

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS CAMPUS SOROCABA

BRENDA GILLIAN PEREIRA

**SELEÇÃO DE MATRIZES E AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS  
AO VIGOR DE *Dipteryx alata* VOGEL**

Sorocaba

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS CAMPUS SOROCABA

BRENDA GILLIAN PEREIRA

**SELEÇÃO DE MATRIZES E AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS  
AO VIGOR DE *Dipteryx alata* VOGEL**

Defesa de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientação: Prof. Dr. Miguel Luiz Menezes Freitas

Coorientação: Dr. Júlio César Tannure Faria

Sorocaba

2026

Pereira, Brenda Gillian

Seleção de Matrizes e Avaliação de características associadas ao vigor de *Dipteryx alata* Vogel / Brenda Gillian Pereira -- 2026.  
73f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba  
Orientador (a): Miguel Luiz Menezes Freitas  
Banca Examinadora: Erick Martins Nieri, Wilson Vicente Souza Pereira  
Bibliografia

1. Espécies nativas do Cerrado. 2. Variabilidade genética. 3. Vigor de sementes. I. Pereira, Brenda Gillian. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -  
CRB/8 6979

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Brenda Gillian Pereira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal da Universidade Federal de São Carlos. Área de concentração: Produção Sustentável. Sorocaba, 10 de Abril de 2026

### **Orientador**

---

Dr. Miguel Luiz Menezes Freitas  
Instituto de Pesquisas Ambientais

### **Coorientador (presidente da banca)**

---

Dr. Júlio César Tannure Faria

### **Examinador**

---

Dr. Erick Martins Nieri  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

### **Examinador**

---

Dr. Wilson Vicente Souza Pereira  
Universidade Federal do Piauí

## RESUMO GERAL

A fragmentação do Cerrado e a exploração extrativista de espécies nativas têm intensificado processos de erosão genética em populações naturais de *Dipteryx alata* Vogel, comprometendo estratégias de conservação e uso sustentável da espécie. Diante desse cenário, torna-se necessário ampliar o conhecimento sobre a variabilidade dos indivíduos e sobre atributos que possam auxiliar tanto a conservação quanto a seleção de materiais promissores. Nesse contexto, o trabalho foi estruturado em dois capítulos complementares. No primeiro capítulo, foram avaliadas, por meio de inventário florestal e análise genética utilizando o método REML/BLUP, as características silviculturais de um plantio de *D. alata* localizado em Pederneiras, São Paulo, composto por 43 progênies com 39 anos de idade, oriundas de duas procedências (Brasília e Três Lagoas). Os resultados indicaram baixa herdabilidade individual para os caracteres avaliados em árvores adultas, associada à influência de efeitos ambientais e de competição. Ainda assim, a utilização de um índice de seleção multicaracterístico permitiu identificar 50 matrizes superiores das duas procedências, com potencial para propagação clonal e possível uso futuro para produção de sementes. No segundo capítulo, foram avaliadas características de vigor de *D. alata* a partir de sementes coletadas de 10 matrizes com diferentes valores de DAP em um plantio localizado em Pederneiras, estabelecido em 1986. Foram conduzidos testes de germinação e avaliações biométricas do crescimento inicial de plântulas, visando analisar o vigor e o desenvolvimento inicial das sementes. Os resultados evidenciaram variabilidade quanto à velocidade de germinação, crescimento inicial e acúmulo de biomassa, principalmente dentro das progênies, sem separação consistente entre os tratamentos oriundos de matrizes de maior e menor DAP. Conclui-se que o plantio adulto apresenta variação suficiente para servir como base para a seleção de matrizes, enquanto os caracteres precoces mostraram potencial para auxiliar na discriminação do desempenho juvenil, podendo atuar como ferramenta complementar em estratégias de conservação e melhoramento genético de *D. alata*.

**Palavras-chave:** Melhoramento florestal; parâmetros genéticos; germinação; desenvolvimento inicial; espécie do Cerrado.

## ABSTRACT

The fragmentation of the Cerrado biome and the extractive exploitation of native species have intensified processes of genetic erosion in natural populations of *Dipteryx alata* Vogel, compromising conservation strategies and the sustainable use of the species. In this context, expanding knowledge about individual variability and traits associated with the selection of promising materials becomes essential for both conservation and genetic improvement programs. Therefore, this study was structured into two complementary chapters. In the first chapter, silvicultural traits of a *D. alata* plantation located in Pederneiras, São Paulo State, Brazil, were evaluated through forest inventory and genetic analysis using the REML/BLUP procedure. The plantation consisted of 43 progenies, 39 years old, originating from two provenances (Brasília and Três Lagoas). The results indicated low individual heritability estimates for adult tree traits, associated with environmental and competition effects. Nevertheless, the use of a multivariate selection index allowed the identification of 50 superior trees from both provenances, with potential for clonal propagation and possible future use for seed production. In the second chapter, vigor traits of *D. alata* were evaluated using seeds collected from 10 trees with different DBH values in a plantation established in 1986 in Pederneiras. Germination tests and biometric evaluations of early seedling growth were conducted to assess seed vigor and early development. The results revealed variability in germination speed, initial growth, and biomass accumulation, mainly within progenies, with no consistent separation between treatments originating from trees with higher and lower DBH values. It is concluded that the adult plantation presents sufficient variation to serve as a basis for matrix tree selection, while early traits showed potential to assist in the discrimination of juvenile performance, acting as a complementary tool for conservation and genetic improvement strategies of *D. alata*.

**Keywords:** Forest breeding; genetic parameters; germination; early development; Cerrado species.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	8
CAPÍTULO I- SELEÇÃO DE INDIVÍDUOS SUPERIORES DE <i>Dipterx alata</i> VOGEL, EM ÁREA DE TESTE DE PROGÊNIE E PROCEDÊNCIAS EM PEDERNEIRAS, SÃO PAULO- BRASIL .....	17
1. INTRODUÇÃO .....	19
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	20
3. RESULTADOS .....	27
4. DISCUSSÃO .....	31
5. CONCLUSÃO .....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35
CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PRECOSES ASSOCIADAS AO VIGOR DE PLÂNTULAS DE <i>Dipteryx alata</i> Vogel.....	39
1. INTRODUÇÃO .....	41
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	43
3. RESULTADOS .....	48
4. DISCUSSÃO .....	52
5. CONCLUSÃO .....	56
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
Apêndice A .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Apêndice B .....	61
Apêndice C .....	63
Apêndice D .....	63
Apêndice E .....	65

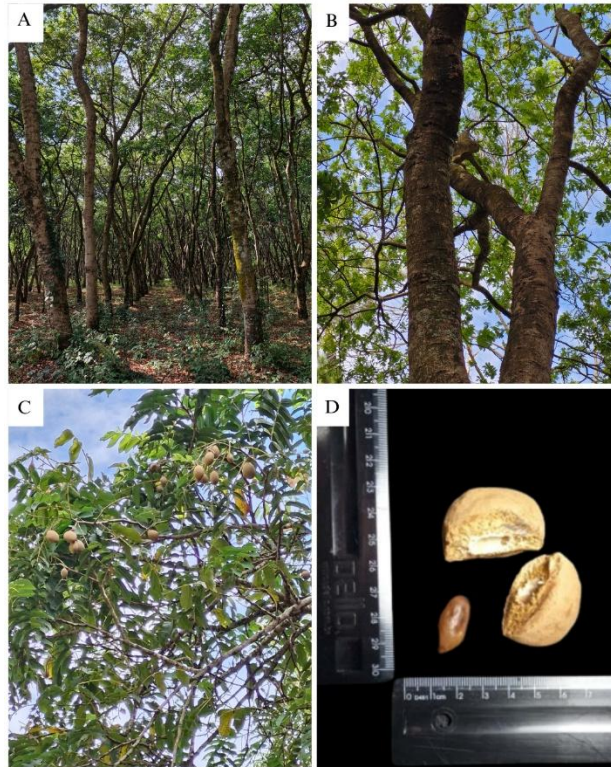
## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado, reconhecido como a savana tropical mais biodiversa do planeta, é um “hotspot” de biodiversidade que ocupa cerca de 25% do território brasileiro (MYERS et al., 2000; STRASSBURG et al., 2017). Ele se estende predominantemente pelo território nacional, mas também possui ocorrências secundárias no leste da Bolívia e no norte-noroeste do Paraguai (VELAZCO, 2019), abrigando expressiva concentração de espécies vegetais endêmicas no território brasileiro (BFG – BRASIL FLORA GROUP, 2015)

Outra característica importante do Cerrado, é sua posição central no continente sul-americano, estabelecendo interfaces dinâmicas com os principais biomas brasileiros. Essa configuração favorece intensa troca ecológica entre ambientes submetidos a diferentes regimes edafoclimáticos. O bioma mantém transições com a Floresta Amazônica e a Mata Atlântica, ambas associadas a condições mais úmidas, além de zonas de contato com o Pantanal e a Caatinga, caracterizada por condições semiáridas. Essa conectividade reforça o papel do Cerrado como importante corredor ecológico entre ambientes úmidos e secos do Brasil central (BORGHETTI, 2023).

Diante do cenário de intensificação das pressões antrópicas e da predominância de espécies exóticas nos sistemas produtivos, a incorporação de espécies nativas torna-se uma estratégia não apenas para a conservação da biodiversidade, mas também para a diversificação da base produtiva nacional. Nesse contexto, destaca-se *Dipteryx alata* Vogel (Figura 1), espécie-chave do Cerrado que apresenta características ecológicas e produtivas de interesse para sistemas consorciados, recuperação de áreas degradadas e programas de melhoramento genético voltados à formação de populações superiores e ao incremento do desempenho produtivo da espécie (SANO; RIBEIRO; BRITO, 2004; SANO et al., 2016; CANUTO et al., 2015).

Além do potencial ecológico e produtivo, a literatura evidencia crescente interesse científico na espécie, reforçando seu caráter multifuncional e sua relevância para estudos relacionados à conservação, uso econômico e manejo sustentável (AZEVEDO et al., 2022).



**Figura 1-** (A) Plantio de 39 anos de *Dipteryx alata* Vogel, na Estação Experimental de Pederneiras, São Paulo; (B) Tronco e copa da espécie *D. alata*; (C) Copa com frutos; (D) Fruto aberto e semente.

No que se refere à distribuição geográfica, *D. alata* apresenta ampla ocorrência no território brasileiro, com registros nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, predominando no domínio do Cerrado e estendendo-se a áreas de transição com Savanas Amazônicas e Florestas Estacionais Semidecíduais (CARVALHO, 2008). A amplitude de ocorrência da espécie *D. alata* evidencia sua elevada plasticidade ecológica, associada à capacidade de estabelecimento sob distintas condições edafoclimáticas, o que favorece a manutenção da variabilidade genética populacional e amplia o potencial de utilização da espécie em diferentes contextos produtivos e ambientais (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002).

Associada à ampla distribuição geográfica, a biologia reprodutiva também exerce papel importante na manutenção da variabilidade genética natural da espécie. *D. alata* apresenta sistema reprodutivo estritamente alógamo, com dependência obrigatória de polinizadores para a formação de frutos viáveis, sendo a autopolinização ineficiente e associada a elevadas taxas de aborto floral. A polinização cruzada, mediada principalmente por abelhas solitárias de médio e grande porte, assegura elevados níveis de recombinação genética, favorecendo a manutenção da variabilidade genética nas populações naturais e cultivadas. A floração e frutificação são sincronizadas com a sazonalidade climática do Cerrado, característica que influencia a atividade

dos polinizadores e a produção de sementes, aspectos diretamente relacionados à representatividade genética das matrizes selecionadas e à viabilidade de programas de melhoramento, propagação clonal e formação de pomares de sementes (OLIVEIRA e SIGRIST, 2008).

A produção de frutos de *D. alata* demonstrou variações interanuais, resultando em um comportamento reprodutivo caracterizado por safra intermitente, com variações acentuadas na intensidade de produção de frutos entre anos consecutivos (SANO et al., 2016). Com base na literatura estima-se que uma árvore de *D. alata* atinge a maturidade reprodutiva a partir do seu sexto ano e pode produzir cerca de 150 kg ha<sup>-1</sup> de fruto. Porém, ainda são limitadas as informações técnico-científica que permitam estimar de forma efetiva a produção anual de frutos por árvore de baru, sendo relatado que, embora a produção possa atingir até 5 mil frutos por indivíduo, nem todas as árvores frutificam anualmente (CARRAZZA e ÁVILA, 2010; SANO et al., 2016).

Além das implicações ecológicas e reprodutivas, a produção de frutos de *D. alata* possui relevância econômica crescente para cadeias produtivas associadas ao uso de espécies nativas do Cerrado. Nesse contexto, para a safra de 2026, o preço mínimo da amêndoa de baru foi fixado em R\$ 35,29 kg<sup>-1</sup> para as regiões Centro-Oeste, Minas Gerais, São Paulo e Tocantins, servindo como referência para as operações da Política de Garantia de Preços Mínimos (PGPM) (BRASIL, 2025). A definição do preço mínimo estabelece parâmetro oficial para comercialização e contribui para reduzir a vulnerabilidade econômica dos produtores frente às flutuações produtivas da espécie.

No que se refere aos usos produtivos, a espécie apresenta atributos que permitem sua inserção em sistemas econômicos diversificados. Estudos indicam potencial para utilização em sistemas silvipastoris e projetos de restauração ecológica, inclusive em áreas sujeitas à inundação temporária (CUNHA NETO et al., 2024). Além disso, *D. alata* apresenta características silviculturais que favorecem sua utilização em plantios com diferentes finalidades, o que tem motivado estudos voltados à avaliação de seu crescimento em distintas regiões do Brasil (SANTOS et al., 2018; SIQUEIRA; NOGUEIRA; KAGEYAMA, 1993; TOLEDO FILHO, 1988; ZARUMA et al., 2015). Nesse contexto, a avaliação de parâmetros dendrométricos, como diâmetro à altura do peito (DAP) e altura média, têm sido utilizados para compreender o desempenho da espécie em diferentes localidades e condições de cultivo, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1-** Dados de crescimento da espécie *D. alata* em diferentes localidades e idades; DAP (cm) e altura média (m).

