

Rubim Almeida 2025

Estruturas reprodutoras



Caderno de Campo
Vol. IX

Conteúdo

1. A Flor como Ramo Modificado: Uma Unidade de Folhas Especializadas	2
2. O Estame: Fábrica de Pólen	3
3. Os Carpelos e o Desenvolvimento do Gametófito Feminino	5
4. Gimnospérmicas: Reprodução sem Carpelo Fechado	7
5. Para Além da Descrição: Sentido Evolutivo e Funcional	8
No Laboratório	9
Guia Prático de Observação	9
Bibliografia	15
Glossário	15

1. A Flor como Ramo Modificado: Uma Unidade de Folhas Especializadas

A flor não é um órgão mágico nem um acidente morfológico. É, antes, um ramo modificado, de crescimento determinado, cujas folhas — chamadas antófilos — sofreram especializações funcionais ao longo da evolução. Estas folhas não são todas iguais: algumas protegem, outras atraem, outras produzem gametas. Juntas, organizam-se em verticilos concêntricos para garantir a reprodução eficaz (Raven et al., 2018).

Numa flor de *Lilium* sp. (monocotiledónea), observa-se:

- Um perianto com seis tépalas (sépalas e pétalas indistinguíveis, todas coloridas e petaloides), em dois verticilos diferentes,



Figura 1. Flores de *Lilium* sp.

- Um androceu com seis estames (cada um composto por filete e antera),
- Um gineceu tricarpelar, sincárpico e trilocular, com placentação axial.

Esta organização não é aleatória. Cada peça tem um destino embriológico preciso e um papel funcional no ciclo reprodutivo. O laboratório permite-nos ir além da morfologia externa: cortes histológicos revelam o que está oculto — os esporângios, os gametófitos, os processos celulares que sustentam a vida vegetal (Bold et al., 1987).

2. O Estame: Fábrica de Pólen

O estame é a unidade reprodutiva masculina. A sua parte visível — o filete — é apenas o suporte. A verdadeira fábrica de gametas está na antera, composta por duas tecas (cada metade da antera), geralmente biloculada, isto é, cada teca contendo dois lóculos. Cada lóculo é um microsporângio, uma câmara onde se forma o pólen.

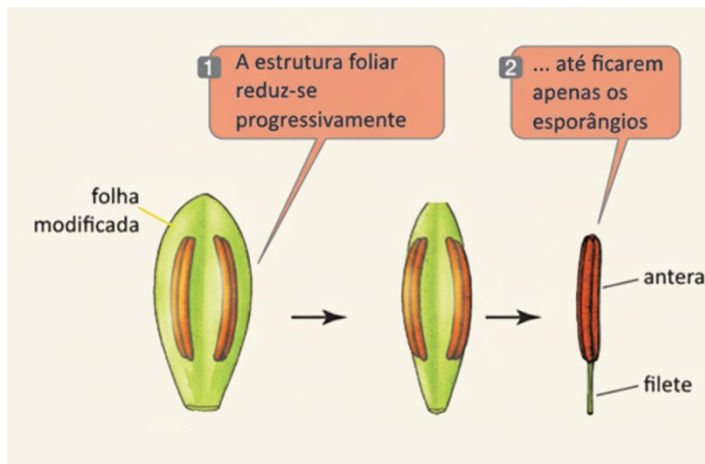


Figura 2. Estados da evolução de um antófilo que terá originado o actual estame.

Durante o desenvolvimento, o tecido esporogénico da antera diferencia-se em camadas concêntricas:

- Epiderme (proteção),
- Endotécio (com reforços em anel, importante na deiscência),
- Camada mediana

(temporária),

- Tapete — a camada mais interna, metabolicamente ativa, essencial para nutrir as células-mãe dos microsporos, regular a meiose e contribuir para a formação da parede polínica (Johri, 1984).

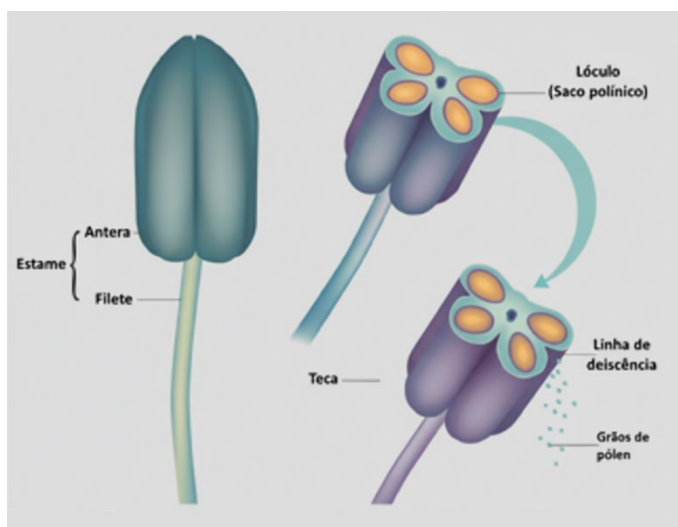


Figura 3. Diagrama da constituição de uma antera

As células-mãe dos microsporos sofrem meiose, produzindo tétradas de microsporos haploides. Cada microsporo diferencia-se num grão de pólen, o gametófito masculino imaturo.

Em *Lilium*, o grão de pólen maduro já contém dois núcleos: o núcleo vegetativo (responsável pela formação do tubo polínico) e o núcleo generativo (que se dividirá mais tarde em dois espermatozoides). Trata-se, portanto, de um

gametófito bicelular ao ser libertado (Fernandes, 2010).

