no nosso país consolidou-se somente a partir dos estudos de Marlies Sazima, professora da Universidade Estadual de Campinas (SP), em meados da década de 1970. Desde então, a professora Sazima, além de estudar a polinização de diversas plantas nativas, orientou a formação de vários pesquisadores na área, dentre os quais está o autor deste artigo.

Os diversos estudos feitos no Brasil já proporcionam uma boa visão dos principais modos de polinização que ocorrem nas plantas silvestres, embora a grande maioria das espécies ainda está por ser estudada. Quanto às plantas cultivadas, poucos são os estudos sobre a sua polinização. Dentre os primeiros estudos está o da polinização da mangueira (*Mangifera indica*), feito no Rio de Janeiro (Lutz, 1926), e o da polinização do café (*Coffea arabica*), feito em Piracicada (Amaral, 1952). Depois destes trabalhos, vieram somente os feitos na década de 1980 com fruteiras da região amazônica por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e de alguns poucos estudos recentes em outras regiões do país (Sazima & Sazima, 1989). Quanto a plantas ornamentais, são disponíveis pouquíssimos trabalhos (Boaventura & Matthes, 1987; Figueiredo, 1991; Pirani & Cortopassi-Laurino, 1993).

No Brasil, apesar da reprodução não ser levada em conta pela maioria dos agricultores, paisagistas e pesquisadores, um melhor conhecimento da ecologia reprodutiva das plantas cultivadas e ornamentais, e o manejo dos polinizadores silvestres e antrópicos, levarão a um aumento de produtividade de diversas culturas e a adaptação de plantas ornamentais nos ambientes antropizados. É responsabilidade de todas as pessoas a proteção e manutenção da delicada relação existente entre as flores e polinizadores, sendo importante para este objetivo o despertar do interesse através de uma compreensão mais profunda da complexidade e da beleza das flores.

## MORFOLOGIA FLORAL

A flor é uma estrutura presente em plantas superiores (angiospermas) com a finalidade de permitir a formação de sementes. No interior das sementes

está o embrião de uma nova planta e a disseminação das sementes produzidas possibilita que novos indivíduos se estabeleçam no ambiente. A flor é um órgão muito complexo, adaptado à reprodução sexual. Reprodução sexual é aquela que origina novos indivíduos (descendentes) através da união de gametas produzidos pelos progenitores. A reprodução sexual é comum em animais, onde o óvulo (gameta feminino) é fecundado pelo espermatozóide (gameta masculino) produzindo o ovo, que se desenvolverá no embrião e, finalmente, no novo indivíduo.

As flores são muito diversas na forma, tamanho e coloração, mas existem algumas estruturas básicas (Raven, Evert & Eichhorn, 1996). Procure ter em mente uma flor ao ler a descrição que se segue, pois assim ficará mais fácil compreender as estruturas florais. Uma flor é formada por um conjunto de pétalas denominado corola. A corola é muito apreciada pelos seres humanos devido serem vistosas e, muitas vezes, emitirem odor agradável. As pétalas podem estar separadas ou fundidas formando um tubo. Abaixo da corola está um conjunto de sépalas, denominado cálice, normalmente verde e com função de proteger as outras partes florais. Tanto o cálice como a corola são conjuntos de folhas especializadas, formadas a partir da multiplicação de tecidos vegetais chamados meristemas. O conjunto de elementos florais formados pelo cálice e pela corola é denominado perianto. Se todos os elementos do perianto são similares na aparência, eles passam a ser denominados tépalas.

Envolvidos pela corola estão os órgãos sexuais da flor: a parte masculina é chamada de androceu e a parte feminina, de gineceu. Também, o androceu e o gineceu são conjuntos de folhas especializadas da planta.

O androceu é constituído por vários estames, cuja finalidade é produzir os grãos de pólen (gametas masculinos). Cada estame é constituído por um filamento denominado filete em cujo ápice se encontram as anteras. Nas anteras são produzidos os grãos de pólen, liberados quando maduros através de uma fenda que se forma na parede. As anteras que apresentam esta fenda são ditas deiscentes.

O gineceu é composto pelo carpelo ou folha carpelar, cuja parede e espaço interior é denominado ovário. Os óvulos (gametas femininos) se desenvolvem no interior do ovário. O número de óvulos encontrados nos

carpelos depende de cada espécie vegetal, podendo ser desde um único até milhares. Partindo do ovário existe um tubo, o estilete, que se alarga na extremidade formando o estigma. É no estigma que o grão de pólen se deposita durante o processo da polinização. O estigma somente admite que o pólen penetre por ele quando os óvulos estão maduros e, então, diz-se que o estigma está receptivo. O estigma receptivo produz substâncias líquidas que auxiliam a adesão dos grãos de pólen e, devido a isto, uma das formas de verificar se a flor está na fase de ser fecundada, é perceber se o estigma está úmido e brilhante. Após a polinização e fecundação o estigma não mais produz substâncias e seca, e mesmo se grãos de pólen se depositarem sobre ele, não mais poderão fecundar os óvulos. O conjunto formado por carpelo, estilete e estigma é denominado pistilo. Na maioria das plantas existem de 3 a 5 carpelos que se unem.

