



2



Morfologia dos órgãos vegetativos e reprodutivos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze (Araucariaceae)

Amanda Aparecida Oliveira do Carmo
Rossana Catie Bueno de Godoy
Luiz Antonio de Souza

Introdução

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze., conhecida como pinheiro-do-paraná ou pinheiro-brasileiro, pertence ao grupo das Gimnospermas e está inserida na família Araucariaceae Henkel & W. Hochst. A espécie, típica das formações de Floresta Ombrófila Mista ou “Mata de Araucária”, é encontrada no Brasil desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul (Garcia, 2002), e é considerada árvore símbolo do Paraná, sendo facilmente reconhecida por seu formato de copa peculiar e por seu pinhão.

Essa espécie apresenta vasto histórico de exploração, desde a extração de madeira à obtenção das sementes comestíveis. Devido à exploração e à expansão da agricultura, a área de ocorrência natural dessa espécie foi reduzida drasticamente nos últimos 100 anos. O pinhão, é importante fonte de renda e motivo de preservação de fragmentos florestais naturais.

Este capítulo apresenta uma revisão da morfologia e um estudo das estruturas vegetativas e reprodutivas baseados, especialmente, em Hertel (1980). Este autor considera o pinhão como “fruto”, contrariando a literatura sobre morfologia reprodutiva da família Araucariaceae¹.

Morfologia dos órgãos vegetativos

Caule e madeira

A superfície do caule de *A. angustifolia* apresenta casca resinosa, prateada e grossa (Figura 1A), de cerca de 15 cm de espessura, com formação de ritidoma (Figura 1B), o qual pouco se desprende. É comum a observação de epifitismo ou instalação de ninhos de insetos na superfície do tronco (Figura 1C e 1D).

O caule dessa espécie é composto de um eixo principal, com crescimento monopodial e ramos laterais dispostos de forma verticilada a subverticilada (Figura 2). O número de ramos ou galhos por verticilo aumenta com a idade da planta, chegando até o máximo de nove na idade adulta. De acordo com o sistema de arquitetura de árvores apresentado por Hallé et al. (1978), *A. angustifolia* apresenta modelo arquitetônico “Rauh”, que se caracteriza como tronco ortotrópico de crescimento indeterminado e com ramos laterais verticilados e plagiotrópicos. Hertel (1980), por outro lado, considera que os ramos laterais no pinheiro-do-paraná, apesar de aparentarem ser verticilados, se dispõem numa espiral ascendente. A planta jovem apresenta copa com formato de cone, enquanto na fase adulta, com a perda dos ramos dos verticilos mais próximos à base, a copa assume formato de candelabro ou taça, com ramos curvados para cima.

O pinheiro-do-paraná foi amplamente explorado para fins madeiráveis. Sua madeira é leve e macia, com densidade básica 0,55 g/cm³ e coeficiente de retratibilidade médio 0,52% (Mainieri; Chimelo, 1989). Os anéis de crescimento são evidentes e a madeira, bem como a casca e nós, são altamente inflamáveis devido à presença de resinas, o que a torna um ótimo combustível. A madeira é utilizada para carpintaria, marcenaria, fabricação de instrumentos musicais (Mainieri; Chimelo, 1989) e produção de papel.

¹ Nota dos editores: Pelo fato da maior parte da literatura científica mundial considerar o pinhão como semente, uma vez que pertence ao grupo das gimnospermas, as palavras fruto, frutículo e frutéolo, quando relacionadas ao pinhão da araucária, serão colocadas entre aspas ao longo de todo este capítulo.

