



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
Colegiado do CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



**Ciências  
Biológicas**  
UEL

---

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**PAOLA CHAVES ROSA**

**Estudo comparativo da viabilidade e composição  
dos grãos de pólen em *Coffea canephora* e  
*ARAMOSA***

---

Londrina – Paraná  
2025

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**PAOLA CHAVES ROSA**

**Estudo comparativo da viabilidade e composição  
dos grãos de pólen em *Coffea canephora* e  
*ARAMOSA***

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina como um dos requisitos à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

**Orientador: André Luis Laforga Vanzela**

**Londrina – Paraná  
2025**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

C512 Rosa, Paola Chaves .  
ESTUDO COMPARATIVO DA VIABILIDADE E COMPOSIÇÃO DOS GRÃOS DE PÓLEN EM *Coffea canephora* E ARAMOSA / Paola Rosa. - Londrina, 2025. 46 f.

Orientador: Andre Luis Laforga Vanzela .  
Coorientador: Marcela Blagitz Ferraz do Nascimento.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, 2025.  
Inclui bibliografia.

1. Viabilidade polínica - TCC. 2. Anteras – microgametogênese - TCC. 3. Citoquímica vegetal - TCC. 4. Anatomia vegetal- TCC. I. Luis Laforga Vanzela , Andre . II. Blagitz Ferraz do Nascimento, Marcela . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU 58

## **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. André Luis Laforga Vanzela

Profa. Dra. Marcela Blagitz Ferraz do Nascimento

Me. Lucas Johnen

Prof. Dr. Carlos Miqueloto (suplente)

Londrina, 17 de novembro de 2025

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família, em especial à minha mãe e ao meu pai, pelo apoio incondicional, incentivo constante e por acreditarem em mim em todas as etapas desta jornada acadêmica.

Aos meus colegas e amigos, que compartilharam comigo momentos de aprendizado, amizade, ansiedade, estresse, alegria e choro, contribuindo para tornar este percurso mais leve.

À Fundação Araucária, pelo fomento da bolsa e por contribuir de maneira essencial para minha permanência estudantil, além do constante apoio e incentivo à pesquisa.

Ao laboratório de citogenética e diversidade vegetal (LCDV), pela infraestrutura, acolhimento e contribuições técnicas fundamentais para a realização deste trabalho, e aos colegas de laboratórios em especial a Juliana Machado e principalmente ao meu orientado André Vanzela.

Meus agradecimentos à Universidade Estadual de Londrina e a todos os professores que fizeram parte da minha formação.

Agradeço também à minha gatinha, cuja presença e carinho foram essenciais para meu bem-estar emocional durante todas as etapas deste processo.

Por fim, registro minha gratidão a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho e da minha jornada acadêmica. A cada um, meu sincero muito obrigada.

ROSA, Paola Chaves. **Estudo comparativo da viabilidade e composição dos grãos de pólen em *Coffea canephora* e ARAMOSA.** 2025. 46 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2025.

## RESUMO

Este estudo comparou a viabilidade e a composição dos grãos de pólen de *Coffea canephora* e ARAMOSA (híbrido natural de *C. arabica* × *C. racemosa*), analisados em 2015 e 2025. Foram realizadas análises anatômicas e citoquímicas em cortes histológicos corados com azul de toluidina, Coomassie Blue, Sudan III e Lugol. Em 2015, *C. canephora* apresentou 88,18% de viabilidade polínica e ARAMOSA 84,50%. Em 2025, ambas as espécies exibiram redução significativa ( $p > 0,05$ ), com ARAMOSA decaindo para 65,60% e *C. canephora* para 72,89%. A comparação interespecies também indicou diferenças significativas ( $p > 0,05$ ), confirmando maior proporção de grãos inviáveis em ARAMOSA. Esse padrão é compatível com relatos de que híbridos interespecíficos podem apresentar irregularidades meióticas e redução de fertilidade. As análises citoquímicas mostraram reação mais intensa ao Lugol em ARAMOSA, sugerindo maior acúmulo de amido, enquanto *C. canephora* apresentou mais grãos com coloração fraca ou ausente. Como o amido é usado na germinação, mas menor teor pode favorecer maior proporção de açúcares solúveis associados à tolerância ao estresse térmico, essas diferenças podem refletir respostas fisiológicas distintas. Os resultados reforçam que *C. canephora* mantém maior estabilidade reprodutiva no período avaliado, enquanto ARAMOSA mostrou maior variação temporal. Esses achados contribuem para entender a biologia reprodutiva de *Coffea* e destacam a importância de estudos adicionais sobre os efeitos ambientais recentes na viabilidade polínica.

**Palavras-chave:** anatomia vegetal. citoquímica. microgametogênese. viabilidade polínica.

Rosa, Paola Chaves. **Comparative study of pollen grain viability and composition in *Coffea canephora* and ARAMOSIA**. 2025. 46 pgs. Final Dissertation (Biological Sciences Undergraduation) – Londrina State University. Londrina. 2025.

## ABSTRACT

This study compared the viability and composition of pollen grains from *Coffea canephora* and ARAMOSIA (a natural hybrid of *C. arabica* × *C. racemosa*), analyzed in 2015 and 2025. Anatomical and cytochemical analyses were performed on histological sections stained with toluidine blue, Coomassie Blue, Sudan III, and Lugol's iodine. In 2015, *C. canephora* exhibited 88.18% pollen viability, while ARAMOSIA showed 84.50%. In 2025, both species displayed a significant reduction ( $p > 0.05$ ), with ARAMOSIA declining to 65.60% and *C. canephora* to 72.89%. Inter-species comparisons also indicated significant differences ( $p > 0.05$ ), confirming higher proportions of non-viable pollen grains in ARAMOSIA. This pattern is consistent with reports that interspecific hybrids may exhibit meiotic irregularities and reduced fertility. Cytochemical analyses revealed a stronger Lugol reaction in ARAMOSIA, suggesting greater starch accumulation, whereas *C. canephora* showed a higher frequency of grains with weak or absent staining. Because starch supports germination, but lower starch content may favor higher proportions of soluble sugars associated with thermal stress tolerance, these differences may reflect distinct physiological responses. The results reinforce that *C. canephora* maintains greater reproductive stability over time, whereas ARAMOSIA showed higher temporal variation. These findings contribute to understanding the reproductive biology of *Coffea* and highlight the importance of further studies on the environmental factors influencing pollen viability.

**Keywords:** cytochemistry. microgametogenesis. pollen viability. plant anatomy.

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>03</b>
<b>2.1 HISTÓRIA DO CAFÉ .....</b>	<b>03</b>
<b>2.2 O GÊNERO <i>COFFEA</i> .....</b>	<b>06</b>
<b>2.3 MORFOLOGIA E ANATOMIA DO CAFÉ .....</b>	<b>09</b>
<b>2.4 GRÃO DE PÓLEN VIABILIDADE POLINICA.....</b>	<b>11</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O café pertence à família Rubiaceae e ao gênero *Coffea*, sendo uma planta típica de regiões de clima quente e úmido. A família Rubiaceae abrange mais de 10 mil espécies, distribuídas em cerca de 630 gêneros, com mais de 100 espécies pertencentes ao gênero *Coffea* (Melo *et al.*, 2011). No Brasil, o café desempenha um papel crucial tanto do ponto de vista econômico quanto social. Os estabelecimentos familiares no Brasil são responsáveis por 52% do valor total da produção (Kageyama *et al.*, 2013). O café está profundamente inserido na realidade socioeconômica do país. Estados como Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, São Paulo e Rondônia se destacam como os maiores produtores (Conab, 2024), com Minas Gerais alcançando uma produção estimada de 30,18 milhões de sacas. O Brasil, maior produtor e exportador mundial de café, tem o grão como o segundo produto mais consumido nacionalmente (Embrapa, 2015).

No âmbito biológico, o grão de pólen é o gametófito masculino, responsável pelo transporte das células espermáticas que fertilizam os gametófitos femininos presentes nos óvulos das flores. Ele é produzido nas anteras, localizadas no topo dos estames. Cada grão de pólen contém dois gametas masculinos que, ao serem transferidos para o estigma de uma flor compatível, promovem a dupla fecundação. Esse processo resulta no desenvolvimento do embrião e do endosperma, componentes essenciais da semente, além de levar à formação de frutos e sementes a partir do ovário fecundado (Raven, 2014). O pólen é um elemento chave para garantir a reprodução eficiente, influenciando diretamente a produtividade da planta (Faegri, 1979). A literatura demonstra que o acúmulo e subsequente metabolismo do amido são etapas críticas da maturação do pólen, sendo frequentemente utilizados como indicadores de qualidade reprodutiva. (Pacini *et al.*, 2006).

Estudar o pólen é fundamental para entender a biologia reprodutiva de culturas economicamente importantes como o café. A quantidade e a viabilidade dos grãos de pólen afetam diretamente o sucesso da fertilização e, conseqüentemente, a produção de frutos. A viabilidade polínica refere-se à capacidade do pólen de germinar e fertilizar o óvulo, sendo um indicativo crucial para o sucesso reprodutivo da planta (Neto, *et al.*, 2006). Nem todos os grãos de pólen são viáveis, e algumas espécies produzem uma fração significativa de pólen inviável, o que pode comprometer a reprodução eficiente das plantas. A viabilidade do pólen é influenciada por diversos fatores, incluindo alterações genéticas, bioquímicas e ambientais, como variações de temperatura, umidade e poluentes atmosféricos (Raven *et al.*, 2014; Shivanna & Rangaswamy, 2003). Por exemplo, mutações genéticas podem afetar a formação adequada dos gametas masculinos, enquanto desequilíbrios bioquímicos, como deficiências nutricionais, reduzem a longevidade do pólen (Stanley & Linskens, 1974). Além disso, condições ambientais extremas, como altas temperaturas, aceleram a degradação do pólen, diminuindo sua capacidade de germinação no estigma (Shivanna & Rangaswamy, 2003). Esses aspectos são cruciais para entender as limitações reprodutivas em plantas, especialmente em contextos de mudança climática, e formam um pilar fundamental para investigações sobre produtividade vegetal.