A libertação do pólen ocorre por deiscência, um processo programado. A zona de deiscência (comumente chamada *estômio*) é uma linha de fratura diferenciada, resultante da desidratação e degeneração controlada de células do tecido conjuntivo. Quando a antera se abre, os grãos de pólen são expostos ao ambiente, prontos para serem

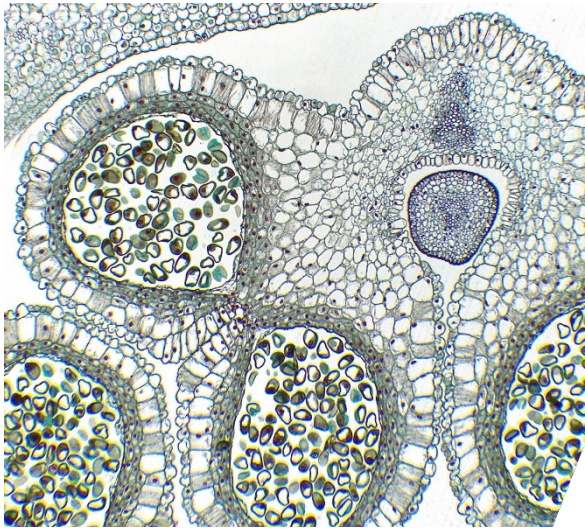


Figura 4. Antera da flor de *Lilium* sp. podendo observar-se parte de uma antera e respectivos lóculos

transportados — pelo vento, por insetos, ou por outros agentes.

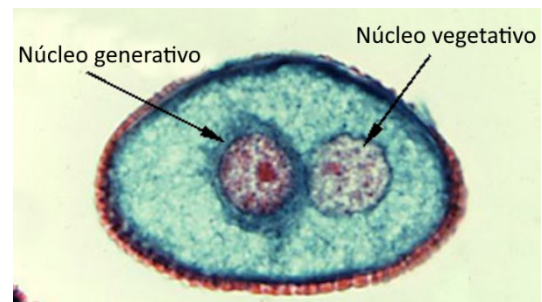


Figura 5. Grão de pólen maduro mostrando os dois núcleos.

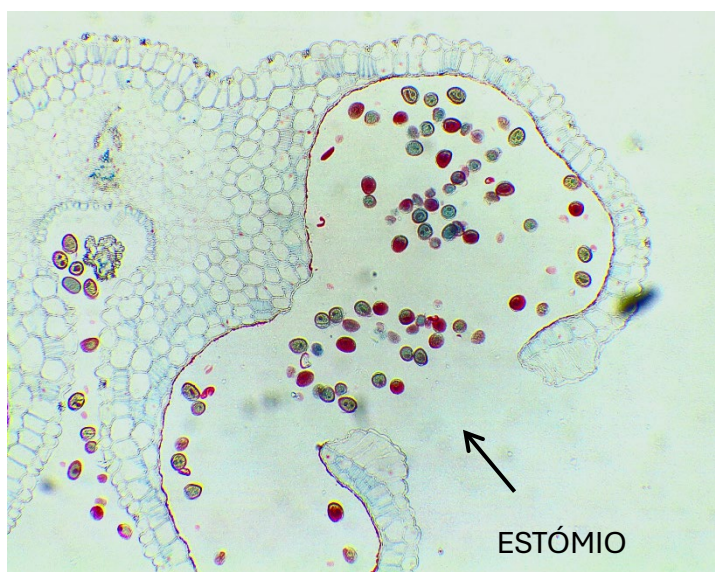


Figura 6. Teca de antera de *Lilium* sp., observando-se a libertação dos micrósporos pelo estômio

3. Os Carpelos e o Desenvolvimento do Gametófito Feminino

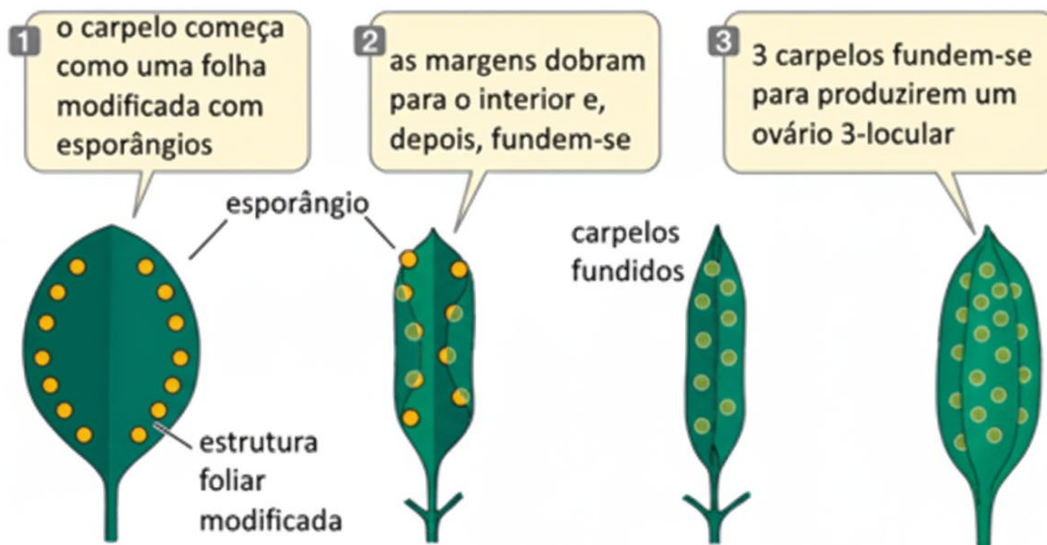


Figura 7. Estados da evolução de um hipotético carpelo até à formação do pistilo.

O carpelo é uma folha modificada que se fechou sobre si mesma, protegendo os óvulos. Em muitas espécies, como *Lilium*, os carpelos fundem-se formando um gineceu sincárpico, com um único ovário trilobular. Dentro de cada lóculo, os óvulos desenvolvem-se a partir de primórdios, fixos a uma estrutura chamada placenta.