Fotos: Amanda Aparecida Oliveira do Carmo

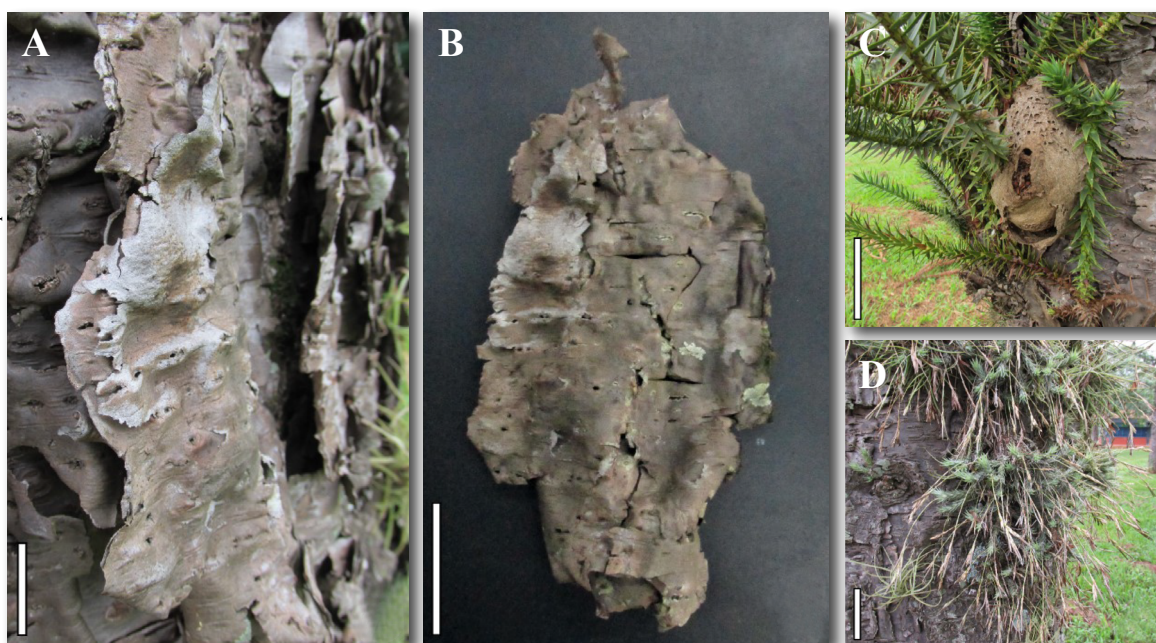


Figura 1. Superfície do caule de *Araucaria angustifolia*. Superfície do caule, mostrando a casca com coloração prateada (A); porção de ritidoma (B); presença de epífitas e ninho de insetos (C e D). Barras: 2 cm (A), 4 cm (B e C), 5 cm (D).

Foto: Amanda Aparecida Oliveira do Carmo



Figura 2. Exemplos de *Araucaria angustifolia*, em fases diferentes de desenvolvimento, evidenciando o caule e suas ramificações.

Mattos et al. (2006) caracterizaram a estrutura e a natureza físico-química da madeira de um exemplar de *A. angustifolia* com 38 anos de idade. De acordo com os autores, a densidade básica da casca foi 0,395 g/cm³ e os teores de extrativos totais, lignina e holocelulose foram 3,8%, 27,8% e 68,4%, respectivamente, sendo que o poder calorífico foi 4.670 cal/g. Na análise estrutural da madeira, esses autores constataram que ela consiste de traqueídeos longos, com dimensões médias de 5,84 mm de comprimento, 54,95 µm de largura e paredes celulares espessas de 7,30 µm.



Investigação sobre a madeira de *A. angustifolia* também foi feita por Rosa et al. (2013), que determinaram suas propriedades físicas em função da largura dos anéis de crescimento e do sexo. Os autores concluíram que a massa específica básica não mostra diferença entre os espécimes masculinos e femininos. Quanto aos valores médios de contração volumétrica, os autores constataram diferenças entre os sexos e as madeiras com anéis de larguras diferentes.

Folhas

Apesar de descritas na literatura como aciculares, as folhas do pinheiro-do-paraná são, de acordo com Hertel (1980), laminares, com base larga e ápice agudo pungente (Figura 3A e 3B). As folhas são sésseis, lanceoladas, numerosas e se inserem próximas umas às outras no ramo, com filotaxia alterna helicoidal (Figura 3A e 3C).

Fotos: Amanda Aparecida Oliveira do Carmo



Figura 3. Morfologia do ramo e folha de *Araucaria angustifolia*. Ramos com filotaxia alterna helicoidal (A); folhas lanceoladas, em vista dorsal e ventral (B); detalhe do ramo mostrando as folhas sésseis dispostas helicoidalmente (C). Barras: 6 cm (A), 1 cm (B e C).