<b>Procedência / Referência</b>	<b>Idade (Anos)</b>	<b>DAP Médio (cm)</b>	<b>Altura Média (m)</b>
**Brasilândia (MS)** <sup>1</sup>	9	9,45	7,84
**Campina Verde (MG)** <sup>1</sup>	9	7,8	6,11
**Itarumã (GO)** <sup>1</sup>	9	7,45	5,96
<b>Média Geral (Zaruma et al.)</b>	<b>9</b>	<b>8,25</b>	<b>6,65</b>
**Três Lagoas (MS)** <sup>2</sup>	27	16,98	-
**Brasília (DF)** <sup>2</sup>	27	16,53	-
<b>Média Geral (Santos et al.)</b>	<b>27</b>	<b>16,8</b>	-
Toledo Filho (1988)	8	7,4	6,3
Siqueira et al. (1993)	13	8,93	6,41

<sup>1</sup> Dados de Zaruma et al. (2015). <sup>2</sup> Dados de Santos et al. (2018).

Os dados apresentados na Tabela 1 foram obtidos em estudos conduzidos em testes de procedências e progênies de *D. alata*, implantados em diferentes regiões do Brasil e avaliados em distintas idades. Embora as diferenças metodológicas entre os estudos não permitam comparações diretas entre os materiais avaliados, os resultados demonstram o potencial de crescimento da espécie em diferentes condições ambientais e reforçam seu interesse para programas de conservação genética e melhoramento florestal.

As características tecnológicas da madeira de *D. alata*, como elevada densidade ( $\cong 0,95$  g cm<sup>-3</sup>) e resistência ao apodrecimento, conferem aptidão para aplicações rurais e estruturais

externas, incluindo estacas, postes, moirões e dormentes (CARVALHO, 2008; MAINIERI; CHIMELO, 1989; VALLILO et al., 1990). Associadas ao potencial de crescimento da espécie, essas características ampliam as perspectivas de utilização de *D. alata* tanto para fins ecológicos quanto econômicos. Entretanto, a viabilidade de ampliar o uso produtivo da espécie, seja para fins madeireiros, restauração ou produção de sementes e mudas, depende também da compreensão dos fatores biológicos que condicionam a qualidade do material propagativo.

As características da semente, incluindo sua composição e atributos físicos, constituem caracteres fenotípicos resultantes da interação entre a constituição genética dos indivíduos e o ambiente, de modo que sua expressão pode variar em função de ambos os componentes (CRUZ; CARNEIRO, 2003; FALCONER; MACKAY, 1996). No contexto do manejo de recursos genéticos florestais, compreender as interações entre genótipo, procedência e condições ambientais é essencial para a seleção de materiais genéticos superiores, uma vez que a resposta dos genótipos aos diferentes ambientes condiciona o ganho esperado com a seleção e a recomendação de materiais para regiões com características edafoclimáticas compatíveis. Essas interações determinam o desempenho adaptativo das espécies e refletem a variabilidade genética existente entre e dentro das populações naturais, aspecto destacado em estudo de conservação e melhoramento de espécies florestais nativas, no qual a manutenção da diversidade genética e do tamanho efetivo populacional é apontada como requisito central para o uso sustentável desses recursos (RESENDE, 2002; FRANKHAM; BALLOU; BRISCOE, 2004).

Espécies florestais nativas demonstram ampla variabilidade genética entre progênies e procedências, indicando o potencial de obtenção de ganhos significativos por meio da seleção. Essa variabilidade constitui a base para a formação de pomares de sementes compostos por genótipos superiores e geneticamente diversos, possibilitando a produção de material adaptado às condições edafoclimáticas regionais (FREITAS et al., 2006; FREITAS et al., 2007; FREITAS et al., 2008).

Do ponto de vista de conservação genética, estudos mostram que *D. alata* pode apresentar baixa diversidade genética intrapopulacional, estruturação espacial e restrições ao fluxo gênico, reforçando a necessidade de integrar estratégias de conservação *in situ* e *ex situ* ao uso econômico e ao melhoramento (SOARES et al., 2008; COLLEVATTI et al., 2013; SOARES et al., 2015; TAMBARUSSI et al., 2017; ZARUMA et al., 2015). Assim, programas de melhoramento não devem se restringir ao aumento de produtividade, devendo incorporar critérios explícitos de manutenção da variabilidade genética e de tamanho efetivo populacional,

para evitar erosão genética e reduzir riscos associados à seleção intensiva (FRANKHAM; BALLOU; BRISCOE, 2004; RESENDE, 2002).

Embora representem abordagens distintas, as análises genéticas em populações arbóreas e os estudos na área de tecnologia de sementes são complementares, pois contribuem para a compreensão integrada do ciclo de vida das espécies e para o aprimoramento de estratégias de conservação, produção de mudas e uso dos recursos genéticos florestais (RESENDE, 2002; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; MARCOS FILHO, 2005). Nesse contexto integrativo, estudos sobre tecnologia de sementes assumem papel complementar e estratégico, uma vez que permitem avaliar a qualidade fisiológica e o potencial de estabelecimento dos materiais selecionados (BONNER, 1998; OLIVEIRA et al., 2015; SILVA et al., 2021).

Testes de germinação, análises biométricas e avaliações do crescimento inicial de plântulas constituem ferramentas fundamentais para validar a seleção de lotes de sementes, possibilitando inferências sobre vigor, uniformidade e desempenho inicial dos indivíduos (MAGUIRE, 1962; RANAL; SANTANA, 2006; CORRÊA; ROCHA; NAVES, 2007; BOTEZELLI; DAVIDE; MALAVASI, 2000; MOTA et al., 2020). Dessa forma, a integração entre avaliações em campo e análises em nível de semente e plântula contribui para uma abordagem mais robusta na seleção de materiais genéticos superiores, ampliando a eficiência de programas de melhoramento e conservação de espécies florestais nativas (MATTSSON, 1997; MOTA et al., 2020).

Diante do conjunto de atributos ecológicos, fisiológicos e produtivos, *D. alata* assume posição estratégica entre as espécies nativas com potencial para conservação e melhoramento genético. Estudos com marcadores moleculares, testes de procedências e progênies e avaliações silviculturais demonstram que a espécie apresenta variabilidade genética e boa resposta em crescimento sob diferentes condições ambientais e de manejo (SOARES et al., 2008; COLLEVATTI et al., 2013; SOARES et al., 2015; TAMBARUSSI et al., 2017; ZARUMA et al., 2015; MOTA; SCALON; HEINZ, 2012; CANUTO et al., 2015; SANTOS; ROSADO; OLIVEIRA, 2014).

Ao mesmo tempo, fatores relacionados à fragmentação populacional e à limitação do fluxo gênico reforçam a necessidade de estratégias que integrem conservação genética e uso produtivo da espécie (TARAZI et al., 2010; COLLEVATTI et al., 2013). Somam-se a isso os avanços relacionados à caracterização física, química e funcional de frutos e sementes, que ampliam o potencial de uso da espécie e fortalecem sua cadeia produtiva (RINALDI et al., 2021; VALLILO; TAVARES; AUED, 1990).

Apesar da importância ecológica e econômica de *D. alata*, os estudos para a espécie concentram-se principalmente na avaliação de crescimento, forma do fuste, qualidade da madeira e parâmetros genéticos em testes de procedência e progênie (SIQUEIRA; NOGUEIRA; KAGEYAMA, 1993; SANTOS; ROSADO; OLIVEIRA et al., 2014; SANTOS et al., 2018; SANTOS et al., 2021). Entretanto, ainda são limitados os estudos que integrem avaliações silviculturais de testes de procedência e progênie com características relacionadas ao vigor inicial e à qualidade fisiológica das sementes em *D. alata*. Nesse contexto, o conhecimento aprofundado da variabilidade genética e do desempenho inicial dos indivíduos torna-se fundamental para a seleção de matrizes e para o aprimoramento de programas de melhoramento genético da espécie.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as características silviculturais de um teste de procedências (Brasília-DF e Três Lagoas-MS) e progênies de *D. alata*, implantado em 1986 no município de Pederneiras, São Paulo, visando à seleção de genótipos superiores e à avaliação de características associadas ao vigor da espécie, utilizando sementes selecionadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, V. M. et al. Baru (*Dipteryx alata* Voug.), the Brazilian savanna's brown gold: a scientometric analysis of investigative trend. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 17, e41111738797, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i17.38797.

BFG – BRAZIL FLORA GROUP. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015. DOI: 10.1590/2175-7860201566411.

BONNER, F. T. Testing tree seeds for vigor: a review. **Seed Technology**, v. 20, n. 1, 1998.

BORGHETTI, F. et al. Fitogeografia das savanas sul-americanas. **Heringeriana**, [S. l.], v. 17, n. 1, e918014, 2023. DOI: 10.17648/heringeriana.v17i1.918014. Disponível em: [https://jbb.ibict.br/bitstream/1/1757/1/v17\\_Fitogeografia%20das%20savanas.pdf](https://jbb.ibict.br/bitstream/1/1757/1/v17_Fitogeografia%20das%20savanas.pdf).

BOTEZELLI, Luciana; DAVIDE, A. C.; MALAVASI, M. M. Características dos frutos e sementes de quatro procedências de *Dipteryx alata* Vogel (baru). **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 9–18, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria MAPA nº 868, de 1º de dezembro de 2025. Publica os preços mínimos para os produtos extrativos da safra 2026, relacionados no Anexo desta Portaria, fixados pelo Conselho Monetário Nacional por meio do Voto nº 72/2025 – CMN, de 27 de novembro de 2025. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 dez. 2025. Seção 1, p. 62.

CANUTO, D. S. O. et al. Caracterização genética de um teste de progênies de *Dipteryx alata* Vog. proveniente de remanescente florestal da Estação Ecológica de Paulo de Faria, SP, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 641-648, 2015. DOI: 10.1590/2236-8906-13/rad/2015.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C. *Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto do baru (Dipteryx alata Vog.)*. 2. ed. Brasília, DF: ISPN, 2010.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 593 p.

COLLEVATTI, R. G. et al. Demographic history and the low genetic diversity in *Dipteryx alata* (Fabaceae) from Brazilian Neotropical savannas. **Heredity**, London, v. 111, p. 97-105, 2013. DOI: 10.1038/hdy.2013.23.

CORRÊA, G.; ROCHA, Mara Rúbia da; NAVES, R. V. Germinação de sementes e emergência de plântulas de baru (*Dipteryx alata* Vog.) nos cerrados do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 1, p. 17–23, 2007.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003.

CUNHA NETO, F. V. et al. Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: aplicações na produção e restauração ecológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 17, n. 4, p. 2315-2331, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.4.p2315-2331.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. Harlow: Longman, 1996. 464 p.

FRANKHAM, R.; BALLOU, J. D.; BRISCOE, D. A. *A primer of conservation genetics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 220 p.

FREITAS, M. L. M. et al. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Cordia trichotoma* (Vell.) ex Steud. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 95-102, 2006.

FREITAS, M. L. M. et al. Formação de pomar de sementes a partir da seleção dentro de teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2007.

FREITAS, M. L. M. et al. Variação genética para caracteres quantitativos em população de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 165-173, 2008.

- MAGUIRE, J. D. Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. *Fichas de características das madeiras brasileiras*. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 418 p.
- MARCOS FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.
- MATTSSON, A. Predicting field performance using seedling quality assessment. **New Forests**, v. 13, n. 1–3, p. 227–252, 1997.
- MOTA, E. E. S. *et al.* Structure of the phenotypic variability of fruit and seeds of *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 2, e-030, 2020.
- MOTA, L. H. S.; SCALON, S. P. Q.; HEINZ, R. Sombreamento na emergência de plântulas e no crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 423-431, 2012. DOI: 10.5902/198050986611.
- MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000. DOI: 10.1038/35002501.
- OLIVEIRA, M. I. B.; SIGRIST, M. R. Fenologia reprodutiva, polinização e reprodução de *Dipteryx alata* Vogel (Leguminosae-Papilionoideae) em Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 195-207, 2008.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (ed.). *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-121.
- OLIVEIRA, A. C. S. de *et al.* Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. **InterScience Place**, v. 1, n. 12, 2015.
- RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. How and why to measure the germination process. **Brazilian Journal of Botany**, v. 29, n. 1, p. 1–11, 2006.

RESENDE, M. D. V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

RINALDI, M. M. et al. *Produção, caracterização física, química e funcional de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog., Fabaceae) oriundos da Embrapa Cerrados e Arinos, MG: safra 2019*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 31 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 376). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1135426/1/Producao-caracterizacao-fisica-quimica-e-funcional-de-frutos-e-semente-de-baru-BOL376.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2026.

SANO, S. M.; BRITO, M. A.; RIBEIRO, J. F. *Dipteryx alata* Vogel – baru. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (org.). *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Centro-Oeste*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2016. p. 203-210.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F.; BRITO, M. A. *Baru: biologia e uso*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 52 p.

SANTOS, A. M.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. N. Estimation of genetic parameters and verification of early selection efficiency in baru (*Dipteryx alata*). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 14, n. 4, p. 238-243, 2014. DOI: 10.1590/1984-70332014v14n4a37.