A descrição acima é de uma flor completa, que apresenta todas as partes florais. Mas existem espécies vegetais cujas flores não apresentam, ou têm muito reduzida, uma ou algumas destas partes. As flores do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), por exemplo, tão pequenas e reduzidas que não apresentam cálice ou corola, mas somente gineceu e androceu. As flores das plantas da família Asteraceae (Compositae), como a margarida (*Chrysanthemum leucanthemum*), apresentam flores muito pequenas, reunidas em inflorescências chamadas capítulos, com cálice e corola modificados, sendo as “pétalas” da flor (ou melhor, da inflorescência) formadas por folhas modificadas denominadas brácteas.

A forma das flores pode variar muito, comumente apresentado-se abertas, no formato de um prato, ou tubulares, no formato de um de tubo, sino ou campânula. O tamanho também varia bastante. Existem plantas que produzem flores muito robustas e plantas com flores delicadas. A coloração, como é facilmente observado, também varia muito e mesmo uma única espécie pode apresentar flores de diversas cores.

## **POLINIZAÇÃO E FERTILIZAÇÃO**

As características morfológicas das flores refletem adaptações a diferentes agentes polinizadores. A polinização consiste na saída de grãos de

pólen das anteras e a sua deposição no estigma. A polinização pode ocorrer dentro da mesma flor, sendo chamada de autopolinização. As flores que permanecem com as pétalas fechadas são obrigatoriamente autopolinizadas, onde o pólen sai das anteras e deposita-se sobre o estigma da mesma flor. Na maioria das espécies, no entanto, as pétalas abrem-se quando os órgãos sexuais estão maduros e o estigma pode receber pólen proveniente de flores de outros indivíduos da mesma espécie. Esta polinização é chamada de cruzada. Agentes polinizadores são os responsáveis pela polinização cruzada, e podem ser tanto seres vivos, chamados de agentes bióticos, como vento e água, os agentes abióticos de transporte de pólen.

A polinização é necessária para que possa ocorrer a fertilização do óvulo, cujo desenvolvimento originará o embrião e a semente. O processo da fertilização inicia-se quando o grão de pólen germina formando um tubo, chamado de tubo polínico, que cresce penetrando no estigma e estilete até atingir um dos óvulos do ovário. O tubo entra no óvulo, que é então fecundado, originando o embrião. Além disso, na fecundação forma-se um tecido, o endosperma, que absorve e armazena substâncias nutritivas que servirão para alimentar o embrião. Os envoltórios do óvulo formarão a casca da semente, em cujo interior estarão o embrião e o endosperma, e a parede do ovário se desenvolverá para formar o fruto. Os frutos têm a função de proteger as sementes em desenvolvimento, pois apresentam substâncias que repelem o seu consumo por animais. Quando maduros, os frutos terão importante papel na disseminação das sementes.

## **ATRATIVOS E RECOMPENSAS FLORAIS**

As flores podem se formar isoladas nos ramos ou estarem agrupadas em um mesmo eixo floral formando as inflorescências. O eixo principal da inflorescência é denominado pedúnculo. O agrupamento de muitas flores aumenta a atração de animais polinizadores, apesar de também aumentar a chance de ocorrer autopolinização devido as flores estarem muito próximas.

As flores também têm outros fatores de atração a polinizadores. Normalmente, estes animais obtêm das flores seu alimento, principalmente

pólen e néctar, e têm de se deslocar entre as plantas para conseguir quantidade suficiente de alimento. Assim, as flores oferecem alimento aos polinizadores e obtêm uma retribuição na forma de polinização cruzada, pois os animais carregam o pólen das flores de uma planta para outra. Esta relação de ajuda mútua entre plantas e animais polinizadores é denominada mutualismo.

Os polinizadores geralmente são animais que se locomovem através do voo, tais como insetos, aves e morcegos. A primeira fonte de atração aos animais polinizadores, portanto, não é o alimento, mas a coloração e o odor, que podem ser percebidos à certa distância da flor. O odor funciona como um atrativo de longa distância, enquanto que a cor é um sinalizador de curta distância para o animal polinizador.

As plantas que necessitam de polinização cruzada geralmente têm flores com perianto coloridas, que atraem, além dos polinizadores, seres humanos que se maravilham com sua beleza. Algumas plantas têm coloração de atração nas sépalas, anteras e até em folhas do ramo. As cores são produzidas por pigmentos espalhados nas células, tais como antocianinas que conferem uma cor azul, roxa e vermelha, antoxantinas para as cores amarela, creme e branca, carotenóides para coloração laranja, amarela e vermelha e clorofila em flores de coloração esverdeada.