A análise da viabilidade polínica é crucial para trabalhos de melhoramento genético, pois permite identificar variedades de café com maior potencial reprodutivo e produtivo. Compreender as características dos grãos de pólen, como quantidade e viabilidade, pode auxiliar no desenvolvimento de novas variedades que sejam mais resistentes e produtivas, contribuindo para a sustentabilidade da cafeicultura e a maximização da produção.

No Brasil as espécies *C. canephora* e *C. arábica* tem grande importância que correspondem a cerca de 74% e 26%, respectivamente, da produção nacional (Conab, 2017). Entre essas duas espécies cultivadas, *Coffea canephora* é amplamente utilizada na produção de café tipo robusta, apresentando características agrônômicas de interesse, como tolerância a condições abióticas adversas, incluindo altas temperaturas (acima de 25°C), solos ácidos (pH inferior a 5,5), resistência relativa à seca e altitudes mais baixas (até 800 m), além de elevado rendimento em ambientes tropicais úmidos e com alta incidência de pragas e doenças (Ferrão *et al.*, 2021; Davis *et al.*, 2006). Essas adaptações tornam a espécie mais produtiva em regiões com desafios climáticos e edáficos, comparada à *Coffea arabica*, que é mais sensível a tais estresses (Clifford & Willson, 1985).

A hipótese central do presente trabalho é que existem diferenças significativas entre *C. canephora* e ARAMOSA quanto à quantidade de grãos de pólen por antera, principalmente devido ao fato de que ARAMOSA é um híbrido comercial com genótipos diferentes dos outros cafés sendo  $2n = 44$ , tendo mais instabilidade nos gametas, gerando assim um maior número de grãos de pólen inviáveis. Como objetivo geral, propõe-se comparar quantitativamente e qualitativamente os grãos de pólen de *Coffea canephora* e ARAMOSA.

Neste contexto, a justificativa para a realização do estudo apoia-se na necessidade de gerar conhecimento aplicável ao melhoramento genético e à conservação do potencial reprodutivo de materiais de café, visto que diferenças na viabilidade do pólen podem afetar diretamente o sucesso reprodutivo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 História do café**

Alguns historiadores apontam que as referências mais antigas ao uso do café remontam aproximadamente aos anos 962 e 1000 a.C. Essa interpretação se apoia em uma passagem do livro bíblico de Samuel. No relato, Davi atravessa o rio Jordão enquanto foge de um de seus filhos, que tentava tomar-lhe o trono. Entre os alimentos levados para sustentar Davi nesse momento, é mencionado um grão torrado que, segundo certos pesquisadores, poderia corresponder à baga de café já torrada (Portal São Francisco, s.d.; Grupo Unibra, 2022).

De acordo com estudos históricos, o café acompanha a humanidade há mais de cinco milênios, sendo tema de narrativas em diversas culturas e idiomas. Há registros indicando que seu uso não se restringia à região tradicionalmente apontada como o berço da planta, a Etiópia, mas que já se fazia presente em diferentes locais. Apesar da denominação *Coffea arabica* e das associações ao mundo árabe, as evidências apontam que sua origem mais aceita está no continente africano, conforme afirma Galeti apud Pereira (2008, p. 12).

O café tem origem na região montanhosa da Etiópia, onde relatos tradicionais do século IX indicam seu uso por populações locais devido ao efeito estimulante dos frutos de *Coffea* (Pendergrast, 2010). Segundo Galeti apud Pereira (2008), o café seguiu uma rota de difusão que atravessou o Mar Vermelho até alcançar a Península Arábica. Essa trajetória explica por que a cultura árabe incorporou tão fortemente a bebida, desenvolvendo alguns dos primeiros métodos de preparo conhecidos. O autor também destaca que peregrinos que visitavam as cidades sagradas tiveram papel fundamental na circulação do café. Ao transportarem clandestinamente sementes e grãos, eles contribuíram para que a planta e o hábito de consumi-la se espalhassem por diferentes regiões do mundo.

A difusão global do café ganhou força a partir de sua introdução na Arábia, onde o cultivo adquiriu relevância social, inicialmente ligado ao uso medicinal. No século XVI, a bebida alcançou o Egito e, logo depois, a Turquia. No século XVII, o café chegou à Europa, expandindo-se rapidamente como uma das bebidas mais consumidas e transformando-se em uma das maiores commodities agrícolas do planeta (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022). Essa expansão global impulsionou grandes rotas comerciais, colonização agrícola e desenvolvimento de sistemas agroprodutivos baseados no gênero *Coffea*. Espalhando-se posteriormente para França, Alemanha, Suíça, Dinamarca e Holanda. Estes últimos desenvolveram extensas plantações em suas colônias e, assim como portugueses e franceses, foram responsáveis por levar o café ao continente americano (Ribeiro *et al.*, 2018).

No Brasil, o café foi introduzido em 1727 por Francisco de Melo Palheta, inicialmente no estado do Pará conforme Alcides Carvalho (IAC, 2007), mas antes o café foi introduzido na Guiana Holandesa, no Suriname, e posteriormente levado para a Guiana Francesa, de onde entrou no Brasil. Entretanto, foi no século XIX que a cultura experimentou grande expansão, como retratara Pereira (2008).

Ao longo do século XX, a cultura avançou para o Paraná, Minas Gerais e Espírito Santo, consolidando o Brasil como o maior produtor e exportador mundial de café, posição que ocupa há muitos anos (CONAB, 2023). A relevância econômica e social do café reforça a importância de estudos relacionados à reprodução, genética e sustentabilidade das espécies cultivadas.

O Paraná tornou-se um dos principais polos cafeeiros do país entre as décadas de 1950 e 1970, contribuindo significativamente para a produção nacional (Ribeiro, 2020). O cultivo enfrentou declínio após as intensas geadas de 1975, que devastaram plantações e deslocaram a cafeicultura para estados mais ao norte. Porém,

atualmente o estado mantém produção expressiva, com destaque para cultivares adaptadas a temperaturas mais baixas, como *Coffea arabica*. Nos últimos anos, programas regionais têm promovido estudos sobre diversificação de espécies, incluindo introdução experimental de *C. canephora* em ambientes subtropicais (CONAB, 2023).

## 2.2 O gênero *Coffea*

O gênero *Coffea* pertence à família Rubiaceae, uma das maiores famílias de angiospermas abrange mais de 10 mil espécies, distribuídas em cerca de 630 gêneros, com mais de 100 espécies pertencentes ao gênero *Coffea* (Melo & Sousa, 2011). Dentro desta família, *Coffea* constitui um grupo singular, caracterizado pela produção de sementes com elevado teor de cafeína, além de possuir grande importância econômica global. Estudos taxonômicos indicam que o gênero está distribuído predominantemente nas regiões tropicais da África e ilhas do Oceano Índico, especialmente Madagascar, Comores e Reunião (Ferrão *et al.*, 2021).

A diversidade genética dentro do gênero é ampla. A maioria das espécies de café ocorre em ambientes de sub-bosque de florestas tropicais úmidas, apresentando adaptações fisiológicas e reprodutivas variadas, muitas delas relacionadas ao regime hídrico, disponibilidade de luz e interações com polinizadores (Guyot *et al.*, 2025). Contudo, apesar dessa riqueza genética, duas espécies, *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, dominam a maioria da produção mundial de café (FAOStat/ICO, safra 2022/2023). Outras espécies, embora pouco cultivadas, têm atraído atenção por seu potencial no melhoramento genético, tolerância à seca, resistência a pragas e doenças e maior diversificação aromática (Jordaim *et al.*, 2025).

Do ponto de vista evolutivo, o gênero apresenta dois grandes grupos citogenéticos: espécies diploides ( $2n = 22$ ), como *C. canephora*, *C. liberica* e *C.*

*racemosa*, e espécies tetraploides ( $2n = 44$ ), como *C. arábica*, cuja origem envolve hibridização natural entre *Coffea canephora* e *Coffea eugenioides* (Charrier & Berthaud, 1985; Lashermes *et al.*, 1999). A hibridização desempenha papel fundamental na evolução do gênero, frequentemente gerando novos materiais adaptativos, como é o caso de ARAMOSA.

*Coffea canephora* foi descrita por Pierre em 1895 e possui distribuição natural abrangente na África Ocidental e Central, incluindo países como República Democrática do Congo, Uganda, Angola e Costa do Marfim (Davis *et al.*, 2006). Em ambientes naturais, ocorre tipicamente em florestas úmidas de baixa altitude, caracterizadas por elevada temperatura média anual, solos profundos e alta umidade relativa. Essa adaptação ecológica explica sua elevada tolerância ao calor, à luminosidade intensa e até mesmo à seca moderada quando cultivada. Desde o final do século 19, o termo “café robusta” tem sido empregado para designar a espécie *Coffea canephora* (Jordaim *et al.*, 2025).

