

## FECUNDAÇÃO

A fecundação nas angiospermas se processa em três fases:

**Polinização:** transporte do grão de pólen da antera ao estigma da flor.

**Formação do tubo polínico:** ou germinação do grão de pólen (microgametogênese).

**Fecundação propriamente dita:** fusão dos gametas masculino (núcleo espermático) e feminino (oosfera), processo também denominado de singamia.

### Polinização

É o processo de transferência do pólen do órgão masculino (antera) ao órgão feminino (estigma) da flor que resulta na fertilização do óvulo e, conseqüentemente, no desenvolvimento do fruto e da semente.

### Tipos de Polinização

**Autopolinização:** é o processo de polinização que ocorre em uma mesma flor.

**Polinização cruzada:** processo de polinização que ocorre entre flores diferentes.

Se as flores diferentes estiverem numa mesma planta, falamos em *geitonogamia*, mas se estiverem em plantas separadas, falamos em *xenogamia*, e em flores que nunca se abrem pode ocorrer autopolinização forçada ou *cleistogamia*.

Nas Angiospermas existe uma tendência ao desenvolvimento de mecanismos morfológicos ou fisiológicos visando o impedimento da autogamia e a posterior autofecundação. Esses mecanismos são:

**Auto-esterilidade:** ocorre quando a fecundação de um indivíduo com o seu próprio grão de pólen (ou grão de pólen de indivíduo genotipicamente semelhante) não resulta na formação de sementes. A auto-esterilidade é determinada pela presença de genes auto-estéreis. Em muitas espécies, o crescimento do tubo polínico é inibido (em alguns casos aparentemente pela inativação de substâncias de crescimento, em outros pela presença de um inibidor específico do tubo polínico) quando o tecido do estigma e o pólen contem o mesmo

alelo. Exemplo: muitas variedades de centeio (*Secale* sp. - Poaceae).

**Heteromorfia ou heterostilia:** é a presença na mesma população de flores de mais de um tipo morfológico, ou seja, nessas flores ocorrem tamanhos diferentes de estames e estiletos, além de diferença no tamanho e ornamentação do pólen, e das papilas estigmáticas. Tal fenômeno é denominado *distilia*, quando ocorrem dois tipos de flores (brevistilas e longistilas), ou *tristilia* quando ocorrem três tipos de flores (brevistilas, medistilas e longistilas). Para ocorrer a formação de sementes nessas plantas deve haver polinização *alógama* e existir uma associação correta entre o tipo de pólen e de estigma. A *tristilia* ocorre em apenas três famílias: Lythraceae - Oxalidaceae e Pontederiaceae.

**Dicogamia:** quando em uma flor monoclina ocorre a liberação do pólen concomitantemente à maturação do estigma, falamos em *homogamia*. Este processo é inverso ao da *dicogamia*, onde há separação no tempo das funções de liberação do pólen e receptividade do estigma da mesma flor. Esse último processo inclui a *protandria* e a *protoginia*. Na *protandria* o pólen é disponível antes que o estigma esteja receptivo. Esta condição é muito comum em Asteraceae, Campanulaceae, Lamiaceae e Fabaceae. Na *protoginia*, o gineceu amadurece antes do androceu. Esse fenômeno tem menor freqüência que a protandria e ocorre especialmente em algumas espécies de Aristolochiaceae, Plantaginaceae, Brassicaceae e Rosaceae. Na dicogamia a flor é morfológicamente monoclina, porém funcionalmente díclinas.

**Hercogamia:** ocorre quando o arranjo espacial das anteras e do estigma impede a autopolinização. O exemplo clássico é encontrado entre as Iridáceas, que apresentam estigmas petalóides recobrando os estames. Quando o agente polinizador visita a flor, à procura do recurso, toca no lobo-fértil do estigma provocando sua abertura, e deixa aí depositado o pólen de outra flor que eventualmente estiver em alguma parte de seu corpo. Na saída, carregando agora o pólen da própria flor, empurra o lobo fértil que ficara aberto, de maneira a evitar a autopolinização.

### Fatores que favorecem a autogamia

A dicogamia e a hercogamia são processos que permitem a geitonogamia e a xenogamia, mas excluem,

em grande escala, a autogamia. No entanto, existem plantas nas quais a autopolinização é obrigatória. É o caso de flores que só se abrem depois de polinizadas e estas flores são chamadas de *cleistógamas* (fenômeno de cleistogamia). Como exemplo, podemos citar espécies do beijo-pintado (*Impatiens hawkeri* - Balsaminaceae) e de trevo-amarelo (*Oxalis vulcanicola* - Oxalidaceae).