Cada óvulo é uma estrutura complexa:

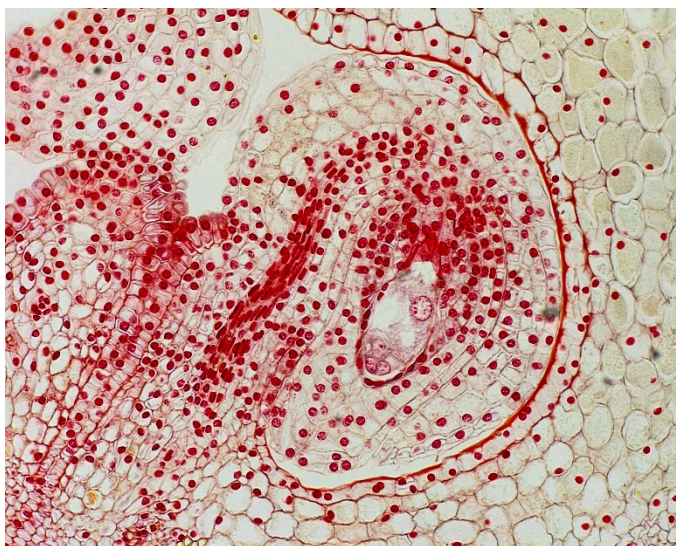


Figura 8. Óvulo de *Lilium* sp., podendo observar-se parte do saco embrionário.

- Um nucelo (tecido esporogénico),
- Um ou dois tegumentos (que envolvem o nucelo e deixam uma abertura: o micrópilo),
- Uma célula-mãe do macrósporo, localizada no centro do nucelo.

Esta célula-mãe entra em meiose, produzindo quatro macrósporos haploides. Em muitas angiospérmicas, três degeneram, e apenas um sobrevive — é o padrão monospórico, exemplificado pelo tipo *Polygonum*. Esse macrósporo sobrevivente

sofre três divisões mitóticas sucessivas, gerando um saco embrionário octanucleado com organização funcional precisa:

- Pólo micropilar: uma oosfera (célula-ovo) e duas sinérgidas (células que guiam e facilitam a fusão com o tubo polínico),
- Região central: dois núcleos polares, que se fundem formando o mesocisto ($2n$), precursor do endosperma,
- Região calázica: três antípodas, células com função metabólica e de suporte, frequentemente envolvidas em trocas com os tecidos maternos (Johri, 1984).

Mas em *Lilium*, o processo é diferente — e mais complexo. Aqui, os quatro macrósporos participam na formação do saco embrionário: três migram para a região calázica e fundem-se, formando um núcleo triploide ($3n$); o quarto permanece no pólo micropilar. Duas mitoses subsequentes geram oito núcleos, mas com distribuição heteroplóide:

- Os quatro núcleos do pólo micropilar são haploides (n),
- Os quatro da região calázica são triplóides ($3n$).

Este é um caso de desenvolvimento tetraesporico, raro mas funcional, que demonstra a plasticidade evolutiva dos processos reprodutivos nas angiospérmicas (Fernandes, 2010).

4. Gimnospérmicas: Reprodução sem Carpelos Fechados

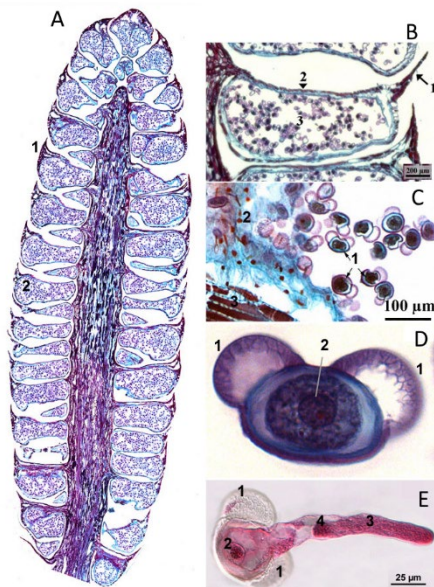


Figura 9. A - Estróbilo masculino de *Pinus* sp. em corte longitudinal; B-Microsporófilo com esporos; C-Microsporófilo com micrósporos; D-grão de pólen; E-grão de pólen germinado-**Gametófito masculino**

Nas gimnospérmicas, como *Pinus* spp., a reprodução ocorre em estróbilos, não em flores. Os estróbilos masculinos são compostos por microsporófilos (folhas férteis), cada um com vários sacos polínicos (microsporângios) na face abaxial. Cada saco produz milhares de micrósporos por meiose, que se diferenciam em grãos de pólen com sacos aéreos — estruturas aladas que facilitam a dispersão pelo vento.

O grão de pólen de *Pinus* é multicelular ao ser libertado: contém uma célula germinativa, uma célula do tubo e uma célula estéril — um gametófito masculino parcialmente desenvolvido (Raven et al., 2018).