Geneticamente, *C. canephora* é uma espécie diplóide que apresentam uma das maiores diversidades genéticas entre as espécies de *Coffea*. Do ponto de vista reprodutivo, se destaca por possuir sistema autoincompatível, resultado de um complexo sistema gametofítico que impede a autofecundação e favorece a polinização cruzada. Essa característica promove maior variabilidade genética intraespecífica, mas também exige manejo adequado no campo, como o plantio de clones compatíveis entre si (Souza *et al.*, 2022). A polinização é realizada principalmente por insetos, com destaque para abelhas, um estudo da Embrapa Meio Ambiente de SP demonstrou que a presença das abelhas introduzidas aumentou a produtividade em 16,5%, passando de 32,5 para 37,9 sacas por hectare. (Embrapa, 2024).

*Coffea canephora*, conhecida comercialmente como “café robusta”, é amplamente cultivada em regiões tropicais, sobretudo em altitudes mais baixas e climas quentes e úmidos. Essa adaptabilidade ambiental, somada à sua diversidade genética, torna-a uma importante espécie para produção em ambientes tropicais, especialmente onde condições de temperatura e umidade seriam desfavoráveis para *C. arábica*, por exemplo (DAVIS *et al.*, 2006).

*C. canephora*, como espécie silvestre africana, evoluiu sob condições de elevada umidade e temperatura, desenvolvendo alto vigor vegetativo, grande rusticidade, alta produtividade e forte dependência da polinização cruzada devido à autoincompatibilidade (Souza *et al.*, 2022). Tendo sua variabilidade genética é ampla.

ARAMOSA é um híbrido natural raro resultante do cruzamento entre *Coffea arabica* e *Coffea racemosa* (Perfect Daily Grind Brasil, 2024). Sua origem está associada à coexistência dessas duas espécies em coleções de germoplasma e ambientes de conservação, onde a polinização cruzada possibilitou a formação de híbridos férteis. Estudos genômicos confirmam sua origem híbrida e apontam que ARAMOSA herdou características relevantes de ambas as espécies parentais. Embora pouco conhecida comercialmente, ARAMOSA ganhou interesse científico devido ao seu valor para o melhoramento genético. Estudos de caracterização morfológica e molecular demonstram que a espécie possui nível intermediário de fertilidade e viabilidade polínica variável, sugerindo que processos reprodutivos ainda não são totalmente compreendidos e necessitam de investigação, sobretudo no contexto da hibridização natural. A denominação “Aramosa” tem sido usada no setor cafeeiro como nome comercial para o híbrido. por ser um híbrido, carrega material genético de duas espécies muito diferentes, expressando características intermediárias e adaptativas. Sua tolerância à seca e eficiência hídrica são herdadas de *C. racemosa* (Davis *et al.*, 2006),

enquanto parte do potencial produtivo deriva de *C. arabica*. Contudo, a espécie ainda é pouco estudada, e há lacunas importantes sobre sua biologia floral, seu sistema reprodutivo e sua fisiologia polínica.

A literatura científica sobre *ARAMOSA* é escassa em comparação à robusta base de conhecimento sobre *C. canephora*, especialmente no que diz respeito a estudos reprodutivos, composição dos grãos de pólen e viabilidade polínica. Essa falta de estudos comparativos sustentados reforça a relevância da presente pesquisa. Além de que o Brasil, maior produtor e exportador mundial de café, tem o grão como o segundo produto mais consumido nacionalmente (Souza et al., 2022).

### **2.3 Morfologia e anatomia do café**

O cafeeiro pertence às Fanerógamas, dentro do grupo das Angiospermas, subclasse Dicotyledoneae, ordem Rubiales e família Rubiaceae, especificamente na tribo Coffeae e subtribo Coffeinae, que reúne o gênero *Coffea* (Davis et al., 2006). As plantas do gênero são predominantemente arbustivas a arbóreas de pequeno porte, variando entre 1 e 10 metros de altura, apresentando ramificação plagiotrópica característica. As folhas são simples, inteiras, glabras ou levemente pubescentes, com nervação peninérvia evidente e estípulas interpeciolares — uma característica diagnóstica da família Rubiaceae (KEW SCIENCE, s.d.; Instituto de Botânica, 2007). As inflorescências são axilares, geralmente organizadas em pares, com calículo visível e cálice truncado a levemente lobado. As flores são hermafroditas, com corolas brancas ou, mais raramente, róseas; seus botões florais apresentam pétalas sobrepostas, com contorção voltada para a esquerda, padrão típico do gênero (Souza et al., 2013). O fruto é uma drupa contendo duas sementes plano-convexas, sulcadas longitudinalmente em sua face plana, que constituem os grãos de café utilizados comercialmente (Unigarro et al., 2025).

A morfologia floral de *Coffea* é igualmente característica. As flores são brancas, pequenas, actinomorfas e reunidas em glomérulos axilares, capazes de liberar intensas fragrâncias adocicadas, cujo papel ecológico está associado à atração de polinizadores, principalmente abelhas. As flores de *Coffea* tipicamente apresentam corola tubular com lobos e estames inseridos na corola, e o ovário é ínfero, compatível com as características da família Rubiaceae (DAVIS *et al.*, 2006).

O fruto de *Coffea* é uma drupa (a “cereja do café”), composta por exocarpo (casca/epicarpo), mesocarpo carnoso e mucilaginoso e endocarpo rígido que envolve as sementes (Corrêa *et al.*, 2004). O mesocarpo contém mucilagem rica em pectinas e açúcares solúveis, e sua presença e manejo durante o beneficiamento (pulpa, fermentação e lavagem) influenciam fortemente os processos de degradação microbiana, fermentação e secagem, afetando, por sua vez, características sensoriais da bebida final (Kc *et al.*, 2021). Por outro lado, o endocarpo atua como camada protetora e é removido mecanicamente (descaroçamento) após a secagem, constituindo um resíduo importante no processamento industrial do café.

Assim, a anatomia e a morfologia do gênero *Coffea* revelam um conjunto complexo e funcional de características que refletem sua adaptação evolutiva a ambientes tropicais, influenciam diretamente seu desempenho agrônômico e sustentam a importância econômica do grupo. A compreensão aprofundada dessas estruturas é essencial para estudos de taxonomia, ecologia, fisiologia e melhoramento genético, especialmente diante das demandas crescentes da cafeicultura moderna por espécies e variedades mais resilientes e produtivas.

#### **2.4 Grão de pólen e a viabilidade polínica**

A formação do grão de pólen é um processo fundamental para a reprodução das angiospermas e ocorre por meio de duas etapas principais: a microsporogênese e a microgametogênese. Testes genéticos bastante abrangentes para mutantes de pólen foram realizados por vários laboratórios, com resultados que ressaltam a complexidade da microsporogênese (ScienceDirect, 2025), onde, células-mãe do pólen (microsporócitos), localizadas nos sacos polínicos, sofrem meiose e formam tétrades contendo quatro micrósporos haploides. Em seguida, durante a microgametogênese, cada micrósporo sofre mitose e se diferencia em um grão de pólen imaturo contendo uma célula vegetativa e uma célula generativa; esta última, posteriormente, também se divide mitoticamente, originando dois gametas masculinos.

Um aspecto crucial do desenvolvimento do pólen é a sua composição bioquímica. Durante a maturação, ocorre acúmulo de reservas energéticas, principalmente de carboidratos como amido, que são essenciais para a germinação do tubo polínico e para o crescimento célula a célula ao longo do estilete (Wang *et al.*, 2022). A quantidade de amido é um dos fatores mais associados à viabilidade polínica, podendo variar amplamente conforme a espécie, condições ambientais e estágio de maturação do anterídio. Durante a fase final da maturação, os grãos de pólen podem apresentar parada no desenvolvimento, que envolve desidratação programada. Essa desidratação é necessária para a máxima manutenção da viabilidade do pólen contra diversos estresses ambientais (Pacini *et al.*, 2006). Quando totalmente maduros, os grãos de pólen são liberados da antera deiscente para dispersão.

Após sua deposição no estigma, o grão de pólen hidrata-se e ativa seu metabolismo, iniciando a germinação. A célula vegetativa forma o tubo polínico, que cresce pelo estilete em direção ao ovário, orientado por sinais moleculares e mantido pelo consumo das reservas energéticas acumuladas no pólen (Pacini *et al.*, 2006). Os

gametas masculinos são conduzidos pelo tubo, onde ocorre a dupla fecundação: um gameta se une à oosfera, formando o embrião, e o outro aos núcleos polares, formando o endosperma, que nutrirá a semente em desenvolvimento. A eficiência desse processo está diretamente relacionada à qualidade fisiológica do pólen, ressaltando a importância de estudos que investiguem sua viabilidade e composição (Rutley *et al.*, 2015).