SANTOS, T. S. et al. Growth and wood quality traits in a *Dipteryx alata* Vog. (Fabaceae) progeny and provenance test. **Forest Science**, v. 67, n. 4, p. 468-477, 2021. DOI: 10.1093/forsci/xfab010.

SANTOS, W. et al. Genetic variation and effective population size in *Dipteryx alata* progenies in Pederneiras, São Paulo, Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 42, n. 3, 2018. DOI: 10.1590/1806-90882018000300010.

SIQUEIRA, A. C. M. F.; NOGUEIRA, J. C. B.; KAGEYAMA, P. Y. Conservação dos recursos genéticos *ex situ* do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.) – Leguminosae. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 231-243, 1993.

SOARES, T. N. et al. Landscape conservation genetics of *Dipteryx alata* (“baru” tree: Fabaceae) from Cerrado region of central Brazil. **Genetica**, Dordrecht, v. 132, n. 1, p. 9-19, 2008. DOI: 10.1007/s10709-007-9144-7.

SOARES, T. N. et al. Patterns of genetic variability in central and peripheral populations of *Dipteryx alata* (Fabaceae) in the Brazilian Cerrado. **Plant Systematics and Evolution**, v. 301, n. 5, p. 1315-1324, 2015. DOI: 10.1007/s00606-014-1155-0.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, art. 0099, 2017. DOI: 10.1038/s41559-017-0099.

TAMBARUSSI, E. V. et al. *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae), a neotropical tree with high levels of selfing: implications for conservation and breeding programs. **Annals of Forest Research**, v. 60, n. 2, p. 243-261, 2017. DOI: 10.15287/afr.2017.842.

TOLEDO FILHO, D. V. Competição de espécies arbóreas de cerrado. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, p. 61-70, 198

VALLILO, M. I.; TAVARES, M.; AUED, S. Composição química da polpa e da semente do fruto do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.) – caracterização do óleo da semente. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 115-125, 1990. DOI: 10.24278/2178-5031.199022137.

VELAZCO, S. J. E. et al. A dark scenario for Cerrado plant species: effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness. **Diversity and Distributions**, v. 25, p. 660-673, 2019. DOI: 10.1111/ddi.12886.

ZARUMA, D. U. G. et al. Genetic variability in the provenance and progeny *Dipteryx alata* Vogel for conservation genetics and seed production purposes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 609-615, 2015.

Brazil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015.

BORGHETTI, F. et al. Fitogeografia das savanas sul-americanas. **Heringeriana**, Brasília, v. 17, n. 1, e918014, 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria MAPA nº 868, de 1º de dezembro de 2025. Publica os preços mínimos para os produtos extrativos da safra 2026, relacionados no Anexo desta Portaria, fixados pelo Conselho Monetário Nacional por meio do Voto nº 72/2025 – CMN, de 27 de novembro de 2025. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 dez. 2025. Seção 1, p. 62.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C. *Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.)*. 2. ed. Brasília, DF: ISPN, 2010.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588 p.

CARVALHO, P. E. R. Baru: *Dipteryx alata*. In: CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1, p. 197-204.

CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 593 p.

CORRÊA, G. C. Avaliação comportamental de plantas de baru (*Dipteryx alata* Vog.) nos cerrados do Estado de Goiás. 1999. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

CORRÊA, G. C.; NAVES, R. V.; ROCHA, M. R.; ZICA, L. F. Caracterização física de frutos de baru (*Dipteryx alata* Vog.) em três populações nos cerrados do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 2, p. 5-11, jul./dez. 2000.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003.

CUNHA NETO, F. V. et al. Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: aplicações na produção e restauração ecológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 17, n. 4, p. 2315-2331, 2024.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. Harlow: Longman, 1996. 464 p.

FARIA, V. M. A. A. et al. Baru (*Dipteryx alata* Voug.), the Brazilian savanna's brown gold: a scientometric analysis of investigative trend. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 17, p. e41111738797, 2022.

FRANKHAM, R.; BALLOU, J. D.; BRISCOE, D. A. *A primer of conservation genetics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 220 p.

FREITAS, M. L. M. et al. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Cordia trichotoma* (Vell.) ex Steud. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 95-102, 2006.

FREITAS, M. L. M. et al. Formação de pomar de sementes a partir da seleção dentro de teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2007.

FREITAS, M. L. M. et al. Variação genética para caracteres quantitativos em população de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 165-173, 2008.

LATREILLE, A. J. et al. Propriedades físico-mecânicas em madeira de *Dipteryx alata*, *Astronium graveolens*, *Bowdichia virgilioides* e *Eucalyptus grandis*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 143-150, dez. 2018.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. *Fichas de características das madeiras brasileiras*. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras, 1989. 418 p.

MARCOS FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA, M. I. B.; SIGRIST, M. R. Fenologia reprodutiva, polinização e reprodução de *Dipteryx alata* Vogel (Leguminosae-Papilionoideae) em Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 195-207, abr./jun. 2008.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (ed.). *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-121.

RESENDE, M. D. V. de. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

RINALDI, M. M. et al. Produção, caracterização física, química e funcional de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog., Fabaceae) oriundos da Embrapa Cerrados e Arinos, MG: safra 2019. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021.

SANO, S. M.; BRITO, M. A.; RIBEIRO, J. F. *Dipteryx alata* Vogel – baru. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (org.). *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Centro-Oeste*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2016. p. 203-210.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F.; BRITO, M. A. *Baru: biologia e uso*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 52 p.

SANO, S. M.; VIVALDI, L. J.; SPEHAR, C. R. Diversidade morfológica de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 513-518, abr. 1999.

SANTOS, W. dos et al. Genetic variation and effective population size in *Dipteryx alata* progenies in Pederneiras, São Paulo, Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 42, n. 3, 8 p., 2018.

SEBBENN, A. M. et al. Conservação *ex situ* e pomar de sementes em banco de germoplasma de *Balfourodendron riedelianum*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 101-112, 2007.

SEBBENN, A. M. et al. Comportamento da variação genética entre e dentro de procedências e progênies de *Gallesia integrifolia* (Vell.) Moq. para caracteres quantitativos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, p. 151-163, 2009.

SIQUEIRA, A. C. M. de F.; NOGUEIRA, J. C. B.; KAGEYAMA, P. Y. Conservação dos recursos genéticos *ex situ* do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.) – Leguminosae. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 231-243, 1993.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, [S. l.], v. 1, art. 0099, 2017.

VALLILO, M. I.; TAVARES, M.; AUED, S. Composição química da polpa e da semente do fruto do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.) – caracterização do óleo da semente. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 115-125, 1990.

VELAZCO, S. J. E. et al. A dark scenario for Cerrado plant species: effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness. **Diversity and Distributions**, [S. l.], v. 25, p. 660-673, 2019.

YAN, A.; CHEN, Z. The control of seed dormancy and germination by temperature, light and nitrate. **Botanical Review**, [S. l.], v. 86, p. 39-75, 2020.

ZARUMA, D. U. G. et al. Genetic variability in the provenance and progeny *Dipteryx alata* Vogel for conservation genetics and seed production purposes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 609-615, 2015.

**CAPÍTULO I- SELEÇÃO DE INDIVÍDUOS SUPERIORES DE *Dipteryx alata* VOGEL,  
EM ÁREA DE TESTE DE PROGÊNIE E PROCEDÊNCIAS EM PEDERNEIRAS,  
SÃO PAULO- BRASIL**

**RESUMO**

A fragmentação do Cerrado e a redução da variabilidade genética de espécies nativas reforçam a necessidade de estratégias que conciliem conservação e uso sustentável dos recursos florestais. Nesse contexto, *Dipteryx alata* Vogel destaca-se como espécie de interesse ecológico e econômico, com potencial para programas de conservação *ex situ* e melhoramento genético. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as características silviculturais de um teste de procedências e progênies de *D. alata*, implantado em 1986 no município de Pederneiras, São Paulo, visando à seleção de genótipos superiores. A avaliação foi realizada aos 39 anos de idade, por meio de inventário florestal, considerando os caracteres diâmetro à altura do peito, altura total, altura comercial, bifurcação, retidão do fuste e sobrevivência. A análise genética foi conduzida pelo procedimento REML/BLUP, utilizando o software Selegen, sob o modelo 93. Os resultados evidenciaram sobrevivência média de 52% dos indivíduos originalmente implantados e médias gerais de 20,84 cm para diâmetro à altura do peito, 14,19 m para altura total, 3,20 m para altura comercial, 3,05 para bifurcação e 2,96 para retidão do fuste. As análises indicaram significância dos efeitos fixos para todos os caracteres, porém ausência de efeito significativo de progênie. A variância residual predominou em relação à variância genética aditiva, resultando em estimativas reduzidas de herdabilidade individual no sentido restrito e baixa acurácia das predições genéticas, indicando forte influência ambiental sobre a expressão fenotípica dos caracteres avaliados. Conclui-se que, embora a influência ambiental, a competição intraespecífica e o longo período sem intervenções silviculturais tenham reduzido a capacidade de discriminação genética em idade avançada, a seleção multicaracterística permitiu identificar indivíduos promissores para conservação genética, propagação clonal e uso futuro em programas de melhoramento de *D. alata*.

**Palavras-chave:** Cerrado; variabilidade genética; parâmetros genéticos; seleção multicaracterística; conservação genética.

## ABSTRACT

The fragmentation of the Cerrado biome and the reduction of genetic variability in native species reinforce the need for strategies that reconcile conservation and sustainable use of forest resources. In this context, *Dipteryx alata* Vogel stands out as a species of ecological and economic interest, with potential for *ex situ* conservation and genetic improvement programs. Thus, the objective of this study was to evaluate the silvicultural characteristics of a provenance and progeny test of *D. alata*, established in 1986 in the municipality of Pederneiras, São Paulo State, Brazil, aiming at the selection of superior genotypes. The evaluation was carried out at 39 years of age through forest inventory, considering diameter at breast height, total height, commercial height, bifurcation, stem straightness, and survival. Genetic analyses were performed using the REML/BLUP procedure with the Selegen software under model 93. The results showed an average survival rate of 52% of the originally established individuals and overall means of 20.84 cm for diameter at breast height, 14.19 m for total height, 3.20 m for commercial height, 3.05 for bifurcation, and 2.96 for stem straightness. The analyses indicated significant fixed effects for all evaluated traits, but no significant progeny effect. Residual variance predominated over additive genetic variance, resulting in reduced estimates of narrow-sense individual heritability and low prediction accuracy, indicating strong environmental influence on the phenotypic expression of the evaluated traits. It is concluded that, although environmental influence, intraspecific competition, and the long period without silvicultural interventions reduced the genetic discrimination capacity at advanced age, multivariate selection allowed the identification of promising individuals for genetic conservation, clonal propagation, and future use in *D. alata* breeding programs.

**Keywords:** Cerrado; genetic variability; genetic parameters; multivariate selection; genetic conservation.

## 1. INTRODUÇÃO

A intensificação das mudanças no uso da terra no Cerrado tem promovido a redução da variabilidade genética e a fragmentação de populações naturais, comprometendo a manutenção de processos ecológicos e evolutivos (KLINK; MACHADO, 2005; STRASSBURG et al., 2017). Esse cenário evidencia a necessidade de estratégias que integrem conservação e uso sustentável, nas quais a quantificação da variabilidade genética e a seleção de indivíduos superiores assumem papel central, especialmente diante dos riscos associados à perda de diversidade genética em populações reduzidas (FRANKHAM; BALLOU; BRISCOE, 2002).

A obtenção de informações sobre o desempenho das populações arbóreas depende diretamente da realização de inventários florestais estruturados. Esses levantamentos permitem mensurar características de crescimento, sobrevivência e adaptação em condições reais de campo, constituindo a base para a estimação de parâmetros genéticos e para a avaliação do potencial de seleção (SANTOS et al., 2014; SANTOS et al., 2018; SANTOS et al., 2021). A partir desses dados, torna-se possível integrar informações fenotípicas com abordagens quantitativas.

Para essa finalidade, metodologias baseadas em modelos mistos, como REML/BLUP, têm sido amplamente utilizadas na genética quantitativa florestal. Essas abordagens permitem a decomposição da variância fenotípica em seus componentes genéticos e ambientais, além da predição de valores genéticos individuais com elevada acurácia, mesmo em condições de desbalanceamento experimental e heterogeneidade ambiental (RESENDE, 2002). Dessa forma, a combinação entre inventários florestais bem conduzidos e ferramentas estatísticas robustas constitui um dos principais pilares para a seleção de genótipos superiores.

Entre as espécies nativas do Cerrado, *Dipteryx alata* Vogel destaca-se pelo elevado potencial econômico, ecológico e social, devido à ampla diversidade de produtos e serviços ecossistêmicos associados à espécie. Suas sementes apresentam elevado valor alimentício e comercial, podendo ser utilizadas na produção de alimentos, óleos e subprodutos agroindustriais, enquanto a madeira possui características tecnológicas favoráveis ao uso rural e estrutural. Ecológicamente, a espécie exerce papel relevante na manutenção da fauna e apresenta potencial para utilização em sistemas produtivos sustentáveis, incluindo atividades extrativistas, agroflorestais e silvipastoris (SANO; RIBEIRO; BRITO, 2004; ZARUMA, 2014). Além disso, sua inserção em cadeias produtivas regionais tem se intensificado, especialmente devido à valorização da sua castanha e derivados, contribuindo para a geração de renda em diferentes regiões do Cerrado (BISPO et al., 2021; VALADÃO; SOUZA, 2024).

Diante dessa relevância, estudos genéticos com *D. alata* têm evidenciado a existência de variabilidade genética significativa, tanto em características de crescimento quanto em atributos reprodutivos, indicando potencial para ganhos por seleção (COLLEVATTI et al., 2013; SOARES et al., 2015; TAMBARUSSI et al., 2017). Nesse sentido, testes de procedências e progênies destacam-se como ferramentas fundamentais, pois permitem avaliar o desempenho de diferentes origens genéticas sob condições controladas e comparáveis, favorecendo a identificação de indivíduos superiores (CANUTO et al., 2015).