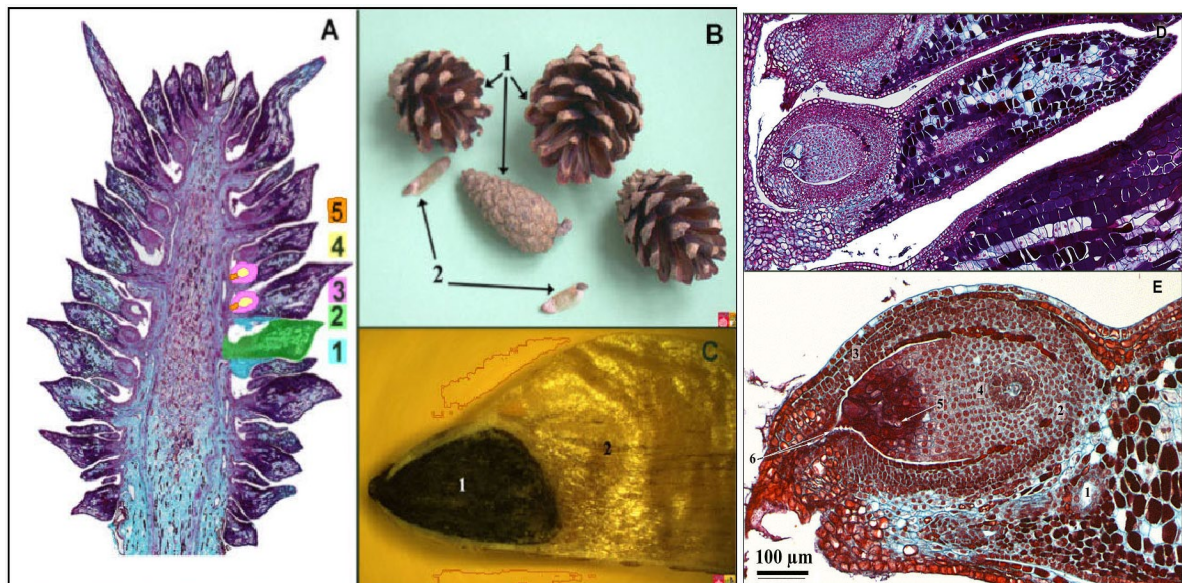


Figura 10. A – Corte longitudinal do estróbilo feminino de *Pinus* sp.; 1 – escama; 2 – macroesporófilo; 3 – tegumento; 4 – macrosporângio; 5 - micrópilo

Os estróbilos femininos (pinhas) são formados por escamas férteis (macroesporófilos) que suportam dois óvulos expostos, cada um com um único tegumento e um micrópilo voltado para o eixo do estróbilo. Após a polinização, o grão de pólen germina no nucelo, formando um tubo que cresce até à oosfera. O

gametófito feminino — o macróprotalo — desenvolve-se na região calázica do nucelo e contém arquegónios com oosferas prontas para a fecundação.

A ausência de carpelo fechado significa que os óvulos estão expostos — daí o nome gimnospérmicas (sementes nuas). Após a fecundação, o óvulo desenvolve-se em semente, e a pinha amadurece, libertando as sementes.

5. Para Além da Descrição: Sentido Evolutivo e Funcional

O que vemos ao microscópio não são apenas estruturas — são soluções evolutivas. A dupla fecundação nas angiospérmicas (formação de embrião e endosperma secundário triplóide) é uma inovação exclusiva, que garante a nutrição eficiente ao embrião. A proteção dos óvulos no interior do ovário e a formação do fruto são adaptações que aumentam a eficácia da dispersão.

Nas gimnospérmicas, predomina a polinização anemófila, com produção maciça de pólen e ciclos longos — uma estratégia conservadora, mas eficaz em ambientes estáveis.

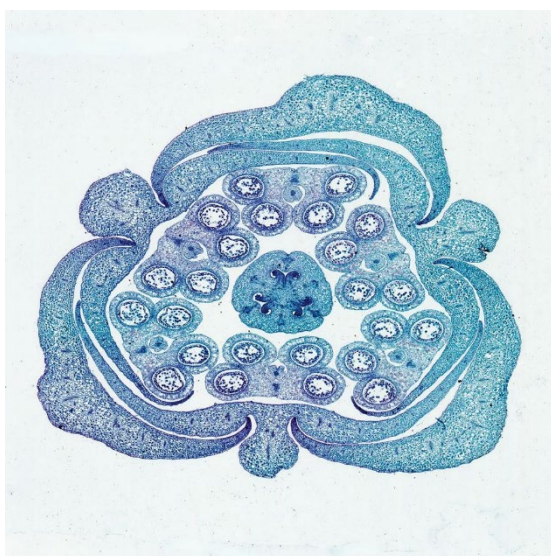
Observar um corte de antera ou um óvulo em desenvolvimento é, portanto, mais do que identificar camadas celulares. É ler a história da vida vegetal, escrita em tecidos, núcleos e simetrias (Bold et al., 1987).



No Laboratório

Guia Prático de Observação

Flor Completa de Lilium sp.



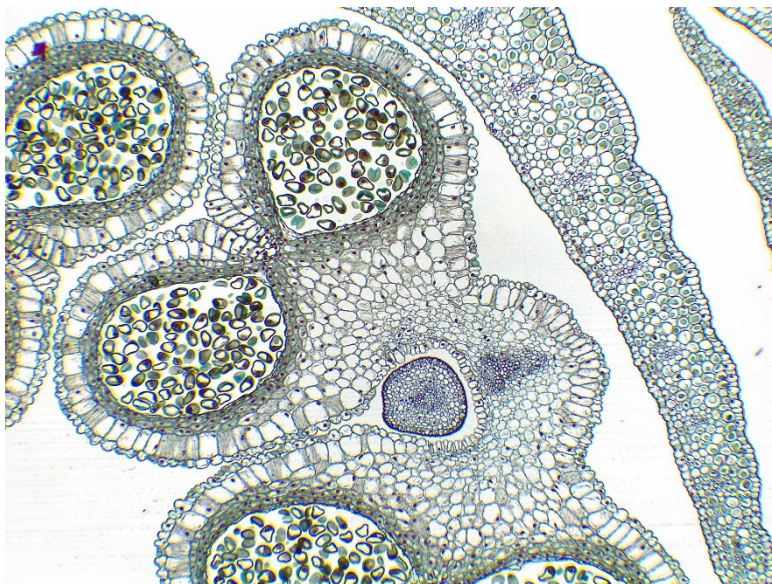
Iniciar a observação pela flor de *Lilium* sp. Ao microscópio, identifique, de fora para dentro, os verticilos florais. O perigónio é composto por seis tépalas de natureza petalóide, três “sépalas” e três “pétalas” indistinguíveis pela forma e cor. Em seguida, localize os seis estames, cada um com um filete filiforme e uma antera bilobada, onde se acumulam os grãos de pólen. No centro, observe o gineceu, formado pela fusão de três carpelos num único pistilo — um gineceu sincárpico, tricarpetelar e trilocular. Esta simetria

trímera é típica das monocotiledóneas. O ovário, na base do pistilo, aloja os óvulos em placentação axial, e o estigma, na extremidade superior, exibe uma superfície papilosa, preparada para receber o pólen. Esta visão geral permite compreender a flor como um ramo modificado, onde folhas especializadas assumiram funções protectoras, atrativas e reprodutivas.