A viabilidade polínica refere-se à capacidade do pólen germinar, formar um tubo polínico funcional e permitir a fecundação (Pacini *et al.*, 2006). Essa característica é essencial para o sucesso reprodutivo da planta e influencia diretamente o desenvolvimento de sementes e, conseqüentemente, a produtividade agrícola. A viabilidade é afetada por fatores genéticos, fisiológicos e ambientais, como temperatura, umidade, disponibilidade nutricional e idade do grão. Estudos indicam que métodos como coloração com I<sub>2</sub>-KI, que identifica teor de amido, que mensura atividade metabólica, e germinação *in vitro*, que avalia funcionalidade real do pólen, são eficazes para determinar diferentes aspectos da viabilidade (Richardson *et al.*, 1992). Apesar disso, há pouca literatura comparando esses parâmetros especificamente entre *C. canephora* e ARAMOSA, representando uma lacuna importante no conhecimento científico.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi conduzido utilizando amostras de inflorescências de *Coffea canephora* e ARAMOSA (híbrido comercial derivado de *C. arabica* × *C. racemosa*) que foram coletadas em 2015 e posteriormente em 2025, ambas as coletas seguiram a metodologia a seguir, para uma análise de comparação. As coletas das inflorescências foram realizadas no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR-Paraná,

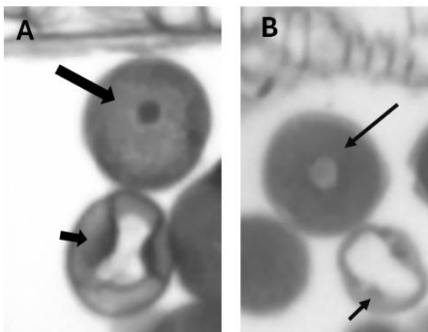
unidade de Londrina (PR), durante época de floração do cafeeiro na região (julho a agosto).

Após a coleta, as inflorescências foram imediatamente fixadas em glutaraldeído e formaldeído 4%, a fim de preservar a integridade estrutural dos grãos de pólen. Com material fixado, no Laboratório de Citogenética e Diversidade Vegetal (LCDV) da Universidade Estadual de Londrina, onde todos os procedimentos e análises microscópicas foram realizados, iniciou-se pelo emblocamento em historesina, seguindo as instruções do fabricante e o protocolo padronizado do LCDV para inclusão. Após a polimerização dos blocos, foram obtidos cortes histológicos seriados utilizando micrótomo rotativo, com espessura de 10-12 µm para visualização clara dos grãos de pólen e das estruturas anterais. Os cortes foram montados em lâminas e em seguida a coloração das amostras foi realizada utilizando diferentes corantes conforme o objetivo de cada análise. O azul de toluidina foi empregado para avaliação geral da morfologia e para a contagem dos grãos de pólen presentes nas anteras. Para as análises citoquímicas, foram utilizados três corantes específicos: Comassie Blue (para proteínas), Lugol (para detecção de amido) e o Sudam III (para contração de lipídeos). Todas as lâminas foram montadas com meio de montagem semipermanente.

A observação microscópica foi realizada em microscópio óptico de luz transmitida, equipado com sistema de captura de imagens digitais. As fotografias foram obtidas para registro e posterior análise quantitativa. Em seguida, procedeu-se à contagem dos grãos de pólen viáveis e inviáveis. Para a determinação da viabilidade, foram considerados viáveis somente os grãos cuja identificação fosse possível com segurança. Os grãos viáveis foram caracterizados pela presença de coloração nítida e homogênea, além de núcleo claramente definido. Os grãos inviáveis foram identificados pela ausência de conteúdo celular aparente, foram considerados apenas os grãos cuja

condição pôde ser determinada com precisão, uma vez que a análise bidimensional limita a visualização completa de alguns grãos, impedindo sua classificação segura (Imagem 1).

**Imagem 1. Micrografia de corte longitudinal anatômico da antera de *ARAMOSA* (A) e *Coffea canephora* (B), evidenciando a distinção entre grãos de pólen viáveis e inviáveis.** Na imagem A, referente a *ARAMOSA*, a seta espessa e longa indica um grão de pólen viável, enquanto a seta espessa e curta aponta para um grão de pólen inviável, caracterizado pela ausência de conteúdo. Na imagem B, de *Coffea canephora*, a seta fina e longa destaca um grão de pólen viável, e a seta fina e curta indica um grão inviável.



Os dados obtidos em 2025 foram comparados com os resultados de análises equivalentes realizadas previamente no âmbito de um projeto de Iniciação Científica desenvolvido no LCDV em 2024, que avaliou grãos de pólen de amostras de café coletadas em 2015. Essa comparação permitiu avaliar se há diferenças na viabilidade polínica entre o material coletado anteriormente e o material atual, possibilitando investigar potenciais impactos de mudanças climáticas recentes, especialmente o aquecimento global, sobre a biologia reprodutiva das plantas.

A análise estatística foi conduzida com o objetivo de verificar se as proporções de grãos viáveis e inviáveis diferiam significativamente entre as espécies e

entre os anos avaliados. Para isso, utilizou-se o teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ), apropriado para dados categóricos expressos em frequências, como número de grãos viáveis e inviáveis. O teste foi empregado tanto para comparar as espécies dentro de cada ano quanto para comparar os anos dentro de cada espécie. Além disso, foram calculadas medidas descritivas, como média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação, a fim de caracterizar a dispersão e o comportamento geral dos dados.

A escolha do teste do qui-quadrado se justifica pelo fato de que os dados são originados de contagens e não atendem às premissas de normalidade e continuidade necessárias para testes paramétricos como o teste *t*. Assim, o qui-quadrado se mostra metodologicamente mais adequado para verificar diferenças entre proporções em tabelas de contingência. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (versão 4.5.2), e a significância estatística foi considerada para valores de  $p < 0,05$ .

Além disso, realizamos análises citoquímicas utilizando diferentes corantes para identificar a presença de macromoléculas específicas nas anteras. Os seguintes corantes foram utilizados:

1. Coomassie Blue: utilizado para detectar proteínas (Southworth, 1973). O corante foi aplicado sobre as lâminas com os cortes anatômicos das anteras e deixado por 10 minutos em uma chapa aquecida a 60°C.
2. Lugol: utilizado para identificar amido (Johansen, 1940). O mesmo procedimento foi seguido, com o corante aplicado sobre as lâminas e mantido em chapa aquecida a 60°C por 10 minutos.
3. Sudan III para identificação de lipídios (Johansen, 1940).

Por fim, gráficos e tabelas (gerados no software R) foram elaborados para representar visualmente os resultados, incluindo boxplots para demonstrar a distribuição

dos grãos viáveis e inviáveis (gerados no Excel), além de gráficos de barras mostrando os percentuais de viabilidade ao longo do tempo (gerados no software R). Estes recursos visuais nos auxiliaram na interpretação dos padrões observados e na discussão dos resultados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise anatômica dos grãos de pólen revelou diferenças relevantes entre *ARAMOSA* e *Coffea canephora*. Na Imagem 1, que apresenta micrografias de cortes longitudinais das anteras, é possível distinguir com clareza grãos de pólen viáveis e inviáveis em ambas as espécies.

Os dados numéricos referentes ao total de grãos viáveis, inviáveis, totais e ao percentual de viabilidade estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Número de grãos de pólen viáveis, inviáveis, totais e percentual de viabilidade (%) de *ARAMOSA* e *Coffea canephora* nos anos de 2015 e 2025.**

A tabela apresenta o total de grãos de pólen avaliados para cada espécie em dois períodos distintos, bem como a quantidade de grãos viáveis e inviáveis e o percentual de viabilidade calculado a partir do total observado. Nota-se que ambas as espécies apresentaram redução na viabilidade polínica ao longo do período avaliado, com destaque para *ARAMOSA*, que apresentou a maior queda entre 2015 e 2025.

Ano	Espécie	Viáveis	Inviáveis	Total	Percentual_viavel
2015	<i>ARAMOSA</i>	7618	1397	9015	84.50
2015	<i>C. canephora</i>	6380	855	7235	88.18
2025	<i>ARAMOSA</i>	1276	669	1945	65.60
2025	<i>C. canephora</i>	2205	820	3025	72.89

Observa-se que, em ambos os anos analisados (2015 e 2025), *C. canephora* manteve maior viabilidade polínica quando comparada à *ARAMOSA*. Em 2015, *ARAMOSA* apresentou 84,50% de viabilidade, enquanto *C. canephora* atingiu 88,18%. Contudo, em 2025, ambas as espécies apresentaram redução significativa, sendo essa queda mais acentuada em *ARAMOSA* (65,60%), enquanto *C. canephora* reduziu para 72,89%. Esses resultados mostram que a viabilidade polínica diminuiu, especialmente na espécie híbrida. O que explica essa diminuição pode estar associado a diversos fatores. Entre eles o estresse térmico, já que altas temperaturas são conhecidas por comprometer o desenvolvimento e a viabilidade dos grãos de pólen (Hedhly, 2011; Arper, 2010). Diferenças no esforço amostral entre os anos também podem ter influenciado os resultados visto que o número amostral de 2015 foi maior que o de 2025. Além disso, variações intrínsecas entre indivíduos, como idade, vigor e características genéticas, são fatores que podem alterar a quantidade e a viabilidade do pólen produzido (Shivanna, 2003), visto que não foram os mesmo indivíduos coletados no dois anos.