Os pigmentos nem sempre estão distribuídos uniformemente nos tecidos vegetais e podem formar linhas de coloração mais acentuada nas pétalas. Estas linhas constituem fatores extras de atração a polinizadores e são chamadas de guias de néctar. Também ocorrem nas flores guias formadas por ultra-violeta, uma cor que não conseguimos captar com nossos olhos, mas que abelhas e beija-flores vêem muito bem.

O odor apresentado pelas flores tem a finalidade de atrair animais polinizadores. Os odores são produzidos principalmente pela corola, mas também pelo perianto e anteras. Existem basicamente três tipos de odores. O odor de floralé o mais comum entre as plantas e é produzido por compostos químicos como terpenos e benzenos. Um grupo muito especializado de odor é aquele que imita os ferormônios sexuais de insetos. Ferormônios sexuais são produzidos pelos insetos com a finalidade de atrair parceiros para o encontro sexual. Compostos químicos de algumas flores, tais como hidrocarbonetos alifáticos, álcoois e terpenóides, imitam ferormônios sexuais

e atraem machos de insetos, que ao tentarem copular com a flor como se fosse uma fêmea, promovem a polinização. Um terceiro tipo de odor encontrado em algumas flores é o que imita fezes. Compostos químicos como aminas, amônia e indoles conferem às flores um fator de atração para moscas que se alimentam ou se reproduzem nas fezes de animais. Em várias flores existem marcas de odor, que auxiliam os animais a encontrarem o alimento nas flores, e estas marcas podem ou não coincidir com os guias-de-néctar.

O pólen é uma fonte alimentar para diversos animais, principalmente para abelhas que o utilizam na alimentação de suas larvas. Pólen é rico em proteínas, carboidratos (amido e açúcar) e lipídeos (óleos). Muitas espécies vegetais oferecem somente, ou principalmente, pólen aos polinizadores.

O néctar é uma substância líquida composta por açúcares e aminoácidos dissolvidos em água, produzidas normalmente na base das pétalas e estames. O néctar é uma fonte alimentar para a maioria dos polinizadores, tais como abelhas, borboletas, moscas, aves e morcegos. As abelhas melíferas armazenam o néctar na forma de mel, que é produzido pelas reações químicas que ocorrem no néctar quando está no interior do tubo digestivo das abelhas. Algumas plantas produzem néctar em outras partes que não as flores. Estes locais de produção de néctar são conhecidos por nectários extra-florais. Talvez a principal função do néctar extra-floral é atrair formigas, que por utilizarem esta fonte alimentar, a protegem contra qualquer inseto que pouse ou consuma as folhas da planta. Portanto, os nectários extra-florais normalmente não estão envolvidos na reprodução da planta.

Algumas espécies vegetais não oferecem aos polinizadores pólen ou néctar, mas sim óleo. Existem glândulas e regiões especializadas da flor, denominadas elaióforos, que produzem um óleo coletado pelas abelhas que o utilizam ao invés do néctar. Também foi descoberta uma planta que oferece uma goma adocicada, muito apreciada por aves.

Finalmente, existem plantas que não oferecem qualquer recompensa ao polinizador. As flores destas plantas permanecem abertas por longo período de tempo e, eventualmente, um inseto ainda jovem e inexperiente pousa por poucos segundos à procura de alimento, tempo suficiente para que o pólen fique aderido ao animal. As flores destas plantas que enganam os polinizadores geralmente são parecidas na coloração ou na forma com flores de outras

espécies vegetais que ocorrem na mesma área e que oferecem recompensas aos polinizadores.

A morfologia das partes florais e do corpo dos polinizadores são mutuamente complementares, de tal forma que o animal consegue facilmente coletar seu alimento na flor e, ao mesmo tempo, contactar os órgãos sexuais para realizar a polinização cruzada. Existem animais que coletam as recompensas produzidas pelas flores, mas não realizam a polinização por não tocarem as anteras e os estigmas. Estes visitantes florais são denominados pilhadores. É comum serem vistos orifícios na base das flores, indicativo de que um pilhador construiu um atalho para coletar o néctar.

## FENOLOGIA

Fenologia é o estudo da ocorrência de eventos repetitivos verificados nos seres vivos ao longo de um determinado período de tempo. A fenologia de vegetais procura determinar as suas épocas de estabelecimento, de crescimento e de reprodução. No âmbito do presente artigo serão vistos apenas os padrões de interesse à reprodução vegetal.

As espécies vegetais produzem suas flores em um padrão determinado por fatores internos (genéticos). Algumas plantas florescem somente uma vez por ano e, nesta época, todos os indivíduos da população daquela determinada espécie estão com flores. É comum, por exemplo, observarmos todas as árvores da quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) produzirem flores entre o carnaval e a páscoa. Esta floração em massa é um fator de grande atratividade aos animais polinizadores, aumentando as chances de polinização cruzada.