Observe a sequência estrutural completa: as tépalas, com mesófilo bem diferenciado e epiderme com cutícula espessa; os estames, com as anteras ainda imaturas, cada uma com quatro lóculos (dois por teca); e, no centro, o ovário tricarpetelar, com três câmaras (lóculos) delimitadas pelos septos formados pela fusão dos carpelos — um ovário sincárpico, trilocular, com placentação axial. Nos

primórdios de óvulos aderentes à parede interna do ovário, identifique estruturas anátropas, com dois tegumentos parciais e um micrópilo em formação. Este corte revela a arquitectura interna da flor, mostrando como os esporângios masculinos e femininos estão organizados num mesmo eixo reprodutivo.

Anteras Imaturas de Lilium sp.



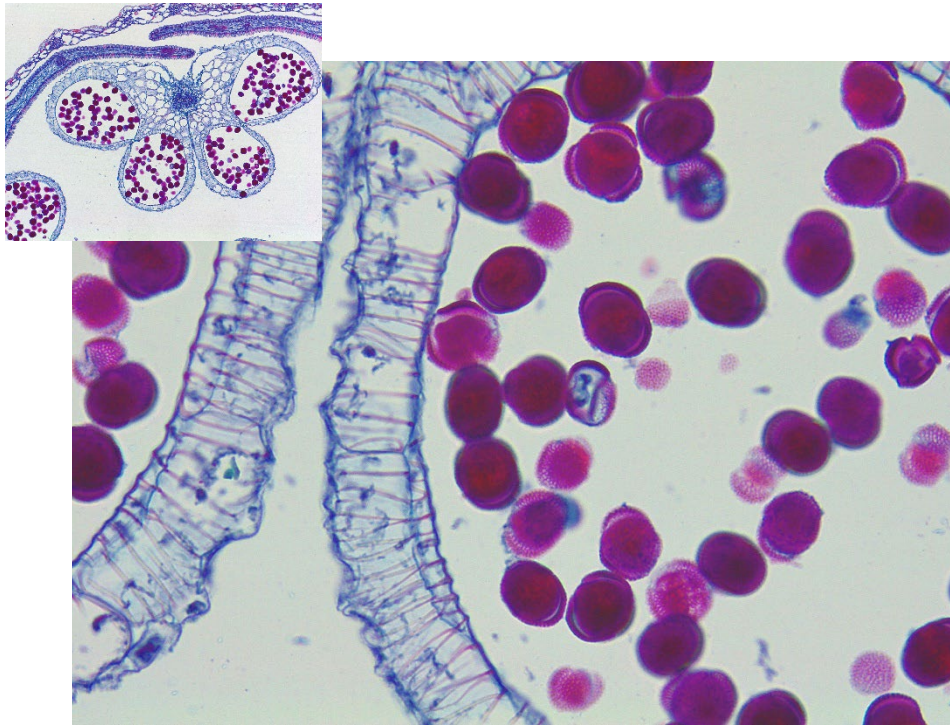
Passar para a sequência de desenvolvimento das anteras, começando com as anteras imaturas. Observe que o tecido esporogénico ainda não está completamente diferenciado. Identifique as camadas concêntricas: a epiderme externa, o endotécio com reforços em anel, a camada média e, mais internamente, o tapete, ainda em desenvolvimento. Este estado mostra o início da formação do gametófito masculino (Johri, 1984).

Amplie a observação para um pormenor de um lóculo da antera, onde o tapete já se encontre completamente diferenciado. Observe células grandes, multinucleadas e intensamente metabólicas, em contacto directo com os esporos em desenvolvimento. O tapete desempenha um papel essencial na nutrição dos micrósporos, na regulação da meiose e na formação da exina polínica. Cada micrósporo irá diferenciar-se num grão de pólen, precursor do gametófito masculino (Fernandes, 2010).

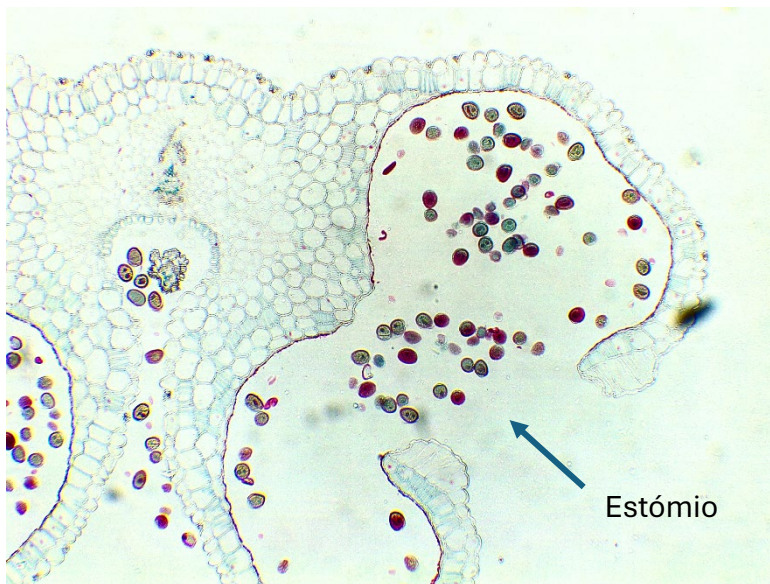
Antera Madura de Lilium sp.

Observe agora uma antera madura. Localize o conectivo em corte transversal, na zona de inserção com a antera. Na antera, identifique os lóculos cheios de grãos de pólen maduros. Em alguns grãos, são visíveis dois núcleos: o núcleo vegetativo, maior e com citoplasma abundante, e o núcleo germinativo, mais denso. Este é o gametófito masculino bicelular, pronto para ser libertado. O

endotécio já apresenta os espessamentos característicos que facilitarão a deiscência.