A análise estatística foi conduzida para verificar se as proporções de grãos de pólen viáveis e inviáveis diferiam significativamente entre as espécies *ARAMOSA* e *Coffea canephora*, bem como entre os anos avaliados (2015 e 2025). Para isso, utilizou-se o teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ), apropriado para dados categóricos expressos em frequências absolutas de grãos viáveis e inviáveis. O teste foi aplicado para comparar as espécies dentro de cada ano e os anos dentro de cada espécie, com um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

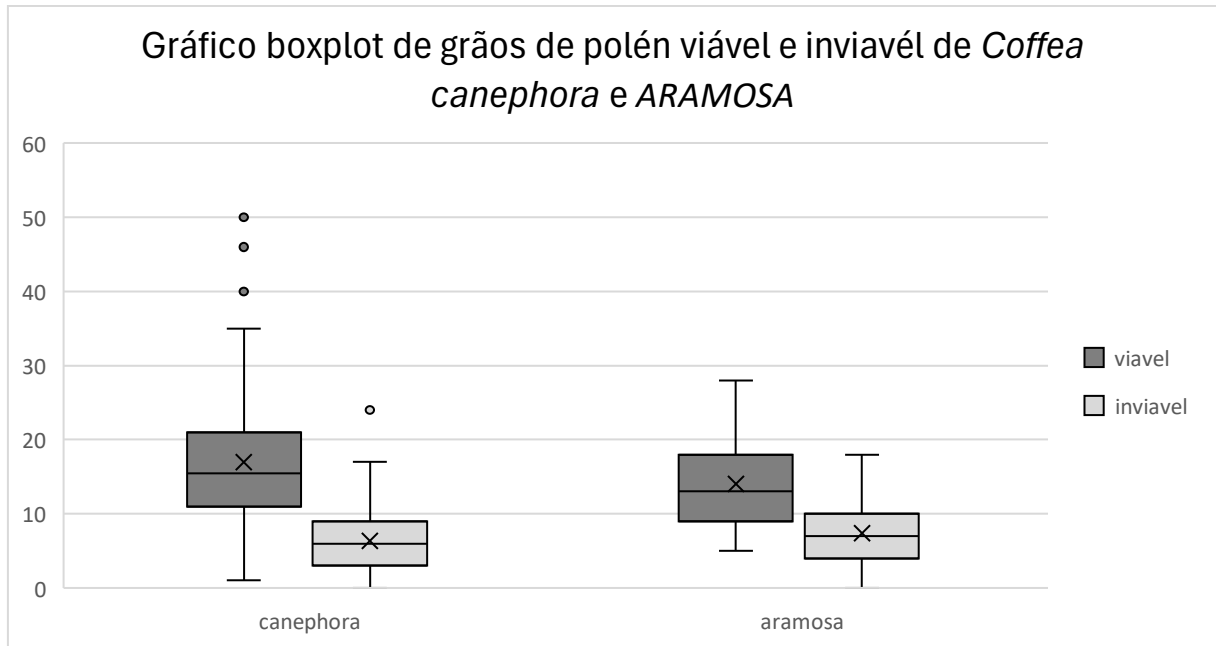
Os resultados do teste qui-quadrado indicaram diferenças significativas nas proporções de viabilidade entre as espécies em ambos os anos ( $\chi^2 = 45,67$ ,  $p < 0,001$  em 2015;  $\chi^2 = 112,34$ ,  $p < 0,001$  em 2025), com *C. canephora* exibindo

consistentemente maiores taxas de viabilidade. Além disso, houve diferenças significativas entre os anos para ambas as espécies ( $\chi^2 = 1.234,56$ ,  $p < 0,001$  para *ARAMOSA*;  $\chi^2 = 89,12$ ,  $p < 0,001$  para *C. canephora*), refletindo uma redução geral na viabilidade ao longo do tempo, possivelmente associada a fatores genéticos e/ou ambientais. Esses achados apoiam a hipótese de que a viabilidade do pólen é influenciada por características específicas das espécies e variações temporais, com implicações para a produtividade reprodutiva.

As diferenças entre as espécies na distribuição das frequências de grãos de pólen viáveis e inviáveis podem ser visualizadas no Gráfico 1, que apresenta boxplots dessas categorias. Observa-se que *C. canephora* apresenta valores medianos mais elevados de grãos viáveis, refletindo frequências maiores de viabilidade. Em contraste, *ARAMOSA* apresenta valores medianos inferiores de grãos viáveis e uma ligeira tendência a valores mais altos de pólen inviável, indicando uma distribuição com menor frequência de viabilidade geral.

**Gráfico 1 – Boxplot do número de grãos de pólen viáveis e inviáveis de *Coffea canephora* e *ARAMOSA*.**

O gráfico apresenta a distribuição dos grãos de pólen viáveis e inviáveis para as duas espécies analisadas. As caixas representam os quartis (Q1 e Q3), a linha horizontal indica a mediana e o “x” marca a média de cada grupo. As hastes superiores e inferiores mostram a amplitude dos dados, enquanto os pontos externos representam valores outliers. Observa-se que *C. canephora* apresenta maiores valores de grãos viáveis, enquanto *ARAMOSA* apresenta valores médios menores de pólen viável e ligeira tendência a maiores valores de pólen inviável.

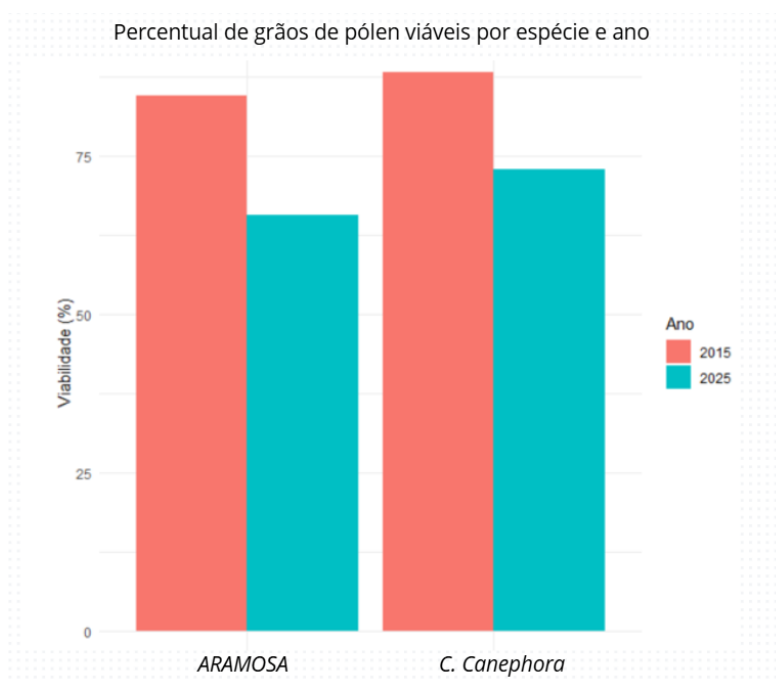


Esses padrões visuais são consistentes com os resultados do teste do qui-quadrado, que indicou diferenças significativas na proporção de grãos viáveis e inviáveis entre as espécies no ano avaliado, principalmente o *ARAMOSA*, essa maior ocorrência pode ser explicada pela sua condição de híbrido comercial entre *C. arabica* e *C. racemosa*. A diferença de ploidia entre os genitores tende a causar instabilidades meióticas e maior proporção de grãos inviáveis, como já apontado por estudos sobre fertilidade em híbridos vegetais (Lim *et al.*, 2025).

A análise temporal da viabilidade é aprofundada no Gráfico 2, que apresenta o percentual de grãos de pólen viáveis em 2015 e 2025. O gráfico mostra que, embora ambas as espécies tenham apresentado queda nos anos avaliados, essa redução é mais pronunciada em *ARAMOSA*. *C. canephora* mantém percentuais superiores nos dois períodos, demonstrando maior estabilidade reprodutiva. Essa diferença temporal reforça a hipótese de que *ARAMOSA* por ser um híbrido comercial tem maior quantidade de grãos de pólen abortados.

**Gráfico 2 – Percentual de grãos de pólen viáveis de *ARAMOSA* e *Coffea canephora* nos anos de 2015 e 2025.**

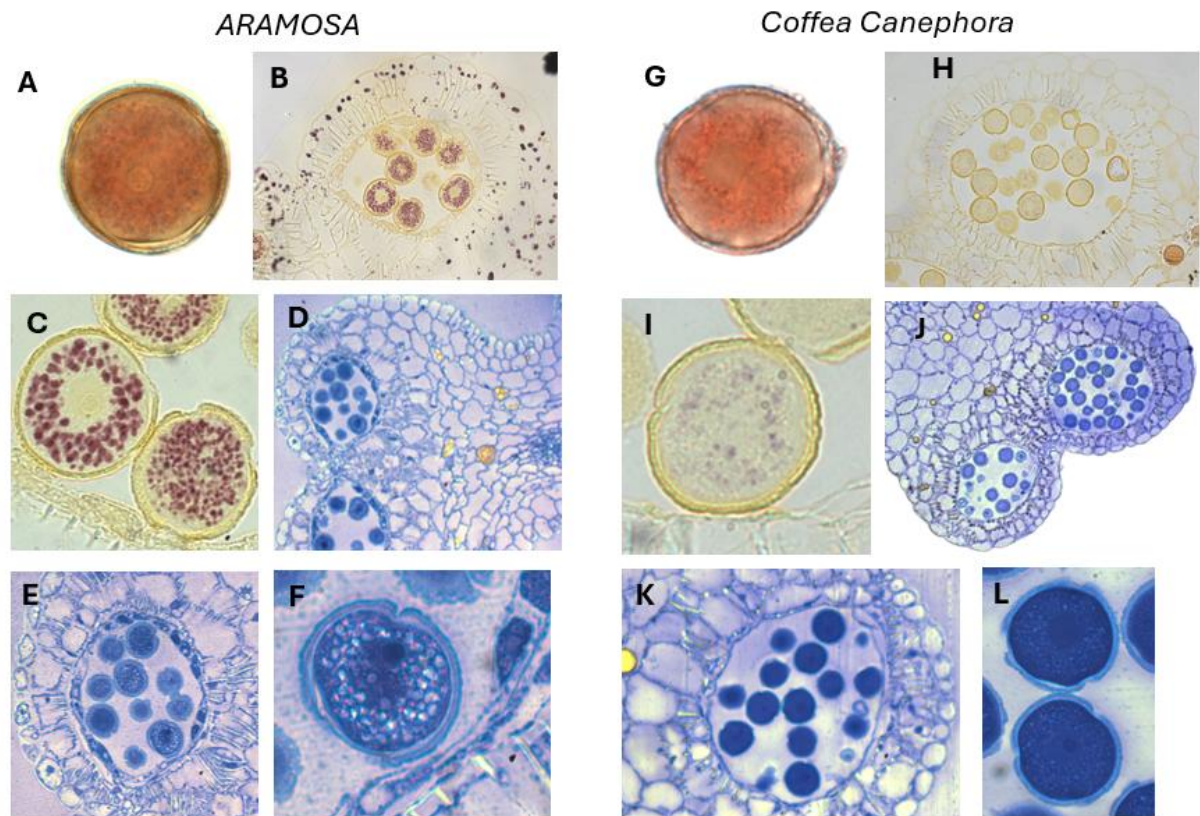
O gráfico apresenta o percentual de grãos de pólen viáveis para cada espécie nos dois anos avaliados. Observa-se que ambas as espécies apresentaram redução na viabilidade entre 2015 e 2025, sendo essa diminuição mais acentuada em *ARAMOSA*. *C. canephora* mantém maiores índices de viabilidade em ambos os anos, indicando maior estabilidade reprodutiva ao longo do período analisado.