Quando a floração se estende por alguns meses, quatro no máximo, o padrão fenológico é denominado sazonal ou cornucópia, pois na maioria das vezes ocorre ao longo de uma das estações do ano. Se a espécie vegetal floresce todo ano, diz-se que ela apresenta um ciclo anual, como o exemplo dado no gráfico. Porém, existem espécies que têm menos de uma floração por ano, apresentando um ciclo supra-anual. Algumas espécies vegetais, ao contrário, apresentam vários episódios de floração ao longo do ano, também chamados de pulsos de floração, apresentando um ciclo sub-anual.

Existem espécies vegetais com floração contínua, cujas populações apresentam indivíduos sempre floridos ou com um sucessão de floração entre os indivíduos. Mesmo que não ocorra floração na população por um ou, no máximo, dois meses, ainda se caracteriza a floração como contínua. Se houver um período vegetativo maior de dois meses fala-se em fenologia anual do tipo longa. A floração contínua é muitas vezes relacionada à manutenção do animal polinizador na área de ocorrência da planta, que trata de fornecer alimento ao longo de todo o ano. Os animais polinizadores podem conseguir seu alimento de diversas espécies vegetais ao longo do ano, em cada época sendo utilizada uma ou algumas espécies que estão florescendo. Porém, um determinado grupo de espécies vegetais pode apresentar uma floração sequencial, de tal forma que o animal polinizador permaneça na área em que estas espécies ocorrem. Estas plantas são denominadas mutualistas efetivas.

Os fatores genéticos são importantes para determinar o padrão fenológico da espécie vegetal, mas também fatores ambientais podem afetar a fenologia das plantas. Aspectos climáticos como temperatura, precipitação (chuvas), comprimento do dia e características do solo, tais como quantidade e qualidade de nutrientes, podem influenciar a formação das flores e, portanto, as épocas de floração. A maior ou menor abundância de animais polinizadores em determinadas épocas do ano também influenciam a floração, pois uma espécie vegetal que necessita de polinização cruzada precisa de quantidade suficiente de polinizadores para a sua reprodução.

A floração em um indivíduo apresenta-se segundo uma seqüência de estádios fenológicos, assim definidos: *a*: botões florais pequenos com pétalas ainda não visíveis; *b*: botões florais maiores, com pétalas visíveis mas não distendidas; *c*: flor se abrindo; *d*: flor aberta (em antese); *d*<sub>1</sub>: antes da exposição do pólen; *d*<sub>2</sub>: expondo pólen; *d*<sub>3</sub>: após a exposição do pólen; e *e*: flor murchando. Do ponto de vista quantitativo os estádios fenológicos são: A: antes da floração; B: início de floração (definido como o indivíduo apresentando até 25% das flores abertas); C: antes do pico de floração (25-50% das flores abertas); D: pico de floração (mais de 50% das flores abertas); E: após o pico de floração (menos de 50% das flores abertas); F: próximo ao término da floração (menos de 10% das flores abertas); e G: final de floração (não tem mais flores).

## SISTEMA REPRODUTIVO

O sistema de reprodução refere-se a como se dá o cruzamento entre os indivíduos de uma população de determinada espécie vegetal, refletindo a capacidade que têm os óvulos de serem fecundados por pólen da mesma flor ou do mesmo indivíduo (Richards, 1996). A transferência do pólen pode se dar dentro da mesma flor, sendo denominada autogamia, ou entre diferentes flores, alogamia. Se as flores pertencerem ao mesmo indivíduo, a transferência do pólen ocorre por geitonogamia, mas se as flores forem de plantas diferentes, ocorre a xenogamia.

A ocorrência da autopolinização é comum, mesmo que em baixa frequência, em todas as plantas, mas o grão de pólen pode não fecundar o óvulo. As plantas que não podem ser fecundadas por pólen produzido por elas mesmas apresentam autoincompatibilidade e têm a obrigatoriedade da ocorrência de polinização cruzada para produzirem sementes. A autoincompatibilidade ocorre devido informações que o grão de pólen está carregando (chamados de alelos S) serem iguais às informações presentes no gineceu da planta, o que leva a reações fisiológicas que bloqueiam o crescimento do tubo polínico no estigma ou no estilete. Estas informações podem estar presentes no envoltório ou no interior (núcleo) do grão de pólen, sendo que no primeiro caso a autoincompatibilidade é denominada esporofítica e, no segundo, gametofítica.