A partir dessa avaliação, a seleção de indivíduos superiores pode atender a diferentes estratégias dentro do melhoramento genético. De um lado, possibilita a obtenção de material para produção de sementes com base genética adequada, contribuindo para programas de restauração e plantios comerciais. De outro, permite a identificação de genótipos superiores para propagação clonal, estratégia particularmente relevante quando se busca maior produtividade, uniformidade e qualidade de frutos, aspectos essenciais para a consolidação de cadeias produtivas baseadas em espécies nativas.

Adicionalmente, a avaliação de experimentos de longa duração representa um diferencial importante, pois permite capturar o desempenho dos indivíduos ao longo do tempo e sob condições ambientais reais. Esse tipo de abordagem proporciona estimativas mais robustas dos parâmetros genéticos e maior confiabilidade na seleção, especialmente em espécies perenes (RESENDE, 2002; ZARUMA et al., 2015).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade genética em um teste de procedências e progênies de *D. alata* aos 39 anos de idade, instalado no município de Pederneiras, SP, por meio da estimativa de parâmetros genéticos e da predição de valores genéticos individuais, visando à seleção de indivíduos superiores com potencial de uso para propagação clonal e produção de sementes.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O material utilizado foi obtido na Floresta Estadual (FEP) localizada no município de Pederneiras, Estado de São Paulo, Brasil, onde o experimento com *D. alata* foi implantado em 1986. As procedências e progênies de *D. alata* utilizadas no presente estudo são oriundas de Brasília (DF) e Três Lagoas (MS), regiões classificadas como Aw segundo Köppen, caracterizadas por clima tropical com inverno seco (ALVARES et al., 2013). O experimento foi implantado no município de Pederneiras (SP), área de transição entre Cerrado e Mata

Atlântica, inserida no Planalto Ocidental Paulista. Embora frequentemente classificada como Cfa em sistemas climáticos gerais, a região apresenta características de clima tropical alternadamente seco e úmido, sob influência da Massa Tropical Atlântica, conforme descrito no plano de manejo da unidade experimental. Essas condições evidenciam similaridades ecológicas entre a área experimental e as regiões de origem das procedências, aspecto relevante para a interpretação do desempenho silvicultural das progênes avaliadas (Quadro 1).

**Quadro 1-** Características climáticas das procedências das progênes de *D. alata* e do local de implantação do experimento.

Local	Classificação climática	Altitude média (m)	Temperatura média anual (°C)	Precipitação média anual (mm)
Brasília (DF)	Aw	1.035	21,0	1.531,5
Três Lagoas (MS)	Aw	377	22,9	1.456,2
Pederneiras (SP)	Cfa	528	20,9	1.347,1

**Fonte:** Classificação climática de Köppen atualizada (acesso 2026).

Essa área possui três plantios distintos da mesma espécie (*D. alata*), sendo que o talhão avaliado no presente estudo se encontra destacado por uma linha branca na imagem de satélite apresentada (Figura 2). Quanto aos tipos de solo, observa-se predominância de Latossolos nas áreas de ocorrência das procedências e do local de implantação do experimento. Em Três Lagoas (MS), ocorre Latossolo Vermelho-Escuro álico. Em Pederneiras (SP), predominam Latossolos Vermelhos com variações distróficas, eutróficas e álicas, indicando heterogeneidade nas condições de fertilidade do solo. Já em Brasília (DF), predominam Latossolos Vermelho-Amarelos álicos, associados a elevada acidez e baixa saturação por bases.



**Figura 2-** Imagem de satélite do plantio experimental de *D. alata* aos 39 anos de implantação, localizado na Floresta Estadual de Pederneiras - São Paulo

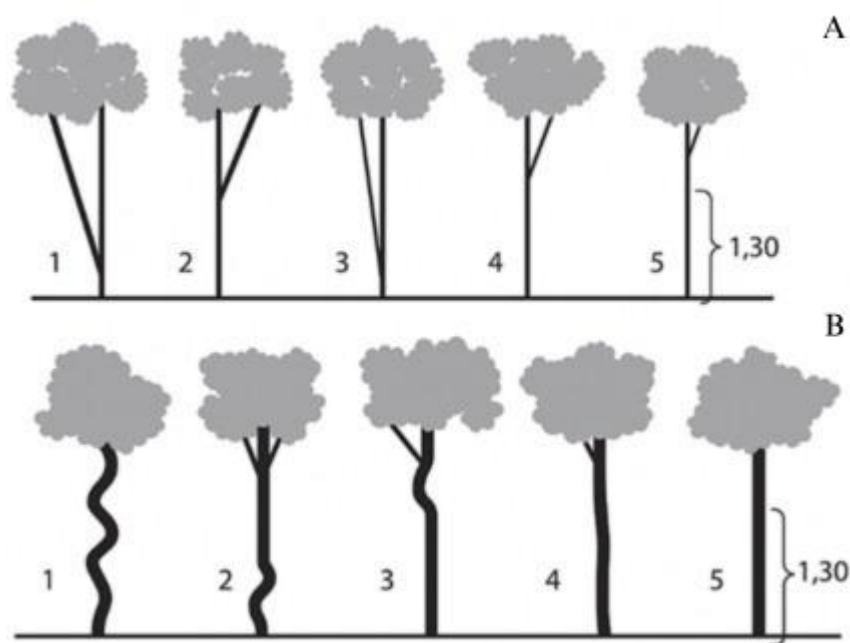
O experimento implantado em 1986, foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com 43 tratamentos, correspondentes a 17 progênies provenientes de Brasília (DF) e 26 progênies oriundas do município de Três Lagoas (MS), de duas a oito repetições por progênie (Tabela 1) e cinco plantas por parcela, em espaçamento de  $3 \times 3$  m. No Apêndice A encontra-se o croqui da área.

**Tabela 1-** Número de repetições por progênies de *D. alata*, sendo 1 a 17 da procedência de Brasília (DF) e 18 a 43 da procedência de Três Lagoas (MS) do plantio experimental de Pederneiras, São Paulo

Nº. de repetições	Progênies
2	12, 16, 29, 36, 38 e 42
3	9, 31, 37, 41 e 43
4	4, 11, 22, 35 e 39
5	3, 6, 7, 10, 13, 21, 27, 28, 30, 32 e 33
6	2 e 26
7	5, 8, 19, 20, 23, 24 e 40
8	1, 14, 15, 17, 18, 25 e 34

A fim de verificar as informações silviculturais no plantio experimental após 39 anos (2025), foi realizado o inventário florestal e coletadas as informações de diâmetro à altura do peito (DAP) em cm, altura total (HT) e comercial (HC) em m, sobrevivência (SOB), bifurcação (BIF), forma do caule (RET). A medição de DAP foi feita com o uso de fita métrica. As alturas (HT e HC) foram medidas com auxílio de hipsômetro, a classificação das formas do fuste (BIF e RET) foram feitas segundo escala ordinal adaptada de Sant'ana et al. (2013). A bifurcação foi classificada conforme sua distribuição ao longo do fuste, sendo: [1] bifurcação abaixo de 1,30

m, com ramos apresentando diâmetro semelhante ao fuste principal; [2] bifurcação acima de 1,30 m, com ramos de diâmetro semelhante ao fuste; [3] bifurcação abaixo de 1,30 m, com ramos de diâmetro inferior ao fuste principal; [4] bifurcação acima de 1,30 m, com ramos mais finos que o fuste; e [5] ausência de bifurcação, com tronco único até o topo. A tortuosidade do fuste seguiu princípio semelhante, sendo classificada como: [1] acentuada em toda a extensão do fuste; [2] acentuada acima de 1,30 m; [3] acentuada abaixo de 1,30 m; [4] leve; e [5] ausente, conforme metodologia descrita por Sant'ana et al. (2013) (Figura 3).



**Figura 3-** Escala de notas atribuídas para a bifurcação em relação ao tronco principal (A) e qualidade do fuste (B) em progênies de *D. alata*. Fonte: Adaptado de Sant'ana et al. (2013).

Considerando a mortalidade e a redução do número de indivíduos ao longo dos 39 anos de desenvolvimento do teste, o experimento apresentou condição de desbalanceamento, sendo o procedimento REML/BLUP adotado para estimação de parâmetros genéticos em dados desbalanceados. A análise estatística e a predição dos valores genéticos foram realizadas utilizando-se o software SELEGEN REML/BLUP. A significância dos efeitos do modelo foi avaliada por meio da análise de deviance, utilizando o teste da razão de verossimilhança (Likelihood Ratio Test – LRT). Para atender ao objetivo de seleção de indivíduos matrizes, a análise foi conduzida sob o modelo 93 (Eq 1), conforme descrito por Resende (2002). Foram estimados os seguintes parâmetros genéticos e estatísticos, seguindo as definições e rotinas implementadas no software: A variância fenotípica individual ( $\sigma^2_f$ ) foi estimada como a soma

da variância genética aditiva, da variância de parcelas e da variância residual, conforme a Equação 2:

**Eq 1.**

$$y = Xr + Za + Wp + e$$

Onde:

$y$  = vetor de dados fenotípicos.

$r$  = vetor dos efeitos de repetição, assumidos como fixos, somados à média geral.

$a$  = vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais, assumidos como aleatórios (BLUP).

$p$  = vetor dos efeitos de parcelas, assumidos como aleatórios.

$e$  = vetor de erros ou resíduos aleatórios.

**Eq. 2**

$$\sigma_f^2 = \sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_\varepsilon^2$$

Em que:

$\sigma^2_a$  = variância genética aditiva;

$\sigma^2_c$  = variância de parcelas (efeitos ambientais comuns);

$\sigma^2_\varepsilon$  = variância residual (erro experimental).

A herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2_a$ ) foi estimada pela razão entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica individual, conforme a Equação 3:

**Eq. 3**

$$h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_f^2}$$

Esse parâmetro expressa a proporção da variância fenotípica total explicada por efeitos genéticos aditivos. A herdabilidade aditiva dentro de parcelas ( $h^2_{ad}$ ) foi estimada de acordo com a Equação 4:

**Eq. 4**

$$h_{ad}^2 = \frac{0,75 \times \sigma_a^2}{0,75 \times \sigma_a^2 + \sigma_\varepsilon^2}$$

O fator 0,75 corresponde à fração da variância genética aditiva esperada dentro de progênies de meios-irmãos, considerando que o coeficiente médio de parentesco entre

indivíduos de uma mesma progênie é igual a 0,25. O coeficiente de variação genética aditiva individual ( $CV_{gi}$ ) foi calculado conforme a Equação 5:

**Eq. 5**

$$CV_{gi}(\%) = \left( \frac{\sqrt{\sigma_a^2}}{\hat{m}} \right) \times 100$$

Em que  $\hat{m}$  representa a média geral do caráter avaliado. Esse coeficiente indica a magnitude da variabilidade genética aditiva em relação à média populacional.

O coeficiente de variação genotípica entre progênies ( $CV_{gp}$ ) foi estimado conforme a Equação 6:

**Eq. 6**

$$CV_{gp}(\%) = \left( \frac{\sqrt{0,25 \times \sigma_a^2}}{\hat{m}} \right) \times 100$$

O fator 0,25 refere-se à proporção da variância genética aditiva associada às diferenças entre progênies de meios-irmãos, uma vez que indivíduos de uma mesma progênie compartilham, em média, 25% dos alelos idênticos por descendência. O coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ), utilizado como medida da precisão experimental do ensaio, foi estimado conforme a Equação 7:

**Eq. 7**

$$CV_e(\%) = \left( \frac{\sqrt{\left[ \frac{(0,75 \times \sigma_a^2 + \sigma_\varepsilon^2)}{n} \right] + \sigma_\varepsilon^2}}{\hat{m}} \right) \times 100$$

Em que  $n$  corresponde ao número de indivíduos por parcela.

O coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ), que expressa a relação entre a variação genética e a variação experimental, foi calculado conforme a Equação 8:

**Eq. 8**

$$CV_r = \frac{CV_{gp}}{CV_e}$$

Esse coeficiente é utilizado como indicador da eficiência potencial da seleção genética.

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $c^2p$ ) indica a proporção da variância fenotípica total atribuída aos efeitos ambientais comuns associados às parcelas e foi estimado conforme a Equação 9:

**Eq. 9**

$$c_p^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2}$$

Para a seleção das matrizes destinadas à formação do pomar de sementes, foi construído um índice de seleção multicaracterístico a partir dos valores genéticos aditivos individuais preditos pelo procedimento REML/BLUP no software SELEGEN (RESENDE, 2002). A construção do índice seguiu o princípio clássico de índices lineares de seleção descrito por Hazel (1943), sendo adotada abordagem simplificada com pesos biológicos definidos conforme a relevância silvicultural dos caracteres para o objetivo do programa. Considerando que os caracteres avaliados apresentam diferentes escalas de mensuração, procedeu-se à padronização dos valores individuais, conforme a Equação 10:

**Eq. 10**

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^-}{\sqrt{V_{f_j}}}$$

Em que:

$Z_{ij}$  = valor padronizado do indivíduo  $i$  para o caráter  $j$ ;

$X_{ij}$  = valor observado do indivíduo  $i$  para o caráter  $j$ ;

$X_j^-$  = média geral do caráter  $j$ ;

$V_{f_j}$  = variância fenotípica do caráter  $j$ .