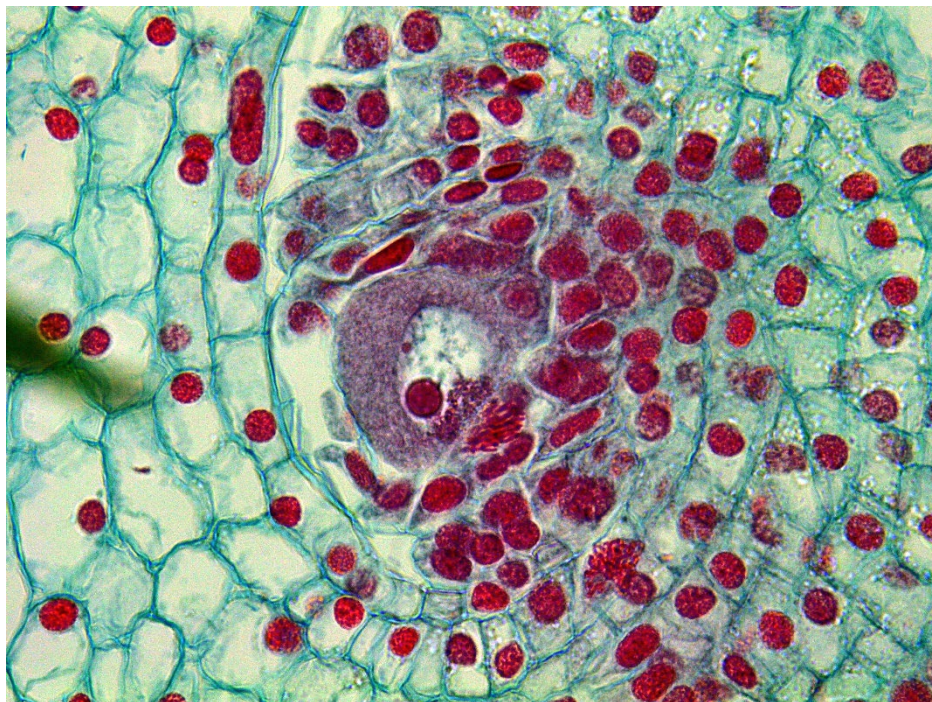
Antera Deiscente de Lilium sp.



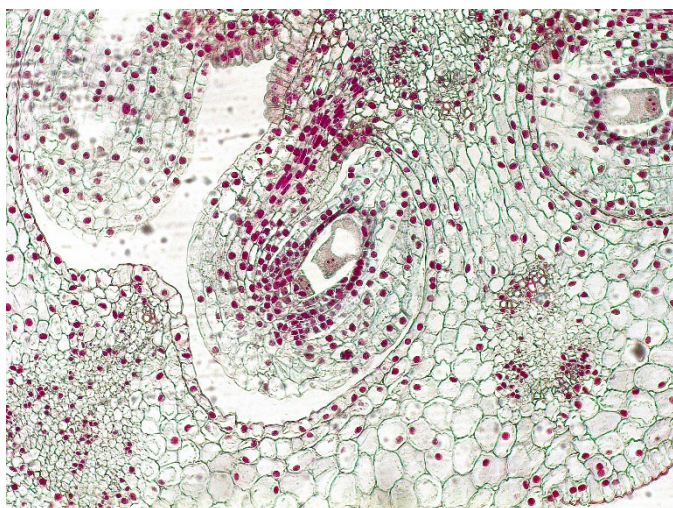
Na antera deiscente, observe a abertura ao longo do estômio, a linha de deiscência entre os dois lóbulos de cada teca. Esta abertura resulta da desidratação e degeneração controlada de células do tecido conjuntivo, um processo coordenado que expõe os grãos de pólen ao ambiente. Observe

grãos já libertados ou em fase final de libertação, com a parede polínica bem visível. Esta estrutura não é uma falha, mas uma zona de deiscência programada, essencial para a eficácia da polinização.

Corte Transversal de Ovário Tricarpelar de *Lilium* sp.