Há flores que são autóginas em virtude de características apresentadas pelo estigma, pelos estames ou por outras partes da flor. Assim, há flores nas quais os filetes se curvam de maneira que o estigma receba grãos de pólen da mesma flor. Exemplo: gerânio-silvestre (*Geranium maculatum* - Geraniaceae). Em algumas Asteraceae ou Campanulaceae, o estigma volta-se para baixo, alcançando os grãos de pólen que foram arrastados durante a saída do estilete através do tubo formado pelas anteras soldadas.

Podem ser reconhecidos dois vetores ou agentes de polinização: *polinização abiótica* e *polinização biótica*.

**POLINIZAÇÃO ABIÓTICA:** é aquela realizada por meio do vento e da água.

**Anemofilia:** é a polinização realizada pelo vento e é o tipo dominante de polinização abiótica. Ocorre em Gimnospermas e em várias famílias de Angiospermas, especialmente em Poaceae e Cyperaceae. As flores polinizadas pelo vento normalmente apresentam as seguintes características típicas da anemofilia:

**a)** flores unissexuais, que se apresentam desenvolvidas nas espécies caducifólias, antes que as folhas se desenvolvam ou que se destacam da massa de folhas;

**b)** perianto insignificante ou ausente;

**c)** brácteas e perianto quando presentes, geralmente verdes ou castanhos-escuros a avermelhados, estando essa coloração talvez relacionada com as condições de temperatura para abertura da flor;

**d)** odor geralmente ausente;

**e)** anteras expostas, geralmente com longos filetes flexíveis;

**f)** estigmas expostos, geralmente com superfície receptiva bastante ampla, pilosa;

**g)** grão de pólen pequeno, liso, seco, produzido em grande quantidade;

**h)** redução no número de óvulos.

**Hidrofilia:** é a polinização realizada pela água. A polinização pela água pode ocorrer na superfície da água ou dentro desta. Na polinização que ocorre na superfície, geralmente o pólen é liberado na água e flutua até atingir o estigma que está exposto como, por exemplo, em Ruppia, Callitriche, Vallisneria, Lemna e Elodea. A ocorrência de polinização dentro da água é registrada para poucas plantas como, por exemplo, em Najas, Halophila e Zostera. Nesses casos, geralmente o grão de pólen é longo, de parede celulósica e se enrosca nos estigmas, havendo um rápido crescimento do tubo polínico.

**POLINIZAÇÃO BIÓTICA** é aquela realizada por animais – *Zoofilia*.

As plantas utilizam diferentes tipos de animais, tais como *insetos, aves e mamíferos* para o transporte do pólen. Esses animais, por outro lado, desenvolveram estruturas eficientes para a extração e utilização das recompensas oferecidas pelas flores (recursos florais).

Um atrativo floral para ser eficiente deve iniciar no visitante uma reação em cadeia que está ligada aos três sistemas principais de instintos: *alimentar, sexual e criação do ninho*. Os atrativos podem ser visuais (cor, forma, tamanho) ou olfativos (odor) e os recursos florais incluem: pólen, néctar, óleo, resina, tecido alimentar, abrigo e local para acasalar.

**Atração visual:** os dois meios de atração visual para os polinizadores são *cor, forma e tamanho da corola*. Nas flores anemófilas, a corola perde essa função, sendo geralmente ausente ou muito reduzida. A cor das flores tem sido estudada do ponto de vista fisiológico e de composição química. Muitos pigmentos vegetais têm um papel bem estabelecido no fornecimento de cores atraentes nas flores para animais específicos, a fim de promover a polinização podendo, ainda, auxiliar na dispersão dos frutos e sementes.

Existe uma correspondência relativamente grande entre certas classes de cores e de polinizadores. Por exemplo, os beija-flores (Trochilidae) preferem flores de cores laranja ou vermelha. Os pássaros têm visão pobre e embora percebam uma variação espectral similar à dos humanos, não distinguem bem o amarelo, azul e púrpura, porém distinguem bem cores de comprimento de onda longo como o vermelho. As abelhas, por outro lado, geralmente visitam flores com cores de

comprimentos de onda que correspondem à metade do espectro visual humano, isto é, do amarelo ao azul.

Algumas pétalas após a antese ficam com cores mais claras ou até mudam de tonalidade, como por exemplo, em algumas Malpighiaceae e Boraginaceae. Outras flores apresentam a corola com mais de uma cor em determinadas regiões da corola, tais variações funcionam geralmente como guias de néctar.