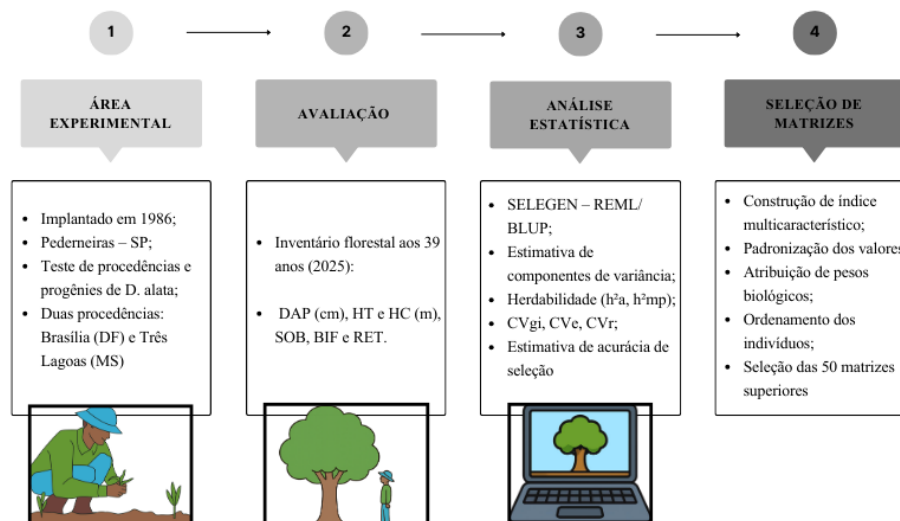
A padronização foi adotada com o objetivo de eliminar o efeito de diferenças de escala entre caracteres, permitindo sua combinação em um único índice. O índice de seleção (I) foi calculado por meio da combinação linear ponderada dos valores padronizados:

$$I = \sum b_j Z_j$$

onde  $b_j$  corresponde ao peso biológico atribuído ao caráter  $j$ .

Com o objetivo de identificar genótipos superiores com potencial para utilização futura em estratégias de conservação genética, produção de sementes e propagação clonal, foi construído um índice de seleção multicaracterístico priorizando características relacionadas ao vigor, adaptação e qualidade silvicultural. Dessa forma, foram atribuídos os seguintes pesos aos caracteres avaliados: DAP (0,25), altura comercial (0,20), altura total (0,15), sobrevivência (0,15), bifurcação (0,15) e retidão do fuste (0,10). Os indivíduos foram ordenados de forma decrescente conforme os valores do índice, sendo selecionadas as 50 matrizes superiores. Os indivíduos foram ordenados de forma decrescente conforme os valores do índice, sendo

identificados os 50 indivíduos superiores com maior potencial para utilização em programas futuros de conservação e melhoramento genético. A organização metodológica do estudo, desde a implementação da área experimental até a seleção das matrizes superiores, está esquematizada na Figura 4.



**Figura 4-** (A) Fluxograma e linha temporal das etapas metodológicas do estudo, desde a implantação do teste de procedências e progênes (1986) até a análise de variabilidade genética aos 39 anos de plantio (2025) de *D. alata* na estação experimental, no município de Pederneiras, São Paulo.

### 3. RESULTADOS

A avaliação das árvores adultas de *D. alata* evidenciou uma sobrevivência média de 52% dos indivíduos originalmente estabelecidos no experimento. As médias gerais estimadas foram de 20,84 cm para o diâmetro à altura do peito (DAP), 14,19 m para a altura total (HT), 3,20 m para a altura comercial (HC), 3,05 para bifurcação (BIF) e 2,96 para retidão do fuste (RET).

Os efeitos fixos apresentaram significância para todos os caracteres avaliados, enquanto o efeito de progênie não apresentou significância estatística. As estimativas dos componentes de variância obtidas indicaram que, para todos os caracteres avaliados, a variância residual ( $V_e$ ) correspondeu à maior proporção da variância fenotípica total ( $V_f$ ), quando comparada à variância genética aditiva ( $V_a$ ) e à variância associada aos efeitos de parcela ( $V_{parc}$ ). Na Tabela 2 estão apresentados os componentes de variância, as estimativas de herdabilidade e os parâmetros genéticos derivados. Os valores estimados de variância genética aditiva ( $V_a$ ) variaram de 0,002 para sobrevivência (SOB) a 0,218 para altura total (HT), enquanto a variância fenotípica ( $V_f$ ) apresentou variação de 0,249 a 60,000, conforme o caráter considerado.

**Tabela 2-** Estimativas dos componentes de variância genética aditiva ( $\sigma^2a$ ), variância de parcelas ( $\sigma^2\text{parc}$ ), variância residual ( $\sigma^2e$ ) e variância fenotípica total ( $\sigma^2f$ ) para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP), altura comercial (HC), altura total (HT), bifurcação (BIF), retidão do fuste (RET) e sobrevivência (SOB) do plantio experimental de *D. alata* aos 39 anos de idade.

Caráter	Va ( $\sigma^2a$ )	Vparc ( $\sigma^2\text{parc}$ )	Ve ( $\sigma^2e$ )	Vf ( $\sigma^2f$ )
DAP	0,21	4,371	36,886	41,467
HC	0,062	0,256	3,993	4,311
HT	0,218	0,852	59	60
BIF	0,013	0,166	1	1
RET	0,006	0,175	0,965	1,146
SOB	0,002	0,032	0,214	0,249

As estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2a$ ), apresentadas na Tabela 3, variaram de 0,004 para altura total (HT) a 0,014 para altura comercial (HC). As estimativas de herdabilidade da média de progênes ( $h^2mp$ ), também dispostas na Tabela 3, variaram de 0,030 para retidão do fuste (RET) a 0,104 para altura comercial (HC). Para todos os caracteres avaliados, os valores de  $h^2mp$  foram numericamente superiores às estimativas de  $h^2a$ . O maior valor de  $h^2mp$  foi observado para o caráter altura comercial (HC), enquanto os menores valores foram registrados para retidão do fuste (RET) e altura total (HT).

**Tabela 3-** Estimativas da herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2a$ ), herdabilidade da média de progênes ( $h^2mp$ ) e acurácia da seleção de progênes ( $Acprog$ ) para os caracteres avaliados em *D. alata* no plantio experimental de Pederneiras, SP aos 39 anos de idade.

Caráter	$h^2a$	$h^2mp$	$Acprog$
DAP	0,005	0,034	0,186
HC	0,014	0,104	0,323
HT	0,004	0,033	0,183
BIF	0,009	0,059	0,243
RET	0,005	0,03	0,174
SOB	0,009	0,058	0,241

Os coeficientes de variação genética individual ( $CVgi$ ) variaram de 2,2% para DAP a 9,2% para sobrevivência, enquanto os coeficientes de variação ambiental ( $CVe$ ) variaram de 16,5% a 52,4%, resultando em valores da razão entre variação genética e ambiental ( $CVr$ ) compreendidos entre 0,062 e 0,121. As acurácias da seleção de progênes ( $Acprog$ ) variaram

de 0,174 a 0,323, com os maiores valores observados para os caracteres HC, BIF e SOB (Tabela 4).

**Tabela 4-** Coeficiente de variação genética individual (CV<sub>gi</sub>%), coeficiente de variação experimental (CV<sub>e</sub>%), coeficiente de variação relativa (CV<sub>r</sub>) e média geral dos caracteres avaliados em *D. alata* no plantio experimental de Pederneiras, SP aos 39 anos de idade.

Caráter	CV <sub>gi</sub> %	CV <sub>e</sub> %	CV <sub>r</sub>	Média
DAP	2,2	16,5	0,067	20,8
HC	7,8	32,3	0,121	3,2
HT	3,3	25	0,066	14,2
BIF	3,7	20,8	0,089	3,1
RET	2,6	20,5	0,062	3
SOB	9,2	52,4	0,088	0,5

A classificação da eficiência dos caracteres para seleção genética individual, com base nas estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2a$ ), na razão CV<sub>r</sub> e na acurácia da seleção de progênes (Acprog), está apresentada na Tabela 5. As estimativas de  $h^2a$  variaram de 0,004 (HT) a 0,014 (HC), enquanto os valores de CV<sub>r</sub> oscilaram entre 0,062 (RET) e 0,121 (HC). A acurácia da seleção de progênes apresentou valores entre 0,174 (RET) e 0,323 (HC). De acordo com os critérios adotados, todos os caracteres avaliados foram classificados como de baixa eficiência para seleção genética individual, conforme indicado na Tabela 5.

**Tabela 5-** Classificação da eficiência dos caracteres avaliados para seleção genética individual em matrizes adultas de *D. alata*, com base nas estimativas de herdabilidade individual ( $h^2a$ ), razão entre os coeficientes de variação genética e ambiental (CV<sub>r</sub>) e acurácia da seleção de progênes (Acprog).

Caráter	$h^2a$	CV <sub>r</sub>	Acprog	Eficiência (seleção individual)
DAP	0,005	0,067	0,186	Baixa
HC	0,014	0,121	0,323	Baixa
HT	0,004	0,066	0,183	Baixa
BIF	0,009	0,089	0,243	Baixa
RET	0,005	0,062	0,174	Baixa
SOB	0,009	0,088	0,241	Baixa

A partir do índice de seleção construído com base nos caracteres de crescimento, qualidade do fuste e sobrevivência, foram selecionadas 50 matrizes superiores para a formação do pomar de sementes, respeitando-se a distribuição entre progênes (Tabela 6). Os valores do índice variaram de 0,907 para a matriz classificada em primeiro lugar até 0,045 para a matriz

posicionada na 50ª colocação. A distribuição das 50 matrizes selecionadas entre as progênes evidenciou maior contribuição da progênie 5, com cinco indivíduos incluídos na seleção, seguida das progênes 2 e 17, com quatro indivíduos cada. As progênes 22, 24, 28 e 36 contribuíram com três indivíduos; as progênes 14, 18, 20, 23, 40 e 41, com dois indivíduos; e as demais progênes selecionadas contribuíram com um indivíduo cada, indicando ausência de concentração excessiva em uma única família e manutenção de representatividade entre as progênes avaliadas. A relação completa das matrizes selecionadas, com os respectivos valores individuais dos caracteres avaliados, está apresentada no Apêndice B.

**Tabela 6-** Indivíduos superiores selecionados com potencial para utilização em estratégias futuras de conservação genética, coleta de sementes e propagação clonal de *D. alata*.

Ranking	Matriz	Progênie	Procedência	Índice de Seleção
1	640	5	DF	0,907
2	615	43	MS	0,896
3	556	28	MS	0,895
4	106	22	MS	0,89
5	1003	5	DF	0,809
6	859	23	MS	0,8
7	1012	14	DF	0,782
8	224	2	DF	0,743
9	832	17	DF	0,734
10	179	36	MS	0,685
...	...	...	...	
50	558	28	MS	0,045

A seleção foi realizada com base em dados individuais de árvores adultas, considerando simultaneamente caracteres relacionados ao crescimento, sobrevivência e qualidade do fuste. Os resultados permitiram identificar indivíduos com potencial para utilização futura em programas de conservação genética, coleta de sementes e propagação clonal. Entretanto, a definição efetiva de matrizes para composição de pomar de sementes requer avaliações complementares relacionadas ao comportamento reprodutivo dos indivíduos, incluindo produção e regularidade de frutificação, viabilidade de sementes e sincronização fenológica. Além disso, aspectos associados à manutenção da variabilidade genética entre progênes devem ser considerados para evitar redução da base genética da população selecionada.

#### 4. DISCUSSÃO

No caso de *D. alata*, estudos de procedências e progênes realizados em diferentes regiões do Cerrado indicam a existência de variabilidade genética para caracteres de crescimento, forma e adaptabilidade (SANTOS et al., 2014; SANTOS et al., 2018). Embora os parâmetros genéticos estimados no presente estudo tenham indicado influência mais acentuada dos efeitos ambientais sobre a expressão dos caracteres avaliados, os resultados disponíveis na literatura evidenciam potencial para seleção de indivíduos superiores e conservação de materiais genéticos promissores (ZARUMA et al., 2015).

Estudos conduzidos com outras espécies nativas indicam que, mesmo em populações florestais sob forte influência ambiental, é possível obter ganhos genéticos por meio da seleção em testes de progênes e procedências. Em *Cordia trichotoma*, foram observados parâmetros genéticos que permitiram a seleção de famílias superiores (FREITAS et al., 2006). Resultados semelhantes foram relatados para *Myracrodruon urundeuva* e *Gallesia integrifolia*, nos quais a seleção em testes de progênes possibilitou a formação de pomares de sementes com base genética adequada (FREITAS et al., 2007; FREITAS et al., 2008). Além disso, análises de populações naturais de *Copaifera langsdorffii* indicaram níveis elevados de variabilidade genética (CARVALHO; OLIVEIRA, 2004). Esses resultados, embora obtidos em populações jovens ou naturais, indicam a existência de base genética em espécies florestais nativas, incluindo Fabaceae.

A análise dos resultados deste estudo deve considerar o histórico do povoamento, implantado em espaçamento de 3 m × 3 m e mantido por 39 anos sem intervenções silviculturais. A população atual representa indivíduos remanescentes de um longo processo de autodesbaste e mortalidade seletiva, no qual a competição intraespecífica exerceu forte influência sobre o desenvolvimento das árvores ao longo do tempo. Dessa forma, os caracteres observados não refletem apenas o potencial genético inicial, mas também o efeito acumulado das pressões ambientais e da heterogeneidade do povoamento. Estudos conduzidos em testes florestais de longa duração demonstram que a estrutura do povoamento e a competição entre indivíduos podem influenciar significativamente as estimativas de variância genética aditiva, herdabilidade e predição de valores genéticos (ZHANG et al., 2020; CAPPA et al., 2015; BELABER et al., 2021).