Se houver fertilização através de gametas provenientes da mesma flor ou de flores do mesmo indivíduo, diz-se que a planta é autocompatível. A autofertilização leva a produção de descendentes iguais à planta que produziu os gametas. Se a planta-mãe estiver bem adaptada ao ambiente, e este não sofrer alterações com o passar do tempo, é vantajoso para a espécie vegetal ter descendentes iguais à mãe, pois eles já nascerão adaptados ao ambiente. A fertilização proveniente da polinização cruzada produz descendentes diferentes dos progenitores, pois o embrião tem uma mãe, que passou suas características através do óvulo, e um pai, que teve suas características transportadas pelo grão de pólen. A vantagem da fertilização cruzada, portanto, é aumentar a variabilidade de características dentro da espécie vegetal, o

que possibilita uma melhor adaptação das futuras gerações da planta em ambientes que se modificam constantemente. Também foi verificado que a polinização cruzada possibilita uma maior resistência da planta a pragas e doenças.

As plantas apresentam dois mecanismos que aumentam a possibilidade de polinização cruzada, que são as separações temporal e espacial dos órgãos sexuais. No primeiro caso, denominado dicogamia, o estigma pode ficar receptivo antes das anteras exporem o pólen, condição dita protoginia. Em outras plantas ocorre o contrário, ou seja, o pólen é liberado antes da receptividade estigmática, condição chamada de protandria. A dicogamia possibilita que o estigma da flor não receba o pólen dela mesma. Um outro mecanismo que aumenta as chances da polinização cruzada é a hercogamia, ou seja, a separação espacial das anteras e do estigma na flor.

Tanto dicogamia como hercogamia são eficazes para impedir a autopolinização. Mas, se a planta possuir diversas flores abertas ao mesmo tempo, não poderão prevenir a polinização de uma flor com o pólen proveniente das outras flores do mesmo indivíduo (geitonogamia).

As plantas que apresentam androceu e gineceu na mesma flor são denominadas hermafroditas ou bissexuais. A maioria das plantas têm flores hermafroditas, mas existem espécies vegetais que têm o androceu e o gineceu em flores separadas, forçando a ocorrência de polinização cruzada ou de geitonogamia. Nestas plantas, as flores masculinas são chamadas de estaminadas e as flores femininas de pistiladas. Se as flores estaminadas e pistiladas estão na mesma planta, diz-se que a espécie vegetal é monóica. A completa separação dos órgãos sexuais em indivíduos machos e fêmeas é denominada dioícia. Podem ocorrer algumas variações dos temas monoícia e dioícia, tais como: andromonoícia, nome dado quando ocorre flores hermafroditas e estaminadas na mesma planta; ginomonoícia, a ocorrência de flores hermafroditas e pistiladas; ginodioícia, a ocorrência de plantas com flores hermafroditas e plantas com flores pistiladas; e a raríssima androdioícia, característica de espécies vegetais que apresentam indivíduos com flores hermafroditas e indivíduos com flores masculinas.

Em vegetais, além da reprodução sexual, existe a multiplicação vegetativa, que não envolve polinização e fertilização. A reprodução assexual,

também chamada de apomixia, ocorre em grande parte das espécies vegetais, mesmo nas que se reproduzem sexuadamente, e pode ser dividida em duas classes: a reprodução vegetativa e a agamospermia.

A reprodução vegetativa é um processo no qual partes da planta se destacam e se tornam independentes, formando clones. Ela pode ocorrer através de diversas formas, tais como: estolões, que são ramos que partem da planta-mãe e enraizam a uma certa distância; rizomas, que são semelhantes a estolões, só que subterrâneos e com menos probabilidade de fragmentação; brotos em raízes, que se desenvolvem em novas plantas quando a raiz é seccionada; bulbilho, que é um broto pequeno que se forma na parte vegetativa ou reprodutiva da planta; e proliferação ou falsa viviparidade, onde um meristema que normalmente se desenvolveria como flor ao invés se desenvolve como um broto vegetativo com raízes (obs.: é chamada de viviparidade a germinação das sementes quando estas ainda estão nos frutos presos à planta-mãe). Ramos e folhas que se separam da planta também podem enraizar e formar novas plantas.

A agamospermia é a produção de sementes férteis, ou seja, com embrião, sem fertilização do óvulo. A formação de frutos sem sementes também é possível, sendo conhecida por partenocarpia.

## **SÍNDROMES DE POLINIZAÇÃO**

As plantas xenógamas dependem de agentes externos à flor para transportarem o pólen. Estes agentes podem ser abióticos ou bióticos. Dentre os agentes abióticos destacam-se o vento e a água e dentre os bióticos, os insetos, aves e mamíferos. As flores desenvolveram, ao longo de sua evolução, particularidades na sua estrutura para melhor adaptação a diferentes agentes polinizadores. O conjunto de tais características é denominado síndrome de polinização (Faegri & van der Pijl, 1979).