A forma da corola está muito associada ao tipo de polinizador. De um modo geral, as flores actinomorfas e abertas são visitadas por uma gama maior de polinizadores do que as flores tubulosas e/ou zigomorfas. Além disso, existem casos especiais onde a forma da corola serve como um atrativo sexual. *Ophryx speculum*, uma espécie de Orchidaceae, apresenta a corola muito similar na forma e coloração à fêmea de um hemíptero. Desse modo, o macho é atraído por esse conjunto de características e por odores específicos (ferormônios) e tenta realizar a cópula, realizando a polinização por confundir a flor com a fêmea.

**Odor:** o odor tem função importante nas reações instintivas dos animais, sendo provável que seja este um dos maiores atrativos para os polinizadores a longa distância. Nas plantas de flores com antese noturna, o odor é o principal meio para sua localização e a ocorrência dessa característica é importante mesmo em flores de antese diurna. De um modo geral, os odores podem estar incluídos em dois grupos: *absolutos* e os *imitativos*. O *odor absoluto* funciona no contexto do relacionamento entre a flor e o visitante, produzindo mais cedo ou mais tarde uma conexão com alimentação e atividade sexual. O *odor imitativo*, por outro lado, estabelece de imediato no visitante, a mesma reação em cadeia que ele teria se recebesse um outro odor similar com origem em outra fonte (ferormônios). A grande diferença entre os dois grupos de odores é que no *absoluto* existe apenas a planta e o visitante, enquanto no *imitativo* existe um terceiro elemento: *odor a ser imitado*. O odor geralmente é emitido pela corola ou brácteas adjacentes, como por exemplo, em indivíduos da família Musaceae ou, mais raramente, pelo pólen nas plantas polinizadas por abelhas coletoras de pólen. Geralmente existem estruturas glandulares localizadas nas partes distais do perianto, que são denominadas *osmóforos*. Os odores emanados são atrativos específicos e freqüentemente imitam outros odores.

**Pólen:** é considerado como um dos mais antigos atrativos para os polinizadores. É geralmente produzido

em grande quantidade, sendo uma boa fonte de alimento para determinados animais devido a sua riqueza em proteínas. Pode ser consumido diretamente por besouros e lepidópteros primitivos e de uma maneira indireta (digestão por difusão) por outros insetos. As abelhas usam geralmente grandes quantidades de pólen para alimentar suas larvas.

**Néctar:** o néctar pode ser produzido por *nectários florais* ou *extra-florais*, sendo esses últimos localizados especialmente sobre as folhas e brácteas. O néctar é basicamente uma solução de carboidratos que contém uma quantidade variável de aminoácidos e lipídios. Geralmente a concentração de glicose, frutose e sacarose do néctar é variável. Baixa concentração de açúcares significa menos alimento (energia), mas fornece ao inseto polinizador uma fonte de água. De todos os atrativos, o néctar é o mais utilizado pelos visitantes, sejam invertebrados ou vertebrados. Além disso, representa também, um grande atrativo para os ladrões de néctar.

**Óleo:** em algumas famílias de Angiospermas há presença de glândulas ou tricomas que secretam óleos em forma de líquido claro, constituído de mono ou diglicerídeos e ácidos graxos livres saturados, produzido por uma estrutura glandular especializada (elaióforo). Serve de alimento para as larvas de determinado grupo de abelhas.

## Animais Polinizadores

A interação entre flores e visitantes recebe o nome de *síndrome*, isto é, reunião de características que se desenvolveram em conjunto, provocadas por um mecanismo adaptativo. De modo geral, os principais grupos de polinizadores são: borboletas (Psicofilia), mariposas (Falenofilia), abelhas (Melitofilia), moscas (Miofilia ou Saprofília), besouros (Cantarofilia), morcegos (Quiropterofilia) e aves (Ornitofilia). Em geral, o conjunto de características florais que correspondem a cada tipo de polinizador é definido com base na maneira como nós percebemos as flores, e não como os animais às vêem.