A predominância da variância residual em relação à variância genética aditiva, observada em todos os caracteres avaliados, indica que a variação fenotípica atual está fortemente associada às condições ambientais e à dinâmica competitiva do povoamento.

Resultados semelhantes têm sido observados em testes florestais conduzidos em idades avançadas, nos quais o aumento da influência ambiental reduz a proporção da variância atribuída aos efeitos genéticos aditivos (LEONARDECZ-NETO; VENCOVSKY; SEBBENN, 2003).

Os coeficientes de variação experimental (C<sub>Ve</sub>) observados no presente estudo são compatíveis com valores reportados em experimentos genéticos conduzidos com espécies florestais perenes. Em progênies de *Pinus* spp. avaliadas aos 36 meses de idade, foram observados valores de C<sub>Ve</sub> de 34,79% para DAP e 29,28% para altura, indicando elevada influência ambiental sobre caracteres de crescimento em testes florestais. Resultados dessa natureza são frequentemente observados em espécies arbóreas submetidas à heterogeneidade ambiental e à competição intraespecífica, fatores que contribuem para a redução da precisão das estimativas genéticas (NIERI et al., 2022).

A redução das estimativas de herdabilidade observada no presente estudo também encontra respaldo em avaliações anteriores realizadas com *D. alata*. Em idades mais jovens, foram registradas herdabilidades individuais relativamente elevadas para caracteres de crescimento, com valores variando de 0,502 a 0,596 para DAP e atingindo 0,610 para altura total entre aproximadamente 5 e 11 anos de idade (SANTOS; ROSADO; OLIVEIRA, 2014). Esses autores também observaram aumento expressivo da variância genética aditiva ao longo do desenvolvimento inicial das plantas, indicando elevada expressão da variabilidade genética nas fases juvenis da espécie.

Entretanto, avaliações conduzidas posteriormente na mesma área experimental, aos 27 anos de idade, já indicavam redução das estimativas de herdabilidade individual para DAP, com valores entre 0,31 e 0,34 (SANTOS et al., 2018). No presente estudo, conduzido aos 39 anos, as herdabilidades individuais estimadas para DAP e altura total foram ainda menores, correspondendo a 0,005 e 0,004, respectivamente. Esse comportamento sugere que, com o avanço da idade do povoamento, fatores ambientais e ecológicos passam a exercer influência mais intensa sobre a expressão fenotípica dos caracteres de crescimento, reduzindo proporcionalmente a participação da variância genética aditiva. Entre esses fatores destacam-se a competição intraespecífica, a mortalidade seletiva e a heterogeneidade ambiental acumulada ao longo do ciclo de desenvolvimento.

Entre os caracteres avaliados, a altura comercial (HC) apresentou os maiores valores de herdabilidade, acurácia e coeficiente de variação relativa, indicando maior estabilidade na diferenciação entre indivíduos sob as condições do experimento. Esse resultado sugere maior

controle genético relativo para o caráter nas condições avaliadas, favorecendo seu potencial de utilização em estratégias de seleção.

Por outro lado, a altura total (HT) apresentou os menores valores para esses parâmetros, indicando maior influência ambiental sobre sua expressão fenotípica. Em povoamentos florestais adultos e submetidos à competição intensa, caracteres relacionados ao crescimento vertical tendem a responder fortemente à disponibilidade de luz e à dinâmica competitiva do dossel, o que pode reduzir a precisão das estimativas genéticas associadas ao caráter.

O diâmetro à altura do peito (DAP) apresentou maior valor de variância genética aditiva entre os caracteres avaliados. Além disso, o desbalanceamento experimental decorrente da mortalidade entre progênies ao longo do tempo pode ter contribuído para a redução da precisão das estimativas genéticas. Nesse contexto, a elevada variância residual e os efeitos de competição ao longo do tempo podem ter contribuído simultaneamente para a redução da capacidade de predição dos parâmetros genéticos.

Para os caracteres de forma do fuste, como bifurcação e retidão, os valores reduzidos de herdabilidade e acurácia observados são consistentes com resultados obtidos em avaliações anteriores na mesma área experimental, nas quais esses caracteres apresentaram maior influência dos efeitos ambientais e da competição entre indivíduos (SANTOS et al., 2018). Além disso, por se tratar de caracteres qualitativos avaliados por escalas de classificação visual, sua mensuração tende a apresentar maior subjetividade e menor sensibilidade para discriminar diferenças genéticas entre indivíduos. Mesmo assim, esses caracteres podem ser utilizados em conjunto com caracteres de crescimento em índices de seleção, especialmente em programas voltados à qualidade do fuste e adaptação silvicultural (ZOBEL; TALBERT, 1984; WHITE; ADAMS; NEALE, 2007).

Padrão semelhante foi observado em outras Fabaceae arbóreas. Em *Pericopsis elata*, o desbaste resultou em aumento do crescimento e melhoria da forma do fuste (BETTI et al., 2021), enquanto em *Acacia mangium*, o manejo reduziu a mortalidade e aumentou o volume individual e por hectare (KAMO et al., 2009). Esses resultados indicam que a ausência de manejo influencia diretamente o desempenho das árvores e a expressão dos caracteres.

Apesar das reduzidas estimativas de herdabilidade e acurácia observadas no presente estudo, esses resultados parecem estar mais associados às condições experimentais e à forte influência ambiental sobre a expressão dos caracteres avaliados do que à ausência de variabilidade genética na população. Em espécies arbóreas perenes, fatores como competição intraespecífica, mortalidade seletiva e heterogeneidade ambiental acumulada ao longo do

desenvolvimento do povoamento podem reduzir a precisão das predições genéticas. Ainda assim, a manutenção da variabilidade genética e do tamanho efetivo populacional permanece fundamental para a continuidade de programas de seleção e conservação, mesmo sob condições ambientais adversas (LEONARDECZ-NETO; VENCOVSKY; SEBBENN, 2003; FRANKHAM; BALLOU; BRISCOE, 2002).

Considerando a procedência das matrizes selecionadas, verificou-se maior participação relativa de progênies oriundas de Três Lagoas (MS), responsáveis por 60% dos indivíduos selecionados, enquanto Brasília (DF) contribuiu com 40% do total. Esse resultado sugere possível influência da origem genética e das condições ambientais de procedência sobre o desempenho das progênies ao longo do desenvolvimento do povoamento. Embora Brasília (DF) e Três Lagoas (MS) apresentem a mesma classificação climática (Aw), as localidades diferem principalmente quanto à altitude, fator que pode ter influenciado o desempenho diferencial das progênies ao longo do desenvolvimento do povoamento em Pederneiras.

Apesar das limitações associadas à idade do povoamento e à influência ambiental acumulada ao longo do desenvolvimento das plantas, a seleção baseada em índice multicaracterístico permitiu a identificação de 50 indivíduos superiores. Do ponto de vista prático, os resultados obtidos permitem a utilização do material selecionado em duas estratégias: A primeira é a seleção de indivíduos com potencial para propagação clonal, o que é relevante para sistemas voltados à produção de frutos e a segunda é a refere-se à possibilidade de utilização das matrizes selecionadas como base para produção de semente considerando a representatividade de diferentes progênies no conjunto selecionado, aspecto importante para manutenção da variabilidade genética e obtenção de material propagativo com maior diversidade genética.

## 5. CONCLUSÃO

A avaliação da variabilidade genética em *D. alata* aos 39 anos indicou predominância da variância ambiental e estimativas reduzidas de herdabilidade para os caracteres avaliados. Entre os caracteres analisados, a altura comercial destacou-se pelos maiores valores de herdabilidade e acurácia, enquanto a altura total apresentou maior influência ambiental. O diâmetro à altura do peito apresentou a maior variância genética aditiva entre os caracteres avaliados.

A seleção baseada em índice multicaracterístico permitiu a identificação de 50 indivíduos superiores, que apresentam potencial para estratégias de propagação clonal e para

composição de populações-base destinadas à produção de sementes, considerando a representatividade de diferentes progênies e a importância da manutenção da variabilidade genética da espécie.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES SANTOS, A. M.; FERNANDES, D. C.; NAVES, M. M. V. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit as an option of nut and pulp with advantageous nutritional and functional properties: a comprehensive review. *NFS Journal*, Amsterdam, v. 24, p. 26-36, 2021.

BELABER, E. C.; GAUCHAT, M. E.; SCHOFFEN, C. D.; MUÑOZ, F.; BORRALHO, N. M.; SANCHEZ, L.; CAPPA, E. P. Accounting for competition in multi-environment tree genetic evaluations: a case study with hybrid pines. *Annals of Forest Science*, [S. l.], v. 78, n. 2, p. 1–14, 2021. DOI: 10.1007/s13595-020-01015-2. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-020-01015-2>

BISPO, T. W.; GUÉNEAU, S.; BRAGA, C. L.; LIMA, C. C. Cadeias produtivas dos frutos nativos do Cerrado: estudo de caso sobre o agroextrativismo no Vale do Rio Urucuaia em Minas Gerais e no Sul Maranhense. *Informe GEPEC*, Toledo, v. 25, p. 133-152, 2021.

CAMPIDELLI, M. L. L. et al. Fatty acid profile, mineral content and bioactive compounds of cocoa spreads supplemented with baru almonds (*Dipteryx alata* Vog.). *Grasas y Aceites*, Madrid, v. 69, n. 4, e278, 2018.

CANUTO, D. S. de O. et al. Caracterização genética de um teste de progênies de *Dipteryx alata* Vog. proveniente de remanescente florestal da Estação Ecológica de Paulo de Faria, SP, Brasil. *Hoehnea*, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 641-648, 2015.

CAPPA, E. P.; MUÑOZ, F.; SANCHEZ, L.; CANTET, R. J. C. A novel individual-tree mixed model to account for competition and environmental heterogeneity: a Bayesian approach. *Tree Genetics & Genomes*, [S. l.], v. 11, n. 6, p. 1–15, 2015. DOI: 10.1007/s11295-015-0917-3.

CARVALHO, D.; OLIVEIRA, A. F. Genetic structure of *Copaifera langsdorffii* Desf. natural populations. *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 2, p. 123-135, 2004.

COLLEVATTI, R. G. et al. Demographic history and the low genetic diversity in *Dipteryx alata* (Fabaceae) from Brazilian Neotropical savannas. *Heredity*, London, v. 111, n. 2, p. 97-105, 2013.

COLLEVATTI, R. G. et al. Multi-scale landscape influences on genetic diversity and adaptive traits in a Neotropical savanna tree. *Frontiers in Genetics*, Lausanne, v. 11, art. 259, 2020.

COSTA, R. B. et al. Melhoramento genético de erva-mate nativa do Estado de Mato Grosso do Sul. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 3, p. 611-619, 2009.

- COSTA, R. B. et al. Variabilidade genética de procedências e progênes de erva-mate nativa (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no sudoeste do Estado de Mato Grosso do Sul. **Multitemas**, Campo Grande, v. 39, p. 7-21, 2011.
- CRUZ, K. S. da et al. Partial characterization of proteins from baru (*Dipteryx alata* Vog.) seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 91, n. 11, p. 2006-2012, 2011.
- FERNANDES, D. C. et al. Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) almond from the Brazilian Savanna. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 90, n. 10, p. 1650-1655, 2010.
- FERREIRA, A. C. et al. Assessment of yield, flavonoid and phytosterol contents, and fatty acid composition of baru almond oil (*Dipteryx alata* Vogel) by supercritical CO<sub>2</sub> extraction. **Processes**, Basel, v. 12, n. 8, p. 1729, 2024.
- FRANKHAM, R.; BALLOU, J. D.; BRISCOE, D. A. *Introduction to conservation genetics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- FREITAS, M. L. M. et al. Parâmetros genéticos em progênes de polinização aberta de *Cordia trichotoma* (Vell.) ex Steud. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, p. 95-102, 2006.
- FREITAS, M. L. M. et al. Formação de pomar de sementes a partir da seleção dentro de teste de progênes de *Myracrodruon urundeuva*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2007.
- FREITAS, M. L. M. et al. Variação genética para caracteres quantitativos em população de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 165-173, 2008.
- FUSSI, B. et al. Forest genetic monitoring: an overview of concepts and definitions. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 188, art. 493, 2016.
- GRIFFITH, G. I. *Genetic resources and conservation*. London: Academic Press, 1987.
- GUIMARÃES, R. A. et al. Discovery and characterization of new microsatellite loci in *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae) using next-generation sequencing data. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 2, e29639, 2017.
- HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, [S. l.], v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943. DOI: 10.1093/genetics/28.6.476.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, Malden, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.
- LEONARDECZ-NETO, E.; VENCOVSKY, R.; SEBBENN, A. M. Ajuste para a competição entre plantas em teste de progênes e procedências de essências florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 136-149, 2003.
- LIMA, D. C. et al. A review on Brazilian baru plant (*Dipteryx alata* Vogel): morphology, chemical composition, health effects, and technological potential. **Future Foods**, Amsterdam, v. 5, art. 100146, 2022.

RESENDE, M. D. V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Barking, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

ROJAS, V. M. et al. Formulation of mayonnaises containing PUFAs by the addition of microencapsulated chia seeds, pumpkin seeds and baru oils. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 274, p. 220-227, 2019.

SANTOS, A. M.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. N. Estimation of genetic parameters and verification of early selection efficiency in baru (*Dipteryx alata*). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 14, n. 4, p. 238-243, 2014. DOI: 10.1590/1984-70332014v14n4a36.

SANTOS, J. M. dos et al. Baru (*Dipteryx alata*): a comprehensive review of its nutritional value, functional foods, chemical composition, ethnopharmacology, pharmacological activities and benefits for human health. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 84, e278932, 2024.