De acordo com Silveira (2009) as folhas de *A. angustifolia* são relativamente espessas, com textura coriácea e anfistomáticas (com estômatos em ambas as faces da folha), o que, provavelmente, ocorre devido à sua prevalência no dossel superior da floresta, onde há maior exposição à luz solar.

Raiz

Nos estágios iniciais do desenvolvimento, a planta desenvolve raiz axial pivotante, com raiz primária de crescimento rápido. No indivíduo adulto, as raízes apresentam arquitetura semelhante àquela da copa, indicando redução da dominância da raiz primária, em favor das raízes secundárias.

A colonização por fungos micorrízicos é conhecida na família, especialmente por fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Breuninger et al. (2000) descreveram 13 espécies de FMA associados às raízes mais finas de indivíduos de *A. angustifolia* de formações florestais e campestres, enquanto

Moreira-Souza et al. (2003) encontraram 24 táxons de fungos colonizadores, com biodiversidade maior em plantas de áreas de vegetação natural, se comparada àquelas de plantações.

Morfologia dos órgãos reprodutivos

Araucaria angustifolia é espécie reconhecidamente dioica, com microstróbilos e megastróbilos encontrados, respectivamente, nos indivíduos masculinos e femininos. Esses estróbilos ou cones são considerados como ramos reprodutivos com folhas modificadas de diferentes tipos, que estão ligadas a um eixo curto e espesso, de natureza caulinar (Figura 4).



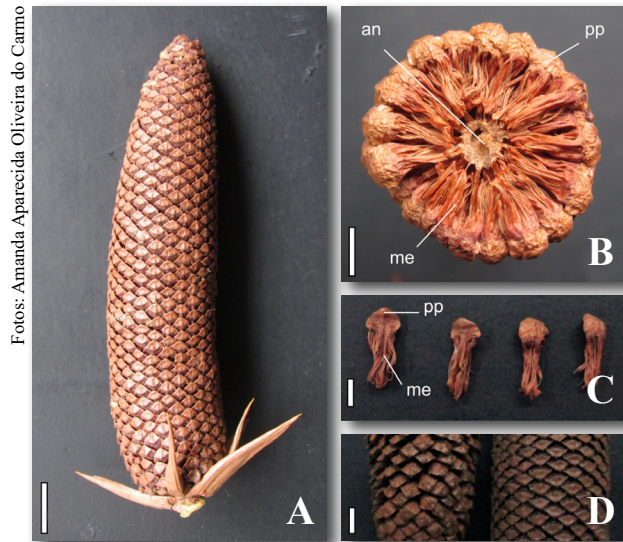
Figura 4. Estróbilos feminino e masculino de *Araucaria angustifolia*. Barra: 2 cm.

Microstróbilo

O microstróbilo ou androstróbilo (Figura 5A) é composto por um eixo central chamado de caule antomático e de esporangióforos, nos quais são encontrados os esporângios, produtores de esporos (Figura 5B e C). O esporangióforo é composto de uma porção peltada, voltada para a superfície do microstróbilo e dos microsporângios ou androsporângios (Figura 5B e C). Diferente do estróbilo feminino, nos microstróbilos do pinheiro-do-paraná não são observados elementos estéreis.

A estrutura do microstróbilos, de acordo com Hertel (1976), se assemelha ao órgão reprodutivo masculino de *Equisetum*, pois seus esporangióforos não apresentam porção laminar, como nos microsporófilos dos cones masculinos de *Pinus*. Os esporangióforos apresentam uma vascularização direta e constituem basicamente uma projeção na superfície do antoma. Podem ser encontrados até 1.300 esporangióforos em um microstróbilo.

Quando os esporos estão maduros, ocorre o afastamento dos esporangióforos (Figura 5D), permitindo o transporte do pólen pelo vento, polinização conhecida como anemofilia.