### Síndrome de Cantarofilia (polinização por besouros)

#### Características florais:

\* Antese diurna;

- \* Odor forte;
- \* Cor clara, geralmente branco ou esverdeado;
- \* Pétalas e sépalas geralmente carnosas;
- \* Flores isoladas, geralmente grandes e actinomorfas;
- \* Néctar e pólen acessíveis;
- \* Geralmente com muito pólen e pouco néctar;
- \* Guias de néctar geralmente ausentes;

#### **Características do visitante:**

- \* Vida diurna;
- \* Olfato desenvolvido;
- \* Sentido visual pouco desenvolvido, preferência por tons de amarelo;
- \* Alimenta-se de peças florais e de pólen;
- \* Geralmente penetra na flor; o corpo liso é pouco adaptado ao transporte de pólen;
- \* Probóscide curta e aparelho bucal adaptado para mastigação;
- \* Usa mais o pólen na alimentação;
- \* Sem preferência por flores com guias de néctar;

#### **Síndrome de Psicofilia (polinização por borboletas)**

##### **Características florais:**

- \* Antese diurna, não fechando à noite;
- \* Odor fraco geralmente fresco, agradável;
- \* Colorido vivo, incluindo vermelho puro;
- \* Bordas das flores não muito recortadas;
- \* Flores eretas, radiais, achatadas na parte superior da corola;
- \* Néctar bem escondido em tubos ou esporas (cálcio), tubos estreitos;
- \* Muito néctar;
- \* Guias de néctar simples ou fendas adaptadas à probóscide;

##### **Características do visitante:**

- \* Vida diurna;
- \* Olfato não muito desenvolvido;
- \* Sentido visual bem desenvolvido também para cores, pode ser vermelho;
- \* Provavelmente não sensível a contornos profundamente recortados;
- \* Pousa nas flores;
- \* Probóscide longa e fina;
- \* Voadora menos ativa com metabolismo não muito alto;
- \* Alguma preferência por guias de néctar para inserir a probóscide;

#### **Síndrome de Melitofilia (polinização por abelhas)**

##### **Características florais:**

- \* Flores com áreas de pouso;
- \* Néctar escondido, porém não muito;
- \* Néctar em quantidades moderadas;
- \* Guias de néctar geralmente presentes;

##### **Características do visitante:**

- \* Vida diurna a crepuscular;
- \* Olfato similar ao do homem;
- \* Visão bem desenvolvida, especialmente às radiações na faixa do amarelo ao azul e ultravioleta;
- \* Utiliza áreas de pouso;
- \* Voa em zigue-zague entre as flores, pode vibrar em alguns tipos de flores ou raspar glândulas de óleo;
- \* Probóscide geralmente curta;
- \* Ativa voadora, geralmente alimenta-se e às larvas com néctar, possuindo adaptações para coleta e transporte do pólen;
- \* Alguma preferência por flores com guias de néctar;

#### **Síndrome de Miofilia (polinização por moscas)**

##### **Características florais:**

- \* Antese diurna;
- \* Odor fraco ou ausente;
- \* Amarelas, brancas ou azuis;
- \* Flores geralmente actinomorfas, abertas até tubulosas, geralmente com pouco néctar;
- \* Flores pequenas, geralmente reunidas em inflorescência, órgãos sexuais escondidos;
- \* Néctar e pólen geralmente acessíveis;

##### **Características do visitante:**

- \* Vida diurna;
- \* Olfato não bem desenvolvido;
- \* Pode distinguir as cores, porém parece haver preferência por tons de amarelo;
- \* Alimenta-se de néctar e pólen em pequena quantidade;
- \* Pousa sobre as flores por um certo tempo;
- \* Probóscide geralmente curta, mas em alguns grupos até 50 mm;

### **Síndrome de Quiropterofilia (polinização por morcegos)**

#### **Características florais:**

- \* Antese noturna, a maioria dura somente uma noite;
- \* Algumas vezes esbranquiçada ou creme;
- \* Frequentemente cor parda, acinzentada, raramente rosa;
- \* Forte odor à noite;
- F\* lores solitárias, grandes e rígidas, ou inflorescência com pequenas flores;
- \* Grande quantidade de néctar;
- \* Grande quantidade de pólen em grandes ou muitas anteras;

#### **Características do visitante:**

- \* Vida noturna;
- \* Boa visão, provavelmente para orientação próxima;
- \* Bom sentido de olfato;
- \* Grandes animais, agarrando-se por polegares em garras;
- \* Metabolismo alto;
- \* Pólen como única fonte de proteína;

### **Síndrome de Esfingofilia (polinização por mariposas)**

#### **Características florais:**

- \* Antese noturna ou crepuscular, geralmente fechada durante o dia;
- \* Forte perfume adocicado a noite;
- \* A maioria branca ou levemente colorida, algumas vezes, vermelha ou parda, insignificante;
- \* Lobos da corola profundamente recortados ou pétalas franzidas;
- \* Flores horizontais ou pêndulas, porção livre da corola recurvada ou ausente, anteras versáteis;
- \* Néctar profundamente escondido em tubos longos ou esporas, mais estreitos do que em flores visitadas por pássaros;
- \* Mais néctar do que em flores de borboletas e abelhas;
- \* Guias de néctar geralmente ausentes - guiadas pelo contorno da flor;