A análise citoquímica dos grãos de pólen, apresentada na Imagem 2, complementa as observações anatômicas e quantitativas. Os corantes Sudan III e Coomassie Blue não revelaram diferenças marcantes entre as espécies. No entanto, o corante Lugol, utilizado para a detecção de amido, indicou distinções relevantes. Em *C. canephora*, alguns grãos apresentaram reação mais fraca ou ausência completa de cor, sugerindo menor quantidade de amido. Essa interpretação é reforçada pela presença de grânulos não corados no tratamento com Coomassie Blue, o que indica que esses grânulos provavelmente correspondem aos grãos de amido evidenciados (ou não) pelo

Lugol. Em *ARAMOSA*, a coloração pelo Lugol foi mais homogênea e intensa, sugerindo quantidade maior de amido nos grãos. Essa diferença bioquímica, embora sutil, pode influenciar a disponibilidade de energia para a germinação do grão de pólen e, conseqüentemente, o sucesso reprodutivo, uma vez que o amido atua como importante reserva energética.

**Imagem 2. Análises citoquímicas realizadas com os corantes Coomassie Blue, Sudan III e Lugol nas amostras de *ARAMOSA* e *Coffea canephora*.** A letra A representa a *ARAMOSA* utilizando o corante Sudan III, enquanto B e C correspondem a *ARAMOSA* analisada com o corante Lugol. As letras D, E e F indicam *ARAMOSA* sob o tratamento com Coomassie Blue. A letra G representa *Coffea canephora* utilizando o corante Sudan III, e H e I referem-se a *Coffea canephora* analisada com o corante Lugol. Por fim, as letras J, K e L correspondem a *Coffea canephora* analisada com Coomassie Blue. A análise citoquímica demonstrou que os corantes Coomassie Blue e Sudan III não apresentaram variações significativas entre as espécies. Entretanto, o corante Lugol, utilizado para a detecção de amido, sugere que *C. canephora* pode conter uma quantidade menor de amido em seus grãos de pólen. Isso é evidenciado pelo fato de que em *C. canephora*, alguns grãos não reagiram positivamente ao corante, enquanto outros apresentaram reação em menor intensidade. Além disso, em *C. canephora*, ocorrem também grânulos não corados no tratamento com Coomassie Blue, que provavelmente correspondem aos grãos de amido. Essa diferença não é vista em *ARAMOSA*. A diferença citoquímica, embora sutil, pode impactar o comportamento reprodutivo, uma vez que o amido desempenha um papel crucial como reserva energética. Aumento de 100x as letras A, G, F e L. Aumento de 60x nas letras C, E, I e K, aumento de 40x nas letras B e H.



Além dos resultados obtidos, os padrões observados neste estudo levantam questões importantes sobre a biologia reprodutiva das espécies de *Coffea* e sobre como fatores ambientais recentes podem estar modulando sua capacidade de reprodução. A diferença consistente entre ARAMOSOA e *C. canephora*, observada tanto na viabilidade polínica quanto na composição citoquímica dos grãos, sugere que essas espécies respondem de formas distintas ao estresse ambiental. A menor quantidade de amido em *C. canephora* sugere maior disponibilidade de açúcares solúveis no grão de pólen. Açúcares solúveis são fundamentais na proteção contra estresses térmicos e osmóticos (Wang *et al.*, 2018). Dessa forma, o padrão citoquímico observado pode explicar a maior tolerância de *C. canephora* ao estresse ambiental, o que está em consonância com estudos que sugerem maior rusticidade dessa espécie em relação a híbridos e espécies mais sensíveis (Morais *et al.*, 2021; Silva. 2007).

Por outro lado, *ARAMOSA* apresentou vários grânulos com coloração mais intensa nos grãos de pólen ao Lugol, indicando maior acúmulo de amido. Embora o amido seja a principal fonte energética inicial para o crescimento do tubo polínico, seu excesso pode reduzir a proteção contra o calor devido à menor proporção de açúcares solúveis (Buitink; Leprince; Hoekstra, 2000). Isso sugere que *ARAMOSA* possua um pólen menos preparado para lidar com aumentos bruscos de temperatura, o que poderia explicar sua maior queda de viabilidade ao longo da década, mas para isso precisa de experimentos mais focados.

A queda expressiva na viabilidade entre meados de 2015 e 2025 também pode apontar para um fator ambiental de ampla escala. O pólen é uma das estruturas reprodutivas mais sensíveis à elevação da temperatura, atuando como um marcador precoce de estresse térmico (Rosenberger *et al.*, 2024). Assim, o declínio observado nos grãos de pólen viáveis é coerente com o aumento global da temperatura registrado no período, reforçando que mudanças climáticas podem estar impactando a reprodução de plantas cultivadas. Em culturas tropicais como o café, isso é particularmente preocupante, pois a viabilidade do pólen afeta diretamente o pegamento dos frutos e, portanto, a produtividade das lavouras (Gomes *et al.*, 2023; Mareaux *et al.*, 2022). Mas para ser confirmado precisa de estudos mais específicos para tal, como acompanhar o mesmo indivíduo, fazer experimentos em casa de vegetação onde o ambiente é mais controlado.

A característica híbrida atribuída a *ARAMOSA* justifica, em parte, o padrão de maior inviabilidade polínica observado neste estudo. Espécies parentais como *Coffea arabica* e *Coffea canephora* possuem diferentes estratégias reprodutivas e perfis adaptativos, enquanto *C. arabica* é tipicamente cultivada sob temperaturas amenas e apresenta sensibilidade a estresses ambientais, *C. canephora* é reconhecida por sua

rusticidade, adaptação a temperaturas mais elevadas e elevada variabilidade genética pela polinização cruzada.

Do ponto de vista agrônomo, esses achados possuem implicações significativas. A performance superior de *C. canephora* sugere que cultivares dessa espécie podem ser mais adequadas para cenários futuros de aquecimento global, do que os híbridos mais sensíveis, como *ARAMOSA*, que podem demandar diferentes estratégias de manejo, como sombreamento, irrigação suplementar ou seleção de genótipos mais tolerantes (Jordaim *et al.*, 2025; Tournebize *et al.*, 2022).

Por fim, a integração das análises anatômicas, estatísticas e citoquímicas demonstra que a reprodução das espécies de *Coffea* é influenciada pela interação entre fatores genéticos e ambientais. Os resultados sugerem que *C. canephora* apresenta maior capacidade de adaptação, enquanto *ARAMOSA* se mostra mais vulnerável às condições ambientais extremas. Caso o aquecimento global continue avançando, como previsto pelos modelos climáticos atuais, é provável que os impactos negativos sobre a viabilidade polínica e o sucesso reprodutivo, comprometendo a produtividade e a sustentabilidade das lavouras de café.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo confirmam que as espécies *ARAMOSA* e *Coffea canephora* apresentam diferenças estruturais, funcionais e citoquímicas significativas no que diz respeito à viabilidade polínica e à composição dos grãos de pólen. As evidenciaram que *C. canephora* possui maior estabilidade reprodutiva, maior porcentagem de grãos viáveis e composição citoquímica mais compatível com tolerância ao estresse ambiental. Em contraste, *ARAMOSA* mostrou-se mais vulnerável, apresentando maior proporção de grãos inviáveis, maior acúmulo

de amido e maior queda de viabilidade ao longo do período analisado.

A comparação temporal entre os períodos de meados de 2015 e 2025 revelou uma significativa redução nos níveis de ARAMOSA, cuja causa precisa permanece incerta. Estudos futuros poderiam investigar fatores ambientais, genéticos ou metodológicos subjacentes a essa tendência, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dessa variabilidade.

As análises citoquímicas permitiram aprofundar a compreensão das diferenças observadas. A menor quantidade de amido nos grãos de *C. canephora* sugere uma maior disponibilidade de açúcares solúveis, que contribuem para a tolerância térmica, o que sugere que essa espécie pode apresentar vantagens adaptativas importantes em cenários futuros de aquecimento global.