Fotos: Amanda Aparecida Oliveira do Carmo

Figura 5. Morfologia do microestróbilo de *Araucaria angustifolia*. Aspecto geral do microestróbilo (A); seção transversal do microestróbilo, mostrando o eixo central (antoma) e a disposição dos microesporangióforos (B); detalhe dos esporangióforos (C); estróbilos masculinos após e antes do afastamento dos esporangióforos para a liberação dos esporos (D). (an = caule antomático; me = resquílios do microesporângio; pp = porção peltada do esporangióforo). Barras: 1 cm (A), 5 mm (B e D), 3 mm (C).

Megastróbilo e pinhão

O estróbilo feminino pode receber o nome de ginostrobilo ou megastróbilo, com folhas férteis denominadas de ginoporófilos ou megasporófilos.

As folhas da base do estróbilo são transicionais, podendo as mais basais, secas, de formato oval e de ápice agudo serem consideradas como brácteas (Figura 6C), e as demais assumem gradativamente a condição de ginoporófilos. Baseados no estudo de Hertel (1976), há vários tipos de ginoporófilos: a) os férteis consumados, que formam o pinhão (Figura 6C); b) os férteis frustrados, representados pelo pinhão chocho; c) os estéreis por aborto; e d) a folha terminal.

A literatura sobre a família Araucariaceae e *A. angustifolia* trata o pinhão, majoritariamente, como semente (Garcia, 2002; Judd et al., 2009; Sampaio et al., 2019). Entretanto, em uma outra corrente, Hertel (1980) considerou o pinhão de *A. angustifolia* como protocarpo, tipo de fruto não equivalente às sementes das gimnopermas. Para Hertel (1980), o pinhão contém uma “casca” que é o megasporófilo (equivalente ao carpelo das angiospermas) e a semente que consiste da “amêndoa (endosperma) contendo embrião, envolta pela parede esporangial como tegumento”. Para Hertel (1959, 1976), que estudou a vascularização do pinhão, a semente de *A. angustifolia* não é nua, mas está encerrada dentro da folha modificada do estróbilo. Assim, cada pinhão (Figura 6E e F) de Hertel (1980) é considerado como “fruto” seco, unilocular, unispérmico e indeiscente. Spjut (1994) adotou o conceito de Hertel (1980) e considerou o pinhão de *A. angustifolia* como espermatocarpo, subtipo gábululo.

Essa interpretação de Hertel (1980) para o pinhão de *A. angustifolia*, somada aos conceitos de fruto formulados por Spjut (1994), é adotada no presente capítulo. Nessa linha de interpretação, o pinhão é considerado aqui como “fruto”, consistindo de envoltório (pericarpo) e semente (Figura 6E e F), ligado ao eixo do cone (Figura 6C). Com base nos conceitos de fruto de Hertel (1959, 1976, 1980) e na classificação de frutos de Souza (2006), o “fruto”, de *A. angustifolia* pode