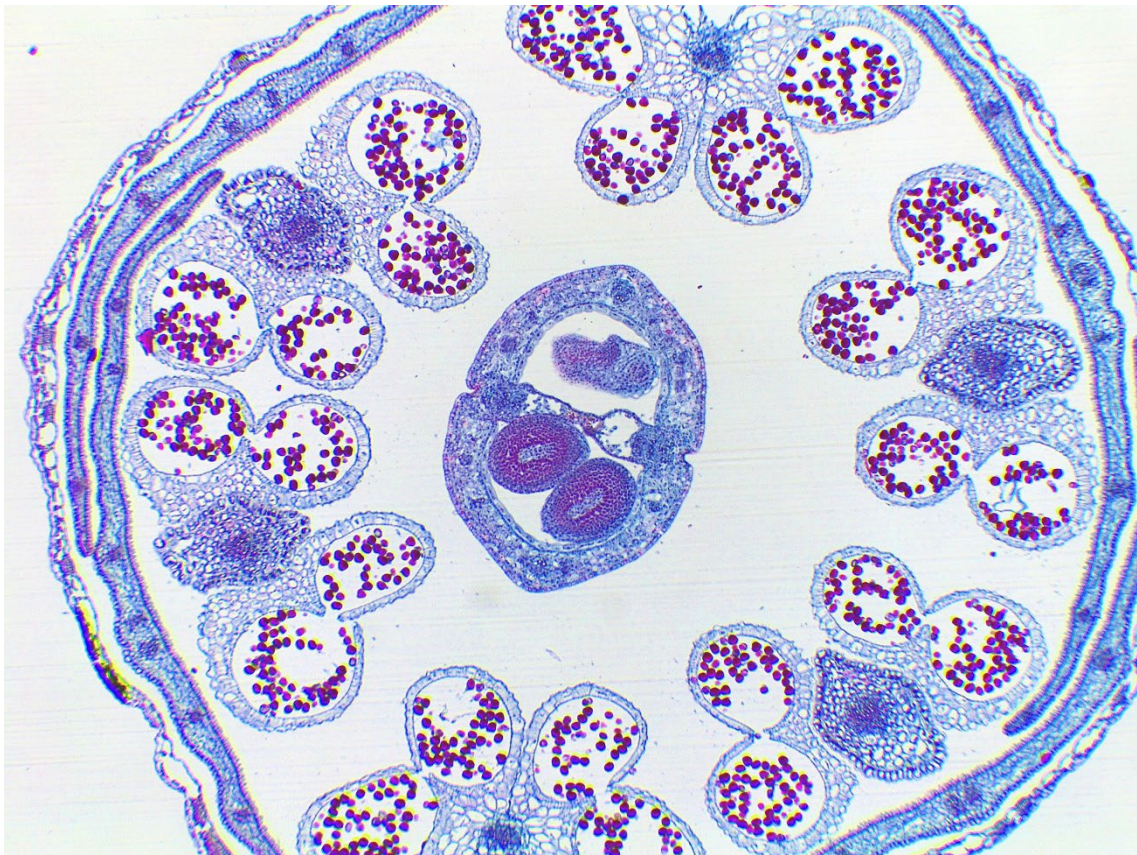


Volte ao ovário tricarpelar sincárpico, trilocular, com placentação axial. Cada lóculo aloja múltiplos óvulos anátropos, cada um composto por um nucelo envolvido por dois tegumentos, com uma abertura apical — o micrópilo. No interior do nucelo, identifique uma célula grande e central — a célula-mãe do macrósporo. Esta célula é o ponto de partida da formação do gametófito feminino (Johri, 1984).



Amplie a observação para um pormenor do óvulo em meiose. Após a divisão meiótica, os quatro macrósporos resultantes dispõem-se num arranjo 3+1: três migram para a região calázica e fundem-se, formando um núcleo triploide ($3n$); o quarto permanece no pólo micropilar. Duas mitoses

sucessivas geram oito núcleos: quatro haploides (n) no pólo micropilar, que darão origem à oosfera, às duas sinérgidas e a um dos núcleos polares; e quatro triploides ($3n$) na região calázica, que formarão as antípodas e o segundo núcleo polar. Os dois núcleos polares (um n e um $3n$) fundem-se, formando o mesocisto ($2n$), precursor do endosperma triploide. Este é um caso de desenvolvimento tetraesporico, característico de *Lilium* (Fernandes, 2010).

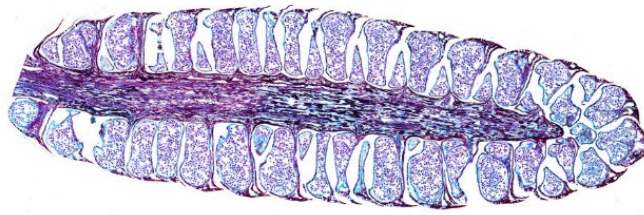


Corte Transversal de Flor de Dicotiledónea

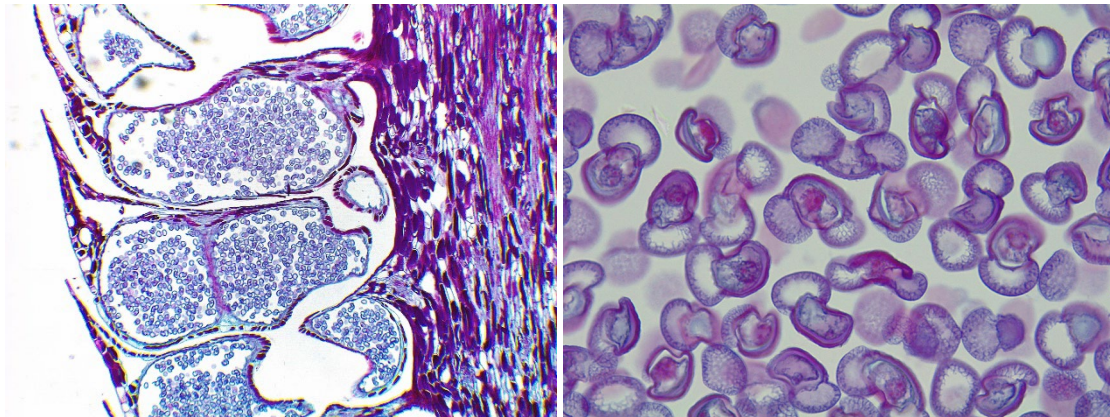
Compare agora com uma flor de dicotiledónea. No corte transversal, identifique quatro sépalas, quatro pétalas, oito estames e um ovário bicarpelar sincárpico. Este padrão em múltiplos de quatro é típico das eudicotiledóneas, contrastando com a simetria trímera das monocotiledóneas. O ovário bicarpelar mostra septos parciais e placentação parietal ou axilar, com óvulos aderidos às paredes internas. Esta comparação permite distinguir os dois grandes grupos de angiospérmicas apenas pela morfologia floral (Raven et al., 2018).

Estróbilo Masculino de Pinus sp.

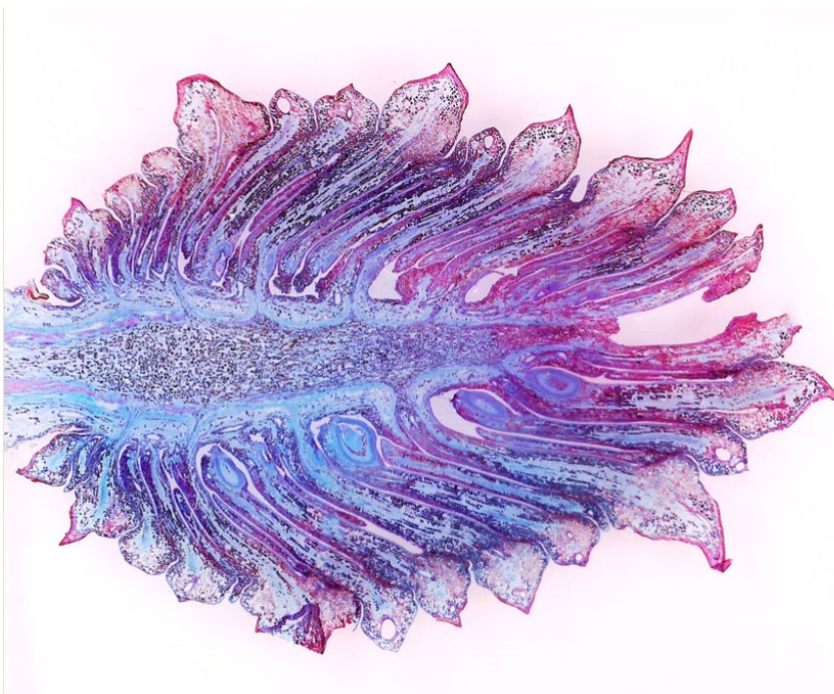
Desloque-se para as gimnospérmicas, representadas por *Pinus* sp. No estróbilo masculino, observe microsporófilos dispostos em espiral, cada um com vários sacos polínicos na face abaxial. Dentro destes, os micrósporos formam-se por meiose e diferenciam-se em grãos de pólen com sacos aéreos — estruturas aladas que facilitam a dispersão anemófila. O grão de pólen de *Pinus* é multicelular