Assim, este estudo contribui para o entendimento da biologia reprodutiva das espécies de *Coffea* e destaca a necessidade de estratégias de manejo e de melhoramento genético. Pesquisas futuras devem incluir experimentos controlados de estresse térmico, análises moleculares e avaliações de campo em diferentes condições ambientais, de modo a ampliar o conhecimento sobre os mecanismos de tolerância e vulnerabilidade dessas espécies frente ao cenário climático atual e futuro.

## REFERÊNCIAS

ALTHIAB-ALMASAUD, Rasha; TEYSSIER, Eve; CHERVIN, cristão; JOHNSON, Mark A.; MOLLET, Jean-Claude. **Viabilidade, longevidade e função do pólen em angiospermas: principais fatores e perspectivas de melhoria.** Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00497-023-00484-5>. Acesso em: 11 dez. 2025.

BEDINGER, Patricia. **The remarkable biology of pollen.** Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC160181/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Brasil é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor de café.** Brasília: MAPA, s.d. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 11 dez. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Conheça a história do café no mundo e como o Brasil se tornou o maior produtor e exportador da bebida.** Brasília: MAPA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/2022/conheca-a-historia-do-cafe-no-mundo-e-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-exportador-da-bebida>. Acesso em: 11 dez. 2025.

BUITINK, J.; LEPRINCE, O.; HEMMINGA, M. A.; HOEKSTRA, F. A. **Os efeitos da umidade e da temperatura na cinética do pólen envelhecida: Interpretação baseada na mobilidade citoplasmática.** Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-3040.2000.00601.x> Acesso em: 11 dez. 2025.

CENTROS NACIONAIS DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL (NCEI). **Relatório Global sobre o Clima de agosto de 2024**. Disponível em:

<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202408>. Acesso em: 11 dez. 2025.

CHATURVEDI, Palak; GHATAK, Arindam; WECKWERTH, Wolfram. **Proteômica do pólen: da fisiologia do estresse ao preparo do desenvolvimento**. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00497-016-0283-9>. Acesso em: 11 dez. 2025.

CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. **Café: botânica, bioquímica e produção de grãos e bebidas**. Westport: AVI Publishing, 1985.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café 2024: 4º levantamento**. Brasília: CONAB, 2025.

Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cafe/4o-levantamento-de-cafe-safra-2024/boletim-cafe-janeiro-2025>. Acesso em: 11 dez. 2025.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2017, 4º**

**levantamento**. Brasília: CONAB, 2017. Disponível em:

[https://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/conab\\_safra2017\\_n4.pdf](https://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/conab_safra2017_n4.pdf). Acesso em: 11 dez. 2025.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2023, 2.º**

**levantamento**. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cafe/2o-levantamento-de-cafe-safra-2023/boletim-cafe-maio-2023>. Acesso em: 11/12/2025.

CONAB. **Safra brasileira de café**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 11 dez. 2025.

CORRÊA, M. et al. Estrutura morfo-anatômica e composição dos frutos do cafeeiro.

**Fruto do cafeeiro: anatomia e processamento**. [S.l.]: [s.n.], 2004. p. [10–37].

Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229089/1/cpafro-18645.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

CORVO, P. H. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

DA MATTA, F. M.; RAHN, E.; LÄDERACH, P.; GHINI, R.; RAMALHO, J. C. **Por que a cultura do café conseguiu suportar as mudanças climáticas e o aquecimento global em maior escala do que o estimado anteriormente?** DOI: 10.1007/s10584-

018-2346-4. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2346-4>. Acesso em: 11 dez. 2025.

DAFNI, A.; FIRMAGE, D. **Viabilidade e longevidade do pólen: Implicações práticas, ecológicas e evolutivas**. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00984098>.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00984098>. Acesso em: 11 dez. 2025.

DAVIS, A. P. et al. **Um concessão taxonômica anotada do gênero *Coffea* (Rubiaceae)**. Disponível em:

<https://academic.oup.com/botlinnean/article/152/4/465/2420564>. Acesso em: 11 dez. 2025.

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P.

**Wild *Coffea canephora*: distribuição natural, diversidade genética e relevância para melhoramento**. Disponível em:

<https://colostate.pressbooks.pub/cropwildrelatives/chapter/case-study-coffee-wild-species-and-cultivars/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

DISCUSSÃO SOBRE BIOLOGIA. **Viabilidade do pólen nas plantas: variações e fatores.** Disponível em: <https://www.biologydiscussion.com/palynology/pollen-viability-in-plants-variations-and-factors/64581>. Acesso em: 11 dez. 2025.

EMBRAPA. **Café é a segunda bebida mais consumida no Brasil.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2574254/caf-e-a-segunda-bebida-mais-consumida-no-brasil>. Acesso em: 11 dez. 2025.

EMBRAPA. **Conservação de grão de pólen de *Urochloa brizantha* cv. BRS Ybaté.** Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2023. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 54. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1157288>. Acesso em: 11 dez. 2025.

EMBRAPA. **Publicações - Portal Embrapa.** Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 11 dez. 2025.

ERDTMAN, G. **A morfologia do grão de pólen.** Adaptado de: ERDTMAN, G. Pollen morphology and plant taxonomy (1952) e The handbook of palynology (1966). Disponível em: <https://1library.org>. Acesso em: 11 dez. 2025.

FAEGRI, K. **Os princípios da ecologia da polinização.** 3. ed. Oxford: Pergamon Press, 1979.

FERRÃO, R. G. *et al.* ***Coffea canephora*: adaptações agronômicas.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/4wJhVsg6E5u1sBBHCL6uW7G/> Acesso em: 11 dez. 2025.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; VOLPI, P. S.; *et al.* **Cultivares de cafés Conilon e Robusta**. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139173/1/cultivares-conilon-robusta-ferrao.pdf> Acesso em: 11 dez. 2025.

FRANCHI, G. G.; BELLANI, L.; NEPI, M.; PACINI, E. **Tipos de reservas de carboidratos no pólen: localização, distribuição sistemática e significância ecofisiológica**. *Flora*, [S.l.], v. 191, p. 143–159, 1996.

GÓMEZ, J. H.; BENAVIDES, P.; MALDONADO, J. D.; JARAMILLO, J.; ACEVEDO, F. E.; GIL, Z. N. **Insetos visitantes de flores garantem a produção e a qualidade do café**. *Agricultura*, [S.l.], v. 13, n. 7, art. 1392, 2023.

GRANATO, L. M.; RAMOS, L. C.; PINTO-MAGLIO, C. A. F. **Relação entre instabilidade meiótica e fertilidade nas plantas de café Arabusta da geração F<sub>2</sub>**. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/908/90860451007/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

GRUPO UNIBRA. **Café — uma breve história de sua origem, consumo, cultura, diferenças e utilidades gastronômicas**. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://www.grupounibra.com/repositorio/GTRON/2022/cafe-uma-breve-historia-de-sua-origem-consumo-cultura-diferenciaco-es-e-utilidades-gastronomicas20.pdf>. Acesso em: 11/12/2025.

GUYOT, Romain; GONZALEZ, Laura; BEZANDRY, Rickarlos. Espécies de café selvagem: uma abordagem genômica moderna para desvendar variações para o desenvolvimento futuro do café cultivado. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE (ICC 2024)**, 2024. *Proceedings*. [S.l.]: MDPI, 2024. p. 23. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-3900/109/1/23>. Acesso em: 11 dez. 2025.

HAMAMURA, Y.; NAGAHARA, S.; HIGASHIYAMA, T. Fertilização dupla em movimento. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 15, n. 1, p. 70–77, 2012.

HEDHLY, A. Sensibilidade dos gametófitos de plantas com flores a flutuações de temperatura. *Environmental and Experimental Botany*, v. 74, p. 9–16, 2011.

DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.03.016.

HEDHLY, A.; HORMAZA, J. I.; HERRERO, M. **Aquecimento global e reprodução sexual de plantas.** *Trends in Plant Science*, v. 14, n. 1, p. 30–36, 2009.

IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Histórico do desenvolvimento do cultivo do café no Brasil.** Campinas: IAC, 2007. Disponível em:

<https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/iacdoc34.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

JORDAIM, R. B.; COLODETTI, T. V.; RODRIGUES, W. N.; SALLES, R. A. d.; AMARAL, J. F. T. d.; MACIEL, L. S.; PARTELLI, F. L.; RAMALHO, J. C.; TOMAZ, M.

**A. Genotypic performance of *Coffea canephora* at transitional altitudes for climate-resilient coffee cultivation.** Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/11/6/595>. Acesso em: 11 dez. 2025.

KAGEYAMA, A. A.; BERGAMASCO, S. M. P. P.; OLIVEIRA, J. T. de. **Uma tipologia dos estabelecimentos agropecuários do Brasil a partir do Censo Agropecuário 2006.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/5q77xcPFHJtpZPB85rdJJYH/>.

Acesso em: 11 dez. 2025.

KAGEYAMA, P. Y. et al. **Café no Brasil: produção familiar e sustentabilidade.**

Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131625/cafes-do-brasil-pesquisa-sustentabilidade-e-inovacao)

[/publicacao/1131625/cafes-do-brasil-pesquisa-sustentabilidade-e-inovacao](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131625/cafes-do-brasil-pesquisa-sustentabilidade-e-inovacao). Acesso em: 11 dez. 2025.