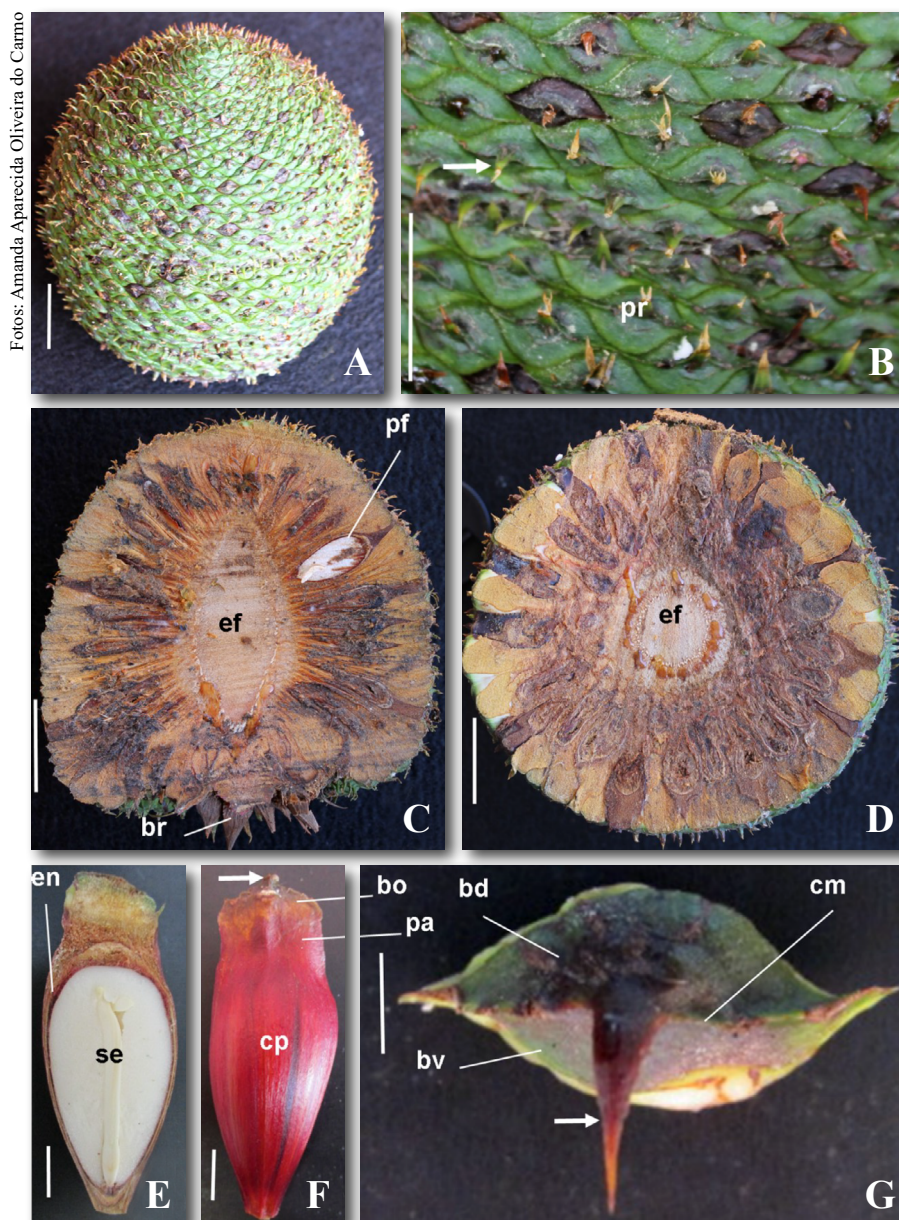


Figura 6. Morfologia do cone (ginostróbilo) e do pinhão (protocarpo/espematocarpo) de *Araucaria angustifolia*. Cone ou estróbilo (A); detalhe da superfície do cone mostrando vários pinhões (“protocarpos/espematocarpos”) (B); cones seccionados longitudinal e transversalmente (C e D); pinhão “fruto” seccionado longitudinalmente, mostrando envoltório e semente (E); pinhão “frutêolo” mostrando as partes do envoltório (F); vista frontal do pinhão mostrando a borraina e apêndice (G). Seta = apêndice; bd = declive dorsal da borraina; br = bráctea; bv = declive ventral da borraina; bo = borraina; cm = crista mediana; cp = corpo do “protocarpo”; ef = eixo/receptáculo “do fruto”; en = envoltório; pa = porção aliforme; pf = “protocarpo” fértil; pr = “protocarpo”; se = semente.



ser considerado como agregado ou múltiplo, consistindo de vários “frutéolos” ou “frutículos” (chamados “protocarpos/espermatocarpos”) férteis, chochos ou estéreis. O envoltório (pericarpo) de cada “frutículo” (pinhão) consiste de duas partes concrecidas, uma dorsal e outra ventral formada pela lígula laminar. Em vista ventral, o pinhão (“protocarpo/espermatocarpo”) apresenta, de acordo com Hertel (1980), o apêndice; a borraína (dobra) de contorno losangular, com declives dorsal e ventral separados por crista mediana; a porção aliforme; e o corpo com a semente (Figura 6E-G).

Em detalhe, o “frutículo” ou pinhão (Figuras 6 e 7), secionado transversal ou longitudinalmente, revela as seguintes partes: a) envoltório, formado pela folha estrobilar (equivalente ao pericarpo dos frutos das angiospermas), que tem natureza esclerificada e bastante resistente, e b) semente (Figuras 6E, 7B, D). A semente (Figuras 6E, 7B), por sua vez, consiste de a) tegumento, b) endosperma e c) embrião. O embrião é reto e possui dois “cotilédones” longos e vascularizados, cada um por quatro feixes (Figura 7B, E), plúmula reduzida e eixo hipocótilo-radicular (Figura 7B, D).