ao ser libertado: contém uma célula germinativa, uma célula do tubo e uma célula estéril — um gametófito masculino já parcialmente desenvolvido (Raven et al., 2018).

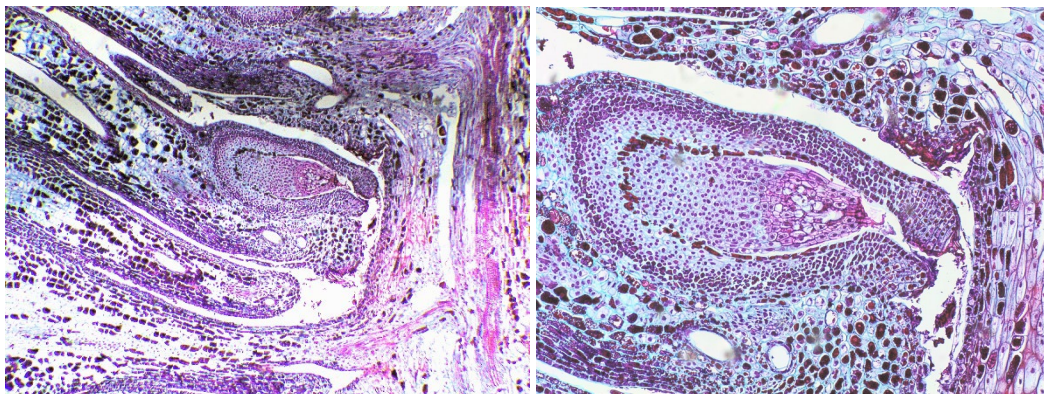


Estróbilo Feminino de Pinus sp.



No estróbilo feminino (pinha), observe as escamas ovulíferas que suportam dois óvulos expostos, cada um com um único tegumento e um micrópilo voltado para o eixo do estróbilo. Após a polinização, o grão de pólen aloja-se no nucelo, germina e forma um tubo que cresce até à oosfera. O macroprotalo desenvolve-se na região calázica do nucelo e contém arquegônios com oosferas

prontas para a fecundação. A ausência de carpelo fechado torna os óvulos directamente acessíveis — daí o nome gimnospérmicas, ou "sementes nuas".



Bibliografia

- Bold, H. C., Alexopoulos, C. J., & Delevoryas, T. (1987). *Morfologia de Plantas Vasculares*. 4.^a ed. Edgard Blücher.
- Fernandes, A. (2010). *Botânica: Morfologia e Reprodução das Fanerógamas*. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Johri, B. M. (Ed.). (1984). *Embryology of Angiosperms*. Springer-Verlag.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2018). *Biology of Plants*. 8.^a ed. W.H. Freeman and Company.

Glossário

- Antófilo: Folha modificada que constitui uma peça floral (sépala, pétala, estame ou carpelo).
- Antera: Parte fértil do estame, onde se formam os microsporângios e o pólen.
- Arquegónio: Gametângio feminino nas gimnospérmicas, que contém a oosfera.
- Carpelo: Folha modificada fechada que contém os óvulos nas angiospérmicas.
- Deiscência: Abertura programada da antera para libertação do pólen.

- Endosperma: Tecido nutritivo triploide nas angiospérmicas, resultado da dupla fecundação.
- Estômio: Linha de deiscência na antera, resultante de degeneração controlada de células.
- Gametófito: Geração haplóide do ciclo de vida das plantas, produtora de gâmetas.
- Gineceu sincárpico: Conjunto de carpelos fundidos num único pistilo.
- Macroprotalo: Gametófito feminino nas gimnospérmicas.
- Meiose: Divisão celular que reduz o número de cromossomas, formando esporos haplóides.
- Mesocisto: Núcleo secundário ($2n$) no saco embrionário, formado pela fusão dos núcleos polares.
- Micrósporo: Esporo haplóide que dá origem ao gametófito masculino.
- Micrópilo: Abertura nos tegumentos do óvulo, por onde o tubo polínico entra.
- Nucelo: Tecido esporogénico no interior do óvulo, onde se forma o macrósporo.
- Óvulo anátropo: Óvulo invertido, com micrópilo próximo ao funículo.
- Placentação axial: Disposição dos óvulos no eixo central do ovário, comum em ovários multiloculares.
- Saco aéreo: Estrutura alada no grão de pólen de *Pinus*, que facilita a dispersão pelo vento.
- Saco embrionário tetraesporico: Saco embrionário formado a partir dos quatro macrósporos resultantes da meiose.
- Sinérgidas: Células flangeadoras da oosfera, envolvidas na atração e fusão com o tubo polínico.
- Tépalas: Peça do perigónio, quando não se observam diferenças entre sépalas e pétalas, comum em monocotiledóneas.
- Tapete: Camada nutritiva e metabólica no interior da antera, essencial para o desenvolvimento do pólen.