#### **Características do visitante:**

- \* Hábito noturno;
- \* Senso de olfato com preferência instintiva;
- \* Visão para cores à noite;
- \* Provavelmente sensível a contornos recortados;
- \* Voa em frente à flor, sem apoiar-se nela;
- \* Probóscide muito longa e fina;

- \* Ativa voadora com metabolismo muito alto;
- \* Alguma preferência por marcas (guias) para inserirem a probóscide;

### **Síndrome de Ornitofilia (polinização por aves)**

#### **Características florais:**

- \* Antese diurna;
- \* Cores vivas, frequentemente vermelhas ou com cores contrastantes;
- \* Paredes das flores resistentes, filetes rígidos ou unidos, néctar escondido;
- \* Ausência de odor;
- \* Néctar abundante;
- \* Sistema capilar para trazer o néctar para cima ou evitar seu escoamento;
- \* Algumas vezes tubos profundos ou cálcara (espora), mais largo do que em flores de borboletas;
- \* A distância entre néctar-órgãos sexuais pode ser grande;

#### **Características do visitante:**

- \* Vida diurna;
- \* Visão sensível a vermelho, não a ultravioleta;
- \* Bico forte;
- \* Sentido de olfato pouco desenvolvido;
- \* Grande consumidor de néctar;
- \* Bico e língua longos;
- \* Bico grande e largo; corpo grande (Passeriformes);

### **Adaptações florais da Sapromiofilia (polinização por moscas varejeiras)**

- \* Antese diurna;
- \* Odor forte lembrando carne em putrefação;
- \* Colorido escuro, castanho, púrpura;
- \* Flores geralmente com tricomas e apêndices nas partes internas, que funcionam como área de apreensão;
- \* Flores em geral isoladas, órgãos sexuais escondidos;
- \* Guias de néctar, em geral, ausentes;
- \* Néctar (quando presente) e pólen em geral escondidos;

#### **Formação do tubo polínico**

Ao cair no estigma o grão de pólen fica retido por substâncias mucilaginosas produzidas pelas papilas estigmáticas, ganha água e germina dando origem ao *tubo polínico*. O grão de pólen apresenta, em seu

interior, duas células: a *célula-geradora* e a *célula do tubo* (ou *célula vegetativa*). Em algumas Angiospermas ocorre a divisão da célula geradora ainda dentro do microsporângio (saco polínico) e esta é uma condição considerada mais evoluída.

Em outras, o grão de pólen retoma o seu desenvolvimento apenas no estigma e apresenta um alongamento da célula do tubo ou vegetativa, formando o tubo polínico que cresce através do estilete, em direção ao ovário quimiotropicamente. Uma vez no ovário, atinge o óvulo e penetra-o. A penetração mais comum ocorre pela micrópila – *porogamia*. Também pode se dar por outro local que não a micrópila – *aporogamia*.

### Fecundação ou Singamia

Uma vez no óvulo, o *tubo polínico* atravessa o *aparelho filiforme* (projeções da parede da sinérgide no lado micropilar) de uma das sinérgides. As sinérgides têm por função receber o tubo polínico. A membrana plasmática da sinérgide que recebeu o tubo degenera e um dos gametas entra em contato com a membrana plasmática da oosfera e o outro com a da célula mediana. Os núcleos gaméticos, após a fusão das membranas plasmáticas, são levados então passivamente pela corrente citoplasmática em direção ao núcleo da oosfera ou da célula mediana. A fusão de *um dos gametas masculinos* com o núcleo da oosfera resulta no *zigoto* ( $2n$ ), que, por divisões mitóticas, dará o *embrião*. O *outro gameta masculino* funde-se aos núcleos polares formando o *núcleo endospermático primário*, que é triplóide ( $3n$ ) e, por divisões sucessivas dará origem ao *endosperma*, o tecido nutritivo do embrião das Angiospermas. Após a fecundação, salvo exceções, as antípodas degeneram.

Na fecundação das Angiospermas, portanto, existem dois gametas masculinos: um se funde com o *gameta feminino* (oosfera) dando origem ao embrião (diplóide), que representa o início de uma nova geração esporofítica e o outro se funde com a *célula média* (binucleada, núcleos polares), dando origem ao endosperma ( $3n$ ) ou *xenófito*, geração exclusiva das Angiospermas. Por este motivo, esta planta apresenta a chamada dupla fecundação. Após a fecundação, o óvulo transforma-se em *semente*.