SANTOS, T. S. et al. Growth and wood quality traits in a *Dipteryx alata* Vog. (Fabaceae) progeny and provenance test. **Forest Science**, [S. l.], v. 67, n. 4, p. 468-477, 2021. DOI: 10.1093/forsci/xfab010.

SANTOS, W. et al. Genetic variation and effective population size in *Dipteryx alata* progenies in Pederneiras, São Paulo, Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 42, n. 3, e420310, 2018.

SEBBENN, A. M.; ETTORI, L. C. Sistema de reprodução e fluxo gênico em espécies arbóreas tropicais: implicações para conservação e manejo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 13, p. 1-22, 2001.

SILVA, D. Y. B. de O. et al. Variabilidade genética e estratégias de conservação *ex situ* para a espécie neotropical *Parkia platycephala* Benth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 1, e64058, 2023.

SOARES, T. N. et al. Landscape conservation genetics of *Dipteryx alata* (“baru” tree: Fabaceae) from Cerrado region of central Brazil. **Genetica**, Dordrecht, v. 132, n. 1, p. 9-19, 2008.

SOARES, T. N. et al. Patterns of genetic variability in central and peripheral populations of *Dipteryx alata* (Fabaceae) in the Brazilian Cerrado. **Plant Systematics and Evolution**, Heidelberg, v. 301, p. 1315-1324, 2015.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, London, v. 1, art. 0099, 2017.

TAMBARUSSI, E. V. et al. *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae), a neotropical tree with high levels of selfing: implication for conservation and breeding programs. **Annals of Forest Research**, Braşov, v. 60, n. 2, p. 217-230, 2017.

VALADÃO, G.; SOUZA, Á. N. de. Financial and economic viability analysis of baru almond (*Dipteryx alata* Vogel) agroextractivism in the Urucuia River Valley, Arinos/MG. **Sustainability in Debate**, Brasília, v. 15, n. 2, p. 103-136, 2024.

VALLILO, M. I.; TAVARES, M.; AUED, S. Composição química da polpa e da semente do fruto do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.) – caracterização do óleo da semente. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 115-125, 1990.

WHITE, T. L.; ADAMS, W. T.; NEALE, D. B. *Forest genetics*. Wallingford: CABI, 2007.

ZARUMA, D. U. G. et al. Variabilidade genética em procedências e progênes de *Dipteryx alata* Vogel para fins de conservação genética e produção de sementes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 609-615, 2015.

ZHANG, X.; WANG, Z.; CHHIN, S.; WANG, H.; DUAN, A.; ZHANG, J. Relative contributions of competition, stand structure, age, and climate factors to tree mortality of Chinese fir plantations: long-term spacing trials in southern China. *Forest Ecology and Management*, [S. l.], v. 465, p. 118103, 2020. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118103. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811272030282X>.

## CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PRECOSES ASSOCIADAS AO VIGOR DE PLÂNTULAS DE *Dipteryx alata* Vogel

### RESUMO

O vigor inicial de plântulas constitui importante ferramenta para avaliação da qualidade fisiológica de sementes e seleção de materiais promissores em espécies florestais nativas. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar caracteres de germinação e vigor inicial de plântulas de *Dipteryx alata* Vogel oriundas de árvores-matrizes com diferentes valores de diâmetro à altura do peito (DAP). O material foi obtido em plantio experimental localizado em Pederneiras, São Paulo, utilizando-se sementes provenientes de dez matrizes. Foram realizadas análises físicas e sanitárias das sementes, além de avaliações diárias da germinação, emergência e crescimento inicial das plântulas. Também foram estimados parâmetros relacionados à dinâmica germinativa, crescimento morfológico e produção de biomassa seca. Os resultados evidenciaram diferenças entre tratamentos na velocidade de germinação, crescimento inicial e acúmulo de biomassa, indicando variabilidade no vigor fisiológico entre as matrizes avaliadas. Alguns tratamentos apresentaram maior rapidez germinativa e melhor desempenho no crescimento da parte aérea, sistema radicular e produção de biomassa. Entretanto, não foi observada associação consistente entre o desempenho das plântulas e os valores de DAP das árvores-matrizes. Conclui-se que os caracteres avaliados foram eficientes para diferenciar materiais quanto ao vigor fisiológico nas fases iniciais de desenvolvimento, embora o DAP das matrizes, isoladamente, não tenha se mostrado indicador consistente do desempenho das progênes nas condições avaliadas.

**Palavras-chave:** qualidade fisiológica; germinação; crescimento de plântulas; desempenho germinativo; biomassa; melhoramento florestal.

## ABSTRACT

Initial seedling vigor is an important tool for evaluating seed physiological quality and selecting promising materials in native forest species. In this context, the objective of this study was to evaluate germination traits and initial seedling vigor of *Dipteryx alata* derived from mother trees with different diameter at breast height (DBH) values. The material was obtained from an experimental plantation located in Pederneiras, São Paulo, using seeds collected from ten mother trees. Physical and sanitary analyses of the seeds were performed, as well as daily evaluations of germination, emergence, and initial seedling growth. Parameters related to germination dynamics, morphological growth, and dry biomass production were also estimated. The results showed differences among treatments in germination speed, initial growth, and biomass accumulation, indicating variability in physiological vigor among the evaluated mother trees. Some treatments exhibited faster germination and better performance in shoot growth, root system development, and biomass production. However, no consistent association was observed between seedling performance and the DBH values of the mother trees. It was concluded that the evaluated traits were efficient in distinguishing materials regarding physiological vigor during the initial stages of development, although DBH alone was not a consistent indicator of progeny performance under the evaluated conditions.

**Keywords:** physiological quality; germination; seedling growth; germinative performance; biomass; forest breeding.

## 1. INTRODUÇÃO

*Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae) é uma espécie arbórea nativa do Cerrado reconhecida pela importância ecológica nas fitofisionomias savânicas e pelo potencial econômico relacionado ao aproveitamento de produtos madeireiros e não madeireiros (LIMA et al., 2022; AZEVEDO et al., 2022). A espécie está distribuída principalmente no Cerrado, ocorrendo também em formações de transição com Savanas Amazônicas e Florestas Estacionais Semidecíduais, essa ampla variedade de ambientes em que ela ocorre a tornou alvo de estudos de conservação e melhoramento genético (CANUTO et al., 2015; LIMA et al., 2022).

Entre os recursos não madeireiros de *D. alata*, destaca-se o amplo potencial de aproveitamento de seu fruto, especialmente da castanha (amêndoa) e da polpa. Estudos de composição química e nutricional indicam que a amêndoa apresenta elevado teor de proteínas, lipídios majoritariamente insaturados, minerais e compostos bioativos, configurando-se como alternativa promissora a outras nozes tradicionais (VALLILO et al., 1990; FERNANDES et al., 2010; CRUZ et al., 2011). Além da amêndoa, a polpa e os subprodutos agroindustriais (como farinhas de polpa e de amêndoa parcialmente desengordurada) têm sido investigados como fontes de fibras e compostos funcionais, com potencial para desenvolvimento de alimentos processados (cupcakes, barras de cereais, biscoitos, pães e sobremesas lácteas) e produtos com propriedades funcionais (ALVES SANTOS; FERNANDES; NAVES, 2021; LIMA et al., 2022).

Diante desse amplo potencial de aproveitamento econômico e funcional, torna-se estratégico o desenvolvimento de programas de melhoramento capazes de identificar, de forma mais rápida e eficiente, genótipos superiores de *D. alata*. Em espécies arbóreas de ciclo longo, a duração das avaliações até idades adultas impõe limitações práticas aos programas de melhoramento, tornando a seleção precoce uma estratégia particularmente relevante (COSTA et al., 2009; SANTOS; ROSADO; OLIVEIRA, 2014). A antecipação da escolha de genótipos superiores depende da existência de correlações genéticas consistentes entre idades para caracteres de crescimento, como altura e diâmetro, já demonstradas em testes de progênies de *D. alata* e de outras espécies nativas (COSTA et al., 2009; SANTOS; ROSADO; OLIVEIRA, 2014). Nessas condições, avaliações conduzidas em estágios juvenis podem contribuir para reduzir o intervalo entre ciclos de seleção e os custos de avaliação em campo, desde que fundamentadas em delineamentos experimentais adequados e em estimativas confiáveis de parâmetros genéticos (COSTA et al., 2009; BISOGNIN et al., 2020).

Entre as fases iniciais do desenvolvimento vegetal, a germinação representa um dos primeiros eventos fisiológicos da planta, refletindo a capacidade da semente em originar plântulas normais sob determinadas condições ambientais. Embora processos fisiológicos anteriores, como formação do embrião, maturação e aquisição de reservas, ocorram ainda durante o desenvolvimento da semente, a germinação constitui uma etapa central para avaliação do potencial fisiológico e do estabelecimento inicial das plântulas. A literatura recomenda o uso de descritores quantitativos da dinâmica germinativa, como tempo médio de germinação, velocidade média e índices de sincronia e incerteza, para caracterizar o desempenho de lotes e progênies (RANAL; SANTANA, 2006). Paralelamente, o índice de velocidade de germinação proposto por Maguire (1962) permanece como uma medida amplamente empregada para expressar simultaneamente a rapidez e a extensão da germinação, sendo útil como indicador de vigor em diferentes espécies.

Superada a emergência, o crescimento inicial das plântulas tem sido amplamente empregado como indicador do vigor e da capacidade de estabelecimento em programas de melhoramento florestal. Em ensaios com progênies de *Myrocarpus frondosus* e *Ilex paraguariensis*, por exemplo, a altura de mudas medida aos 60 dias ou aos 14 meses mostrou herdabilidade de magnitude moderada a alta e permitiu ganhos genéticos expressivos por seleção precoce (COSTA et al., 2009; BISOGNIN et al., 2020). Em *D. alata*, estudos ecofisiológicos e de manejo de viveiro demonstram que caracteres como altura de parte aérea, comprimento de raiz e massas seca de raiz e parte aérea são sensíveis a sombreamento, volume de recipiente e regime hídrico, mas ainda assim, permitem discriminar respostas de crescimento em condições controladas (MOTA; SCALON; HEINZ, 2012; MENDES et al., 2020). Além disso, análises de variação genética entre progênies com caracteres do sistema radicular de plântulas de baru evidenciam herdabilidades elevadas e ganhos genéticos potenciais por seleção de árvores-matrizes com base em características radiculares juvenis (OLIVEIRA et al., 2006).

Quando avaliados em ensaios estruturados por progênies, esses caracteres de germinação e crescimento inicial possibilitam a detecção de diferenças entre famílias ainda em idades jovens, essas análises podem contribuir para a compreensão do comportamento genético precoce e para o delineamento de programas de melhoramento ajustados às características biológicas da espécie (OLIVEIRA et al., 2006; COSTA et al., 2009; BISOGNIN et al., 2020).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar caracteres relacionados à germinação e ao vigor inicial de plântulas de *D. alata* oriundas de diferentes árvores-matrizes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado foi obtido na Floresta Estadual (Figura 1), localizada no município de Pederneiras, estado de São Paulo, Brasil, onde o plantio experimental de *D. alata* foi implantado em 1986. Para o presente estudo, a coleta dos frutos foi realizada em 2025, 39 anos após a implantação do povoamento.

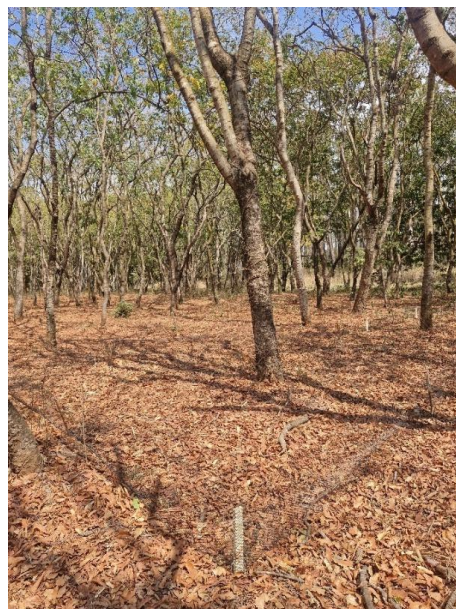


**Figura 1-** Imagem de satélite do plantio experimental de *D. alata* aos 39 anos de implantação, localizado na Floresta Estadual de Pederneiras - São Paulo

O experimento foi constituído por 10 tratamentos, cada um correspondente a uma árvore-matriz distinta de *D. alata*, selecionadas com base no diâmetro à altura do peito (DAP).

Para auxiliar na coleta individualizada dos frutos de cada matriz, foram instaladas estruturas provisórias ao redor das árvores selecionadas (Figura 2), compostas por telas plásticas de malha hexagonal (5 cm), com dimensões de 9 × 9 m. As telas foram fixadas por meio de quatro estacas de madeira e braçadeiras de nylon, mantendo a estrutura suspensa ao redor das matrizes.

Posteriormente, os frutos maduros foram coletados diretamente do solo, com o auxílio de luvas de algodão, sendo obtidos entre 30 e 40 frutos por matriz. As matrizes foram tratadas como materiais independentes, sem identificação individual de procedência ou progênie. Após o beneficiamento, foram selecionadas 20 sementes por tratamento para utilização nos ensaios de germinação e vigor.



**Figura 2-** Coletores de plástico fixados em estacas de madeira ao redor das matrizes de *D. alata* selecionadas na estação experimental de Pederneiras, São Paulo.

A abertura dos frutos foi feita com o auxílio de um equipamento metálico especialmente desenvolvido para essa finalidade, com base em modelo adaptado de dispositivo artesanal disponível em plataforma digital (TORNEIRO, 2022), é constituído por duas lâminas dispostas em formato de “V” (Figura 3). Cada fruto foi posicionado no vão central do dispositivo e, com o auxílio de um martelo, partido longitudinalmente, possibilitando a extração íntegra das sementes. Após a extração, as sementes foram armazenadas em câmara fria, sob temperatura de 5 °C e umidade relativa de aproximadamente 60%, acondicionadas em sacos plásticos semipermeáveis até o início da condução dos testes.