O vento é o principal agente abiótico de transporte de pólen. A polinização pelo vento é denominada anemofilia. As plantas anemófilas geralmente apresentam características que permitem uma maior eficácia do vento como agente transportador de pólen. Tendo em mente o pendão floral

de um capim será imaginar algumas características da síndrome da anemofilia. As flores são reduzidas, ou seja, não apresentam perianto desenvolvido, pois o mesmo seria um empecilho para o pólen ser carregado pelo vento e, geralmente, estão agrupadas em inflorescências. Os filetes dos estames são longos e pendentes, que permitem às anteras balançarem-se ao vento, liberando o pólen. Como o pólen é espalhado ao acaso pelo ambiente, as plantas anemófilas produzem grande quantidade de grãos de pólen, o que aumenta a possibilidade de alguns alcançarem flores de um indivíduo da mesma espécie. Os grãos de pólen são muito pequenos e pulverulentos (ou seja, secos), dispersos separadamente ou em duplas e trios. Os estigmas também apresentam adaptações para maximizar a recepção do pólen, apresentando-se plumosos e com ampla superfície. As espécies anemófilas produzem um pequeno número de óvulos, geralmente apenas um por flor. A anemofilia é considerada um tipo de polinização pouco eficaz, uma vez que o pólen é carregado pelo vento de maneira errática e na floresta haver diversos obstáculos para impactação do pólen, tais como troncos de árvores, galhos e folhas. Grande parte das espécies vegetais anemófilas com flores hermafroditas apresentam dicogamia e/ou hercogamia, ou são dióicas, a fim de aumentar as chances de polinização cruzada.

A água como agente de transporte de pólen é importante em algumas poucas espécies vegetais, como na elódea (*Elodea* sp.), planta comumente encontrada adornando aquários. As plantas aquáticas, apesar de parecer o contrário, são na sua grande maioria polinizadas pelo vento ou por insetos. A síndrome da hidrofília, ou seja, da polinização pela água, inclui adaptações para o pólen ser transportado tanto na superfície da água (epihidrofília) como submerso (hipohidrofília). O pólen pode flutuar na superfície da água até encontrar o estigma ou, quando submerso, ser alongado e disperso em massas gelatinosas. Os estigmas são rígidos e alongados. O perianto da maioria das flores hidrofílicas é muito reduzido, ou ausente, e esverdeado.

Acredita-se que as plantas com flores (angiospermas) surgiram há cerca de 120 milhões de anos e já estavam adaptadas à polinização por insetos (Proctor, Yeo & Lack, 1996). Os primeiros polinizadores possivelmente foram besouros, moscas e vespas pouco especializadas. Com a evolução das plantas surgiram flores com morfologia mais especializada, que eram polinizadas por

besouros, moscas, borboletas e abelhas. As abelhas, particularmente, apresentaram uma grande expansão sobre a face da Terra após sua adaptação à coleta de alimentos nas flores. Os insetos percebem muito bem as formas, cores e odores das flores, sendo atraídos de forma diferenciada por diferentes tipos florais. O vento e os animais vertebrados (aves e mamíferos, principalmente) também são agentes mais recentes de transporte de pólen.

Um dos primeiros grupos de insetos a visitarem flores foram os besouros (Coleoptera). Os besouros visitam flores para se alimentarem de pólen e néctar e, muitas vezes, de outras partes florais (como o perianto). Apesar de serem encontrados nas flores de grande número de espécies vegetais, sua importância na polinização se restringe àquelas espécies com flores especializadas. A polinização por besouros recebe o nome de cantarofilia, e esta síndrome pressupõe flores resistentes que produzem odor. Os besouros são atraídos principalmente pelo odor produzido pelas flores e, em muitos casos, pelo calor que advém de reações químicas que ocorrem nestas flores.

As moscas (Diptera) são muito frequentemente encontradas nas flores, coletando pólen e néctar. Polinizam eficazmente diversas espécies vegetais, embora sejam consideradas visitantes florais inconstantes. As plantas que apresentam a síndrome da miofilia produzem flores claras, dispostas em inflorescências, com odor adocicado e que produzem néctar e abundante pólen. Em algumas espécies miofílicas o pólen está aglutinado através de uma substância oleosa (“pollenkitt”), aumentando a aderência do pólen ao corpo da mosca. Mas, em outras espécies, o pólen é pulverulento e mesmo assim é encontrado em diversas partes do corpo das moscas visitantes. As moscas são atraídas tanto pelo odor como pela cor das flores, utilizando o néctar e o pólen coletados na alimentação. Algumas destas plantas possuem flores tubulosas que são visitadas por moscas de língua (probóscide) longa. As moscas mais especializadas em visitas florais pertencem à família Bombyliidae, sendo muito parecidas a mamangavas (abelhas grandes, negras e com muitos pêlos). Porém, as mais importantes polinizadoras são moscas da família Syrphidae. Nesta família estão dípteros que podem permanecer parados no ar, adejando as flores assim como fazem os beija-flores, e cujo corpo lembra muito o de abelhas e vespas. Algumas plantas, como a papo-de-perú (*Aristolochia* spp.), apresentam flores especializadas para visitas por moscas

que utilizam fezes na alimentação ou na colocação de ovos. Estas flores apresentam coloração marrom ou arroxeada, formas que lembram excrementos e odor de fezes ou carniça, atraindo grande quantidade de moscas e caracterizando a síndrome da sapromiiofilia. Algumas destas plantas realmente provêm às moscas um local para ovipostura ou alimentação, mas outras simplesmente estão enganando as moscas visitantes (polinização por engodo ou decepção: “deceit pollination”).