KAKANI, V. G.; REDDY, K. R.; KOTI, S.; WALLACE, T. P.; PRASAD, P. V. V.; REDDY, V. R.; ZHAO, D. **Diferenças na germinação *in vitro* do pólen e no crescimento em tubos de pólen de cultivares de algodão em resposta à alta temperatura.** Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mci149>. Acesso em: 11 dez. 2025.

KC, Yadav; SUBBA, Raju; SHIWAKOTI, Lila Devi; DHUNGANA, Pramesh Kumar; BAJAGAIN, Rishikesh; CHAUDHARY, Dhiraj Kumar; PANT, Bhoj Raj; BAJGAI, Tirtha Raj; LAMICHHANE, Janardan; TIMILSINA, Sampada; UPADHYAYA, Jitendra; DAHAL, Ram Hari. **Utilizando polpa de café e mucilagem para produzir bebidas à base de álcool.** Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5637/7/2/53>. Acesso em: 11 dez. 2025.

KEW SCIENCE. *Coffea* L. **Plantas do Mundo Online.** Disponível em: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn%3Aisid%3Aipni.org%3Anames%3A325985-2>. Acesso em: 11 dez. 2025.

KRAUS, J. E.; DE SOUSA, H. C.; REZENDE, M. H.; CASTRO, N. M.; VECCHI, C.; LUQUE, R. **Azul astral e duplo colorimento básico de fuchsina em materiais vegetais.** Disponível em: <https://doi.org/10.3109/10520299809141117>. Acesso em: 11 dez. 2025.

MCCORMICK, S. **Controle do desenvolvimento do gametófito masculino.** Disponível em: [https://www.plantcell.org/content/16/suppl\\_1/S142](https://www.plantcell.org/content/16/suppl_1/S142). Acesso em: 11 dez. 2025.

MELO, Benjamim de; SOUSA, Larissa Barbosa de. **Biologia da reprodução de *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre.** Disponível em:

<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/444>. Acesso em: 11 dez. 2025.

MELO, M. et al. Rubiaceae. Em: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2011.

MORAES, M. S.; ROCHA, R. B.; FERREIRA, F. M.; SOUZA, C. A. de; ESPÍNDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L. **Estratificação ambiental e desempenho de clones de *Coffea canephora* cultivados na Amazônia Ocidental**. Disponível em:

<https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1911>. Acesso em: 11 dez. 2025.

MOREAUX, Céline. **O valor da polinização biótica e da densa floresta para o conjunto de frutos da *Coffea arabica***. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880921003844>. Acesso em: 11 dez. 2025.

MOSQUERA, D. J. C.; SALINAS, D. G. C.; LIGARRETO, G. A. **Viabilidade e germinação de pólen em *Elaeis oleifera*, *Elaeis guineensis* e seu híbrido interespecífico**. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/68076>. Acesso em: 11 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ – ICO. **Relatório de Café e Perspectivas 2022/23**. Londres: ICO, 2023. Disponível em:

[https://www.ico.org/documents/cy2022-23/Coffee\\_Report\\_and\\_Outlook\\_April\\_2023\\_-\\_ICO.pdf](https://www.ico.org/documents/cy2022-23/Coffee_Report_and_Outlook_April_2023_-_ICO.pdf). Acesso em: 11 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório do Mercado Cafeeiro – Seção de Estatísticas**. Disponível em: <http://www.ico.org>. Acesso em: 11 dez. 2025.

PACINI, E. et al. Desenvolvimento e fertilização do pólen. **Biologia das células vegetais**. Nova York: Springer, 2006.

PACINI, Ettore; GUARNIERI, Massimo; NEPI, Massimo. **Carboidratos de pólen e conteúdo de água durante o desenvolvimento, apresentação e dispersão: uma breve revisão**. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00709-006-0169-z>. Acesso em: 11 dez. 2025.

PENDERGRAST, Mark. **Uncommon Grounds: A História do Café e Como Ele Transformou Nosso Mundo**. Nova York: Basic Books, 2010. ISBN 9780465018369.

PEREIRA, Luci Aparecida da Silva. **Breve histórico da influência da cafeicultura na vida social, econômica e política do Brasil, em seus primórdios até meados da década de 30**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **História do Café. História do Brasil**. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/historia-do-brasil/historia-do-cafe>. Acesso em: 11 dez. 2025.

RAVEN, P. H. et al. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

REHAGRO. **Coffea arabica e Coffea canephora: quais são as diferenças das espécies?** Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/diferencas-das-especies-coffee-arabica-e-coffee-canephora-2/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

RESUMO DE CARBONO. **Estado do clima: 2024 agora provavelmente será o ano mais quente já registrado**. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/state-of->

[the-climate-2024-now-very-likely-to-be-warmest-year-on-record/](#). Acesso em: 11 dez. 2025.

REVISTA CAFEICULTURA. **Botânica do cafeeiro**. Disponível em:

<https://revistacafeicultura.com.br/botanica-do-cafeeiro/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

REVISTA CAFEICULTURA. **Café - clima e variedades**. Disponível em:

<http://www.cafeicultura.com.br>. Acesso em: 11 dez. 2025.

RIBEIRO, Marina Ronchesel; PONCE, Talita Pijus; TELLES, Tiago Santos. **Spatial dynamics of coffee production in the state of Paraná, Brazil**. Disponível em:

<https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1754>. Acesso em: 11 dez. 2025.

RIBEIRO, Sofia Regina Paiva; RUFINO, Maria do Socorro Moura. **História do café agroflorestal: relatos do CEJA Baturité**. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/journal/5141/514161159008/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

RICHARDSON, M. L.; JAGE, M.-G.; BRADFORD, K. J.; CLEGG, M. T. **Sequential staining to assess viability and starch content in individual pollen grains**.

Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/73236/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

ROSENBERGER, N. M.; et al. **Heatwaves exacerbate pollen limitation through reductions in pollen production and pollen vigour**. Disponível em:

<https://academic.oup.com/aobpla/article/16/5/plae045/7755451>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SANDERS, Harry. **Hybrid fertility and the rarity of homoploid hybrid speciation**.

Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plaf035>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Instituto de Botânica. Rubiaceae. In: **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**, v. 5. São Paulo: Instituto de Botânica, 2007. p. 259-460.

Disponível em:

<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/wp-content/uploads/sites/235/2016/02/Rubiaceae.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SCIELO. **Viabilidade polínica e quantificação de grãos de pólen em espécies de fisális**. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SHIVANNA, K. R.; RANGASWAMY, N. S. **Biologia e biotecnologia do pólen**.

Enfield: Science Publishers, 2003.

Silva, Vânia Aparecida **Caracterização fisiológica da tolerância à seca em *Coffea canephora*: contribuição relativa do sistema radicular e da parte aérea**. [S.l.]:

Universidade Federal de Viçosa, 2007. Disponível em:

<https://locus.ufv.br/items/bee2c3db-77d0-4468-8ae8-0545a6640323>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SOUTHWORTH, Darlene. **Reatividade citoquímica das paredes do pólen**.

Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/21.1.73>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SOUZA, P.; VIEIRA, H.; SANTOS, E.; VIANA, A.; PARTELLI, F. ***Coffea canephora*: cruzamentos heteróticos indicados por abordagem molecular**. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2223-7747/11/22/3023>. Acesso em: 11 dez. 2025.

STANLEY, R. G.; LINSKENS, H. F. **Pollen: biologia, bioquímica, gestão**. Berlim: Springer-Verlag, 1974.

STOKES, Madeleine; GEITMANN, Anja. **Métodos de triagem para termotolerância no pólen**. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob>. Acesso em: 11 dez. 2025.

TANDFONLINE. **Coloração diferencial de pólen abortado e não abortado: tecnologia de coloração**. Vol. 44, n. 3. Disponível em: <https://www.tandfonline.com>. Acesso em: 11 dez. 2025.

TOURNEBIZE, Rémi; REMY, S.; CARRETIN, J.; GUICHOUX, E.; OMBROUKA, C.; LEROY, T. **Vulnerabilidade ecológica e genômica às mudanças climáticas em populações nativas de café robusta (*Coffea canephora*)**. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35527235/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

UNIGARRO, Carlos Andres.; CAYÓN SALINAS, D. G.; LEÓN-BURGOS, A. F.; FLÓREZ-RAMOS, C. P. **Floração e frutificação da *Coffea arabica* L.: uma perspectiva abrangente da fenologia**. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/21/3396>. Acesso em: 11 dez. 2025.

UYAMA, P. M.; REIS JÚNIOR, O.; IVAMOTO, S. T.; DOMINGUES, D. S.; CARAZZOLLE, M. F.; PEREIRA, G. A. G.; CHARMETANT, P.; LEROY, T.; PEREIRA, L. F. P. **A análise do transcriptoma em *Coffea eugenioides*, um ancestral do café Arábica, revela genes diferencialmente expressos em folhas e frutos**. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1040005>. Acesso em: 11 dez. 2025.

WANG, H.; GONG, M.; XIN, H.; TANG, L.; DAI, D.; GAO, Y.; LIU, C. **Efeitos do estresse de resfriamento sobre o acúmulo de açúcares solúveis e suas enzimas-chave em mudas de *Jatropha curcas***. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6103934/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

WANG, Jiang; KAMBHAMPATI, Shrikaar; ALLEN, Doug K.; CHEN, Li-Qing. **Análise metabólica comparativa revela uma mudança metabólica no pólen maduro, hidratado e germinado em *Arabidopsis thaliana***. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9158543/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

YUYAMA, Priscila Mary. **Mapeamento cromossômico em espécies de *Coffea L.* (*Rubiaceae*)**. 2010. 47 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Celular) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.