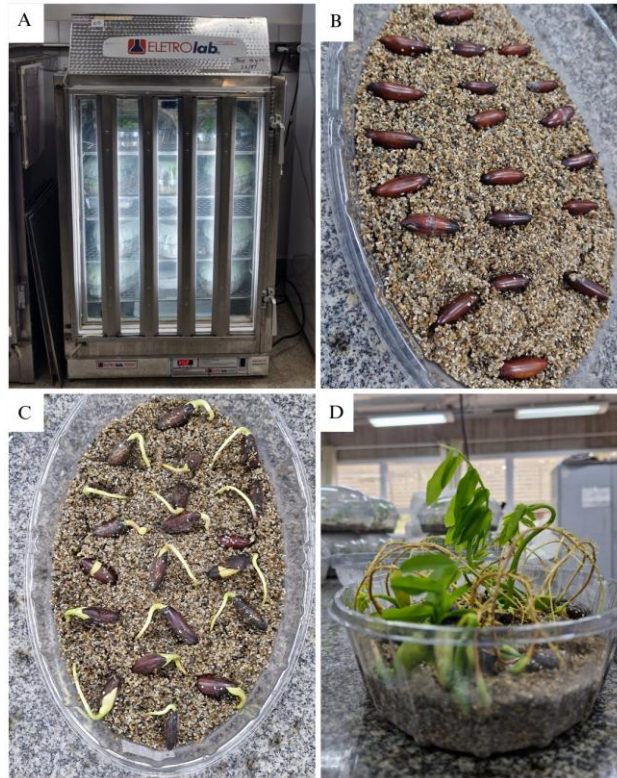
**Figura 3-** Dispositivo metálico constituído por três placas de ferro soldadas. Equipamento desenvolvido com base em modelo adaptado de dispositivo artesanal disponível em plataforma digital para a abertura de frutos e extração de sementes de *D. alata*. Protótipo desenvolvido por Elson Augusto Pereira.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes e Mudanças Florestais (LASEM) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus Sorocaba, São Paulo, Brasil.

Após o beneficiamento e durante o preparo do material para instalação do experimento, as sementes foram submetidas à inspeção visual com o objetivo de identificar danos mecânicos aparentes, perfurações de insetos, presença de patógenos e sinais de deterioração fúngica. A sanitização feita nas sementes deixando-as imersas em água sanitária por 10 minutos e posteriormente, foi feita a tríplex lavagem com água destilada, conforme os procedimentos descritos nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2025).

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por 10 tratamentos, quatro repetições e 20 sementes por repetição. Os tratamentos corresponderam a sementes provenientes de árvores-matrizes (tratamentos) com diferentes valores de diâmetro à altura do peito (DAP), obtidos com auxílio de fita métrica florestal. As sementes foram dispostas de forma equidistante em vermiculita expandida acondicionada em recipientes plásticos transparentes, com dimensões externas de 27,5 × 18,9 × 10,3 cm e capacidade de 2 L, conhecidas comercialmente como embalagens para Colomba Pascal (Figura 4 B, C e D). Foram utilizados 500ml de vermiculita por repetição, que foi umedecida até 70% da capacidade de retenção de água do substrato, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2025).

As embalagens foram mantidas em câmara de germinação do tipo BOD (Figura 4 A), sob regime de iluminação com simulação de fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, fornecido por lâmpadas fluorescentes de 20W e temperatura constante de 30 °C. A escolha dessa condição térmica fundamentou-se em estudos prévios conduzidos com a espécie, nos quais a germinação foi avaliada em diferentes temperaturas dentro da faixa de 15 °C a 40 °C, sendo 30 °C identificada como a condição mais eficiente para o processo germinativo (MARSOLA, P. A., 2025).



**Figura 4-** A) BOD utilizada na germinação das sementes; B) Sementes dispostas de forma equidistantes sob a vermiculita no terceiro dia após a sementeira; C) Sementes no sexto dia após a sementeira; D) Sementes e plântulas no décimo quinto dia após a sementeira.

O monitoramento foi realizado diariamente por inspeção visual direta das sementes e plântulas. Foi considerada germinada a semente que apresentou protrusão visível da radícula. A emergência da parte aérea foi registrada a partir da exposição da estrutura aérea. Ao final do experimento, também foi realizada a avaliação de plântulas normais, considerando o desenvolvimento adequado das estruturas essenciais. Os dados obtidos foram processados para cálculo de parâmetros germinativos, incluindo: O tempo necessário para atingir 50% da germinação ( $T_{50}$ ) (RANAL e SANTANA, 2006), o índice de velocidade de germinação (IVG) e índice de velocidade de emergência (IVE) (MAGUIRE, 1962).

**Eq. 1**

$$T_{50} = T_i + \frac{\left(\frac{N+1}{2} - N_i\right)(T_j - T_i)}{N_j - N_i}$$

$N$  = número total de sementes germinadas ao final do experimento:  $N_i$  e  $N_j$  = número acumulado de sementes germinadas e plântulas normais nos tempos  $T_i$  e  $T_j$  respectivamente, onde  $N_i < N/2 < N_j$ ,

$T_i$  e  $T_j$  = tempos correspondentes às contagens adjacentes  $N_i$  e  $N_j$ .

**Eq. 2** 
$$IVG = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{D_i}$$

IVG = índice de velocidade de germinação;  $N_i$  = número de sementes germinadas na  $i$ -ésima contagem;  $D_i$  = número de dias na  $i$ -ésima contagem.

**Eq. 3** 
$$IVE = \left(\frac{G_1}{N_1}\right) + \left(\frac{G_2}{N_2}\right) + \dots + \left(\frac{G_n}{N_n}\right)$$

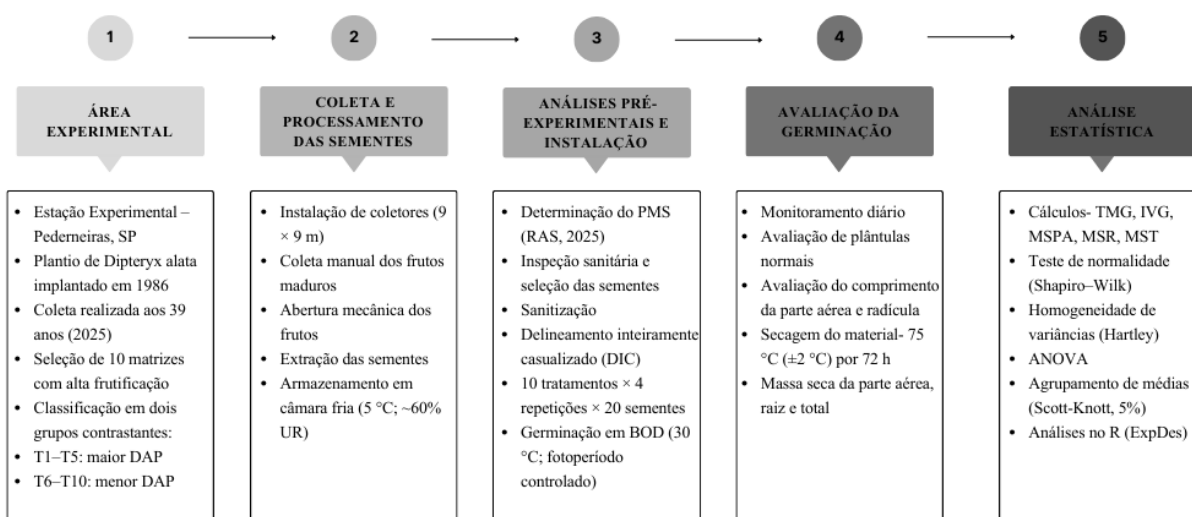
IVE = índice de velocidade de emergência;  $G$  = número de plântulas normais computadas nas contagens;  $N$  = número de dias da sementeira à 1ª, 2ª...  $n$ -ésima avaliação.

O presente estudo foi conduzido em duas etapas sequenciais, compreendendo inicialmente a germinação das sementes e, em seguida, o desenvolvimento inicial das plântulas. Após 25 dias, foram selecionadas aleatoriamente 10 plântulas por repetição e foram avaliadas: a altura da parte aérea ( $H$ ), a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa seca das raízes (MSR) e a massa seca total (MST). Ao final do experimento, foram realizadas as medidas do comprimento da parte aérea (hipocótilo) e da radícula, utilizando régua milimetrada. O comprimento da parte aérea foi determinado a partir da base da plântula até a gema apical terminal, enquanto o comprimento da radícula foi mensurado a partir do ponto de interseção entre o hipocótilo e a radícula, identificado pela mudança abrupta de coloração, do verde característico do hipocótilo para o marrom da radícula. Para a coleta dos dados de massa seca, as plântulas foram seccionadas com auxílio de estilete, separando suas partes aéreas das raízes. As partes foram separadas em embalagens de papel Kraft, que foram submetidas à secagem em estufa a 75 °C ( $\pm 2$  °C) por aproximadamente 72 h, quando ocorreu a estabilização do peso das amostras. Após a secagem foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g para obtenção dos dados finais.

Os dados obtidos para os parâmetros germinativos: tempo para atingir 50% da germinação (T50), índice de velocidade de germinação (IVG) e índice de velocidade de emergência (IVE), e para os caracteres de crescimento inicial e biomassa das plântulas, como comprimento da parte aérea, comprimento radicular e massa seca, foram submetidos à análise estatística. Inicialmente, procedeu-se à verificação dos pressupostos do modelo linear, por meio do teste de Shapiro–Wilk ( $p > 0,05$ ) para avaliação da normalidade dos resíduos e do teste de Hartley ( $p > 0,05$ ) para homogeneidade das variâncias entre os tratamentos. Atendidos os pressupostos, realizou-se análise de variância (ANOVA), considerando o efeito de tratamentos

como fator fixo. Quando constatado efeito significativo ( $p < 0,05$ ), as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com o auxílio de planilhas eletrônicas (Microsoft Excel) e do software R, versão 4.3.3 (R CORE TEAM, 2025), utilizando-se o pacote ExpDes.

**Figura 5-** Fluxograma representativo das etapas metodológicas do estudo, desde a caracterização da área experimental e seleção das matrizes até as análises estatísticas dos parâmetros de germinação, crescimento inicial e biomassa de plântulas de *D. alata*. As etapas estão organizadas sequencialmente em: (1) caracterização da área experimental e definição das matrizes; (2) coleta e processamento das sementes; (3) análises pré-experimentais e instalação do delineamento; (4) avaliação da germinação e do desenvolvimento inicial; e (5) tratamento estatístico dos dados.

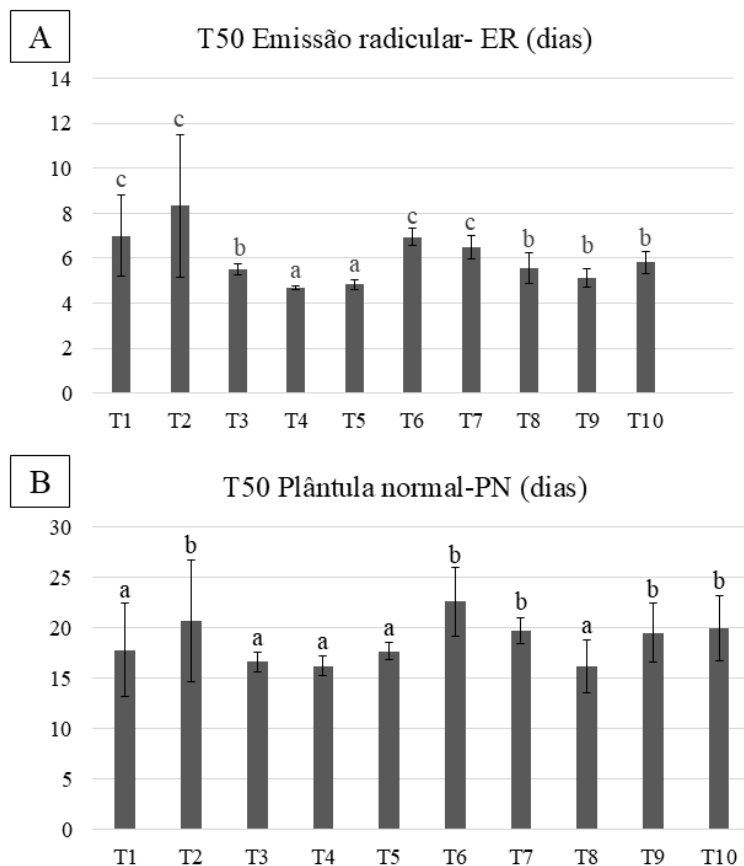


### 3. RESULTADOS

Foram estimados parâmetros relacionados à dinâmica germinativa, incluindo o tempo necessário para atingir 50% da emissão radicular e da formação de plântulas normais (T50-ER e T50-PN), bem como o índice de velocidade de germinação (IVG) para ambos os eventos (Apêndice C). Os valores de T50 para emissão radicular (ER) e para formação de plântulas normais (PN) variaram entre os tratamentos, com formação de grupos estatísticos distintos pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Para T50-ER, os tratamentos T1, T2, T6 e T7 apresentaram maiores tempos para emissão radicular quando comparados aos demais tratamentos, enquanto T4 e T5 apresentaram os menores valores (Figura 6). Para T50-PN, os maiores tempos para formação de plântulas normais foram observados em T2, T6, T7, T9 e T10, enquanto T1, T3, T4, T5 e T8 apresentaram menores valores. Esses resultados indicam diferenças entre tratamentos quanto à velocidade de