Um grande grupo de visitantes florais é composto por borboletas (Lepidoptera, Rhopalocera) e mariposas (Lepidoptera, Heterocera). A grande maioria das espécies se alimenta de néctar, utilizando sua longa probóscide (língua), mas algumas espécies também consomem pólen. As flores que apresentam a síndrome da psicofilia, ou seja, polinização por borboletas, abrem-se durante o dia (antese diurna), apresentam perfume levemente adocicado, coloração vermelha, rosa ou azul, e são tubulares, com o néctar sendo oferecido no final do tubo da corola. A síndrome apresentada por flores polinizadas por mariposas é semelhante à psicofilia, mas apresenta algumas particularidades. As flores polinizadas por mariposas de forma geral, síndrome da falenofilia, e por mariposas da família Sphingidae, síndrome da esfingofilia, apresentam-se tubulares, geralmente cremes, abrem-se a noite, têm odor adocicado muito forte e que produzem muito néctar. A maioria dos esfingídeos tomam o néctar sem pousar nas flores, pois suas asas batem tão rapidamente que são capazes de adejar defronte a flor.

As abelhas (Hymenoptera) são, sem sombra de dúvida, os grandes visitantes florais e polinizam a maioria das espécies vegetais. Esses insetos se alimentam principalmente de néctar e suas larvas se alimentam de uma mistura de pólen e néctar convertido em mel. As abelhas formam um grupo bem diverso e as características florais da síndrome da melitofilia aplicam-se principalmente aos polinizadores relacionados à família Apidae. São características da síndrome: flores claras, amarelas, azuis ou arroxeadas, pétalas com guias de néctar e no formato de pataforma de pouso, leve odor adocicado, podendo ter morfologia muito variada, desde achatadas até tubulares. O néctar é o recurso mais comumente apresentado pelas flores melitófilas. Existem flores que não produzem néctar e o pólen presente em anteras tubulares são coletados por abelhas especializadas que vibram o tórax

fazendo com que saia da antera uma nuvem de pólen. Este tipo especial de polinização foi denominado polinização por vibração (“buzz pollination”). Abelhas de diferentes famílias apresentam pêlos nas pernas que raspam o pólen das anteras, coletando-o e armazenando-o em estruturas das tíbias das pernas posteriores denominadas corbículas. A abelha melífera (*Apis mellifera*) acondiciona o pólen na corbícula após acrescentar néctar ou mel, formando uma pelota amarela facilmente visível nas pernas destas ativas visitantes florais. As mamangavas (*Bombus* spp.) que, assim como a abelha melífera estão na família Apidae, são grandes, geralmente marrons ou negras, muito pilosas, e também apresentam corbícula. Abelhas muito semelhantes às espécies de *Bombus* são também popularmente denominadas mamangavas, mas pertencem a diversas famílias, tais como Anthophoridae (*Xylocopa* spp. e *Exomalopsis* spp., por exemplo) e Andrenidae (*Oxaea* spp., por exemplo). Estas abelhas não possuem corbícula, mas sim um tufo de pêlos no terceiro par de pernas, denominado escopa, no qual armazenam o pólen coletado. Outras abelhas Apidae importantes como visitantes florais são as sem ferrão (Meliponinae). Entre elas estão as irapuás (*Trigona spinipes*, por exemplo), a jataí (*Tetragonisca angustula*), a mirim (*Plebeia droryana*), a iraiá (*Nannotrigona testaceicornis*), a mandaçaia (*Melipona quadrifasciata*), a tiúba (*Melipona compressipes*) e a uruçu do Nordeste (*Melipona scutellaris*). Estas abelhas silvestres, além do serviço prestado à natureza na polinização das flores, são criadas por seres humanos para produção de seu excelente mel. Outros grupos importantes de abelhas polinizadoras são as Megachilidae, que apresentam grande quantidade de pêlos em toda a parte inferior do abdômen responsáveis por coletar e armazenar pólen, as Halictidae, geralmente pequenas e de coloração metálica e as Colletidae, abelhas pequenas e adaptadas polinização de diversas plantas melitófilas.