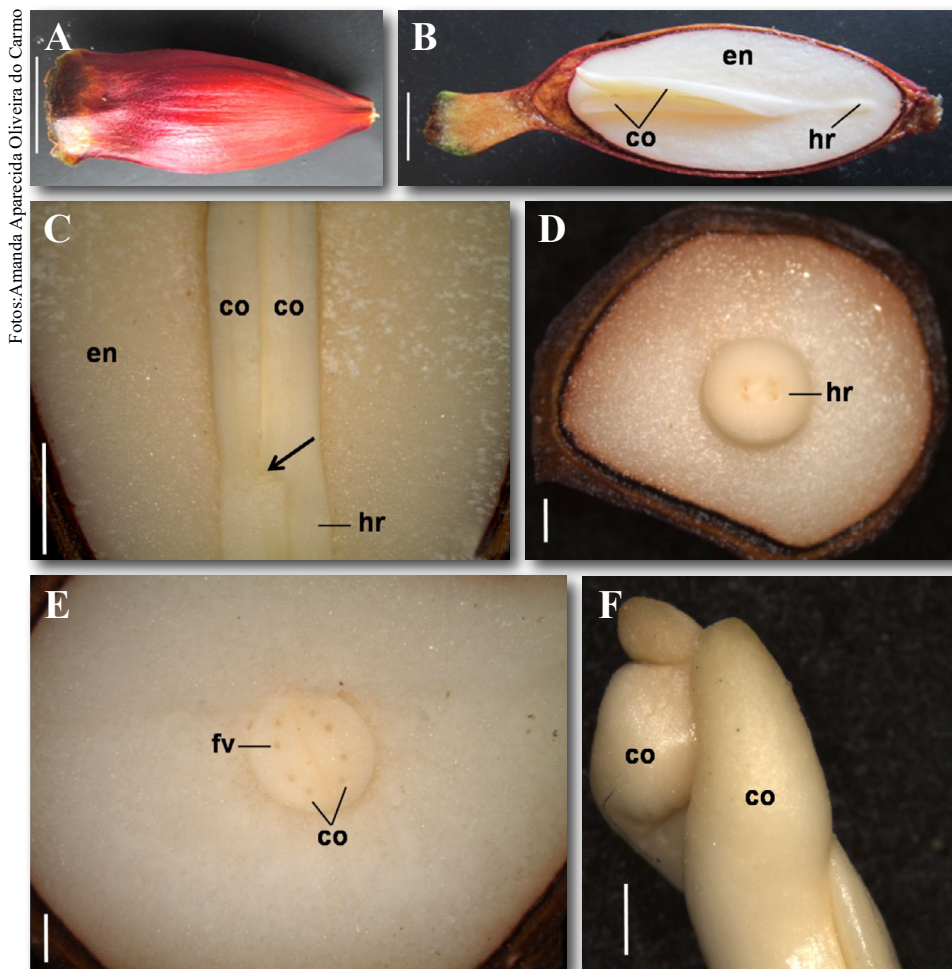


Figura 7. Morfologia do pinhão de *Araucaria angustifolia*. Aspecto geral do pinhão (“protocarpo/espermatocarpo”) (A); pinhão secionado longitudinalmente, mostrando endosperma e embrião envolvidos pela folha estrobilar (B); endosperma e embrião secionados longitudinalmente (seta indica plúmula) (C); pinhão secionado transversalmente, mostrando endosperma, eixo hipocótilo-radicular (D) e dois “cotilédones” (E); ápices de ambos os “cotilédones” (F). co = “cotilédones”; en = endosperma; fv = feixe vascular; hr = eixo hipocótilo-radicular. Barras = 3 mm (C-F), 1 cm (B), 2 cm (A).