As flores melitófilas produzem odores como atrativos. Certas abelhas, como as do grupo Euglossinae, conhecidas por sua coloração metálica muito bonita, utilizam as substâncias químicas odoríferas, ainda na forma líquida, como recompensa à visita floral. Estas abelhas processam as substâncias coletadas para formularem seu próprio ferormônio sexual, com o qual atraem as fêmeas da espécie. Algumas espécies de orquídeas emitem um odor muito parecido ao ferormônio exalado pelas fêmeas de certas espécies de abelhas, apresentando inclusive morfologia semelhante ao inseto. Os machos, quando

tentam copular com a flor que lhes parece ser uma fêmea de sua espécie, pode realizar a polinização cruzada. Assim como ocorre com moscas, as abelhas também podem ser enganadas por plantas que produzem flores sem qualquer recompensa.

Outros himenópteros também visitam flores, tais como vespas e formigas. Estes grupos, no entanto, parecem ter reduzida importância na polinização da maioria das plantas que visitam. As flores visitadas por vespas geralmente são levemente escuras (marrons), tubulares, têm pólen e néctar acessível. As figueiras, no entanto, constituem uma exceção, pois são polinizadas por vespas altamente especializadas (*Pegoscapus* spp.).

Os beija-flores (Trochilidae) são as aves cujo papel na polinização é mais relevante, embora aves como o cebinho (*Coereba flaveola*) também podem atuar como polinizadores. As aves visitam as flores principalmente para obter néctar mas, eventualmente, também capturam insetos. As flores que apresentam polinização por aves, a síndrome da ornitofilia, geralmente são tubulares, vermelhas, alaranjadas, amarelas ou brancas, algumas com guias em ultra-violeta, sem odor e com néctar abundante. Os beija-flores realizam a maior parte das visitas adejando defronte as flores e o pólen é depositado no seu bico ou na cabeça. Algumas aves, no entanto, pousam no ramo ou no pedúnculo da inflorescência para visitá-la.

Os principais mamíferos polinizadores são os morcegos (Chiroptera). As flores que apresentam a síndrome da quiropterofilia abrem à noite ou no final da tarde, são robustas, produzem grande quantidade de néctar, têm coloração clara ou branca, liberam odor forte e desagradável e geralmente liberam grande quantidade de pólen através de dezenas de estames. O pólen é depositado em diferentes partes do corpo dos morcegos, principalmente pescoço, peito e asas. A maioria dos morcegos visitam as flores em poucos segundos, normalmente entrando na flor. Alguns, no entanto, podem adejar defronte a flor para tomar o néctar com a língua. Os morcegos visitam as flores solitários ou em grupos que fazem a rota alimentar ao longo da noite.

Algumas plantas apresentam flores com características intermediárias entre as síndromes da ornitofilia e da quiropterofilia, e suas flores produzem néctar durante o dia e à noite e são polinizadas por beija-flores e morcegos. Além dos morcegos, alguns outros mamíferos podem, eventualmente, atuar

como polinizadores, tais como gambás e macacos.

## CONCLUSÃO

A biologia floral apresenta-se como campo de estudo altamente atraente para testar hipóteses pertinentes tanto à ecologia como à evolução das populações. Apesar de estimulante, fornecendo elementos teóricos aos pesquisadores e de ordem prática à população, a biologia floral continua carecendo de um número maior de pesquisadores. O tema receberá atenção nos artigos desta série, que versarão sobre a investigação de determinadas espécies vegetais quanto à abordagem teórica apresentada neste artigo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, E. (1952). Ensaio sobre a influência de *Apis mellifera* L. na polinização do café (nota prévia). *Boletim da ESALQ*, 9, 1-6.
- BOAVENTURA, Y. M. S. & MATTHES, L. A. F. (1987). Aspectos da biologia da reprodução em plantas ornamentais cultivadas no Estado de São Paulo. I - *Dichorisandra thyrsiflora* Mikan (Commelinaceae). *Acta Botanica Brasilica*, 1, 189- 199.
- FAEGRI, K. & L. van der PIJL. (1979). *The principles of pollination ecology*. Oxford: Pergamon Press.
- FIGUEIREDO, R. A. de. (1991). Espécie-especificidade das vespas de figo: um estudo com figueiras exóticas. *Ciência e Natura*, 13, 117-121.
- LUTZ, B. 1926. Estudos sobre a biologia floral da *Mangifera indica* L. *Archivos do Museu Nacional*, 26, 1-38.
- PIRANI, J. R. & CORTOPASSI-LAURINO, M. (1993). *Flores e abelhas em São Paulo*. São Paulo: EDUSP.

- PROCTOR, M., YEO, P & LACK, A. (1996). *The natural history of pollination*. London: Harper Collins Publishers.
- RAVEN, P. H., EVERT, R. F & EICHHORN, S. E. (1996). *Biologia vegetal*. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan.
- RICHARDS, A. J. (1996). *Plant breeding systems*. London: George Allen & Unwin.
- SAZIMA, I. & SAZIMA, M. (1989). Mamangavas e irapuás (Apoidea): visitas, interações e conseqüências para a polinização do maracujá (Passifloraceae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 33, 109-118.