A estrutura do envoltório do pinhão foi detalhadamente investigada por Sampaio et al. (2019), que o consideraram como tegumento seminal, que é interpretação contrária à assumida nesse trabalho sobre parede do fruto. Segundo essas autoras, a parede do pinhão consiste de epiderme, esclerênquima e parênquima. A epiderme é cuticularizada e possui células mais ou menos comprimidas. O esclerênquima é composto de duas regiões: uma subepidérmica que consiste de 6-7 estratos de fibrotraqueídes, que exibem paredes espessas, pontoadas, lignificadas, com conteúdo lipídico; e outra mais interna, que mostra tipos diferentes de esclereídes, como macrosclereídes, esclereídes ramificadas e esclereídes filiformes. O tecido parenquimático, localizado mais internamente na parede do pinhão, pode apresentar compostos fenólicos e amido.

Considerações sobre a formação do embrião da semente

Goeten et al. (2020) relatam o processo estrutural minucioso de pré-fertilização e de reinterpretação da formação do embrião em *A. angustifolia*. De acordo com os autores, o desenvolvimento reprodutivo desde a polinização até a formação tardia do embrião leva cerca de 23 meses. Os autores complementam que, durante os 13 meses iniciais após a polinização, ocorre o desenvolvimento de células e tecidos essenciais para a reprodução, ainda em fase de pré-fertilização. Ao longo desse período, os pesquisadores notaram que o pólen assumia estado de dormência na região da micrópila (poro microscópico) do óvulo. O trabalho mostra, pela primeira vez, segundo os autores, poliembrionia polizigótica, que consiste na fertilização múltipla de arquegônios (estruturas multicelulares do óvulo que contêm oosferas ou gametas femininos), em que cada um origina o respectivo embrião.

Referências

- BREUNINGER, M.; EINIG, W.; MAGELI, E.; CARDOSO, E.; HAMPP, R. Mycorrhiza of Brazil Pine (*Araucaria angustifolia* [Bert. O. Ktze.]). **Plant Biology**, v. 2, p. 4-10, 2000.
- GARCIA, R. J. F. Araucariaceae. In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J.; GIULIETTI, A. M.; MELHEM, T. S.; BITTRICH, V.; KAMEYAMA, C. (ed.). **Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: FAPESP, Hucitec, 2002. v. 3. p. 1-2.
- GOETEN, D.; ROGGE-RENNER, G. D.; SCHMIDT, E. C.; BOUZON, Z. L.; FARIAS-SOARES, F. L.; GUERRA, M. P.; STEINER, N. Updating embryonic ontogenesis in *Araucaria angustifolia*: from Burlingame (1915) to the present. **Protoplasma**, v. 257, p. 931-948, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-020-01481-5>.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests: an architectural analysis**. Berlin: Springer Verlag, 1978. 444 p.
- HERTEL, R. J. G. Contribuições para a fitologia teórica II. Alguns conceitos de carpologia. **Humanitas**, v. 4, n. 4, p. 1-43, 1959.
- HERTEL, R. J. G. Estudos sobre *Araucaria angustifolia* II. A constituição do estróbilo. **Acta Biológica Paranaense**, v. 5, n. 3-4, p. 3-25, 1976.
- HERTEL, R. J. G. **Interpretação morfológica da *Araucaria angustifolia***. Curitiba, 1980. Tese apresentada em concurso para professor titular na Universidade Federal do Paraná.
- JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Ficha de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.



- MATTOS, P. P.; BORTOLI, C.; MARCHESAN, R.; ROSOT, N. C. **Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 160). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/307327>.
- MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S. F. B.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Mycorrhiza**, v. 1, p. 211-215, 2003.
- ROSA, T. S.; HILLIG, E.; VIANA, L. C. Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze e sua relação com os anéis de crescimento. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2013.
- SAMPAIO, D. A.; GARCIA, R. A.; LIMA, H. R. P. Anatomical and physicochemical characterization of the *Araucaria angustifolia* seed coat. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, e20170867, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.086717>.
- SILVEIRA, T. I. **Morfologia foliar de espécies arbóreas de um capão de floresta ombrófila mista, PR, Brasil**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SOUZA, L. A. Fruto. In: SOUZA, L. A. (org.). **Anatomia do fruto e da semente**. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2006. p. 9-123
- SPJUT, R. W. A systematic treatment of fruit types. **Memoirs of the New York Botanical Garden**, v. 70, p. 1-182, 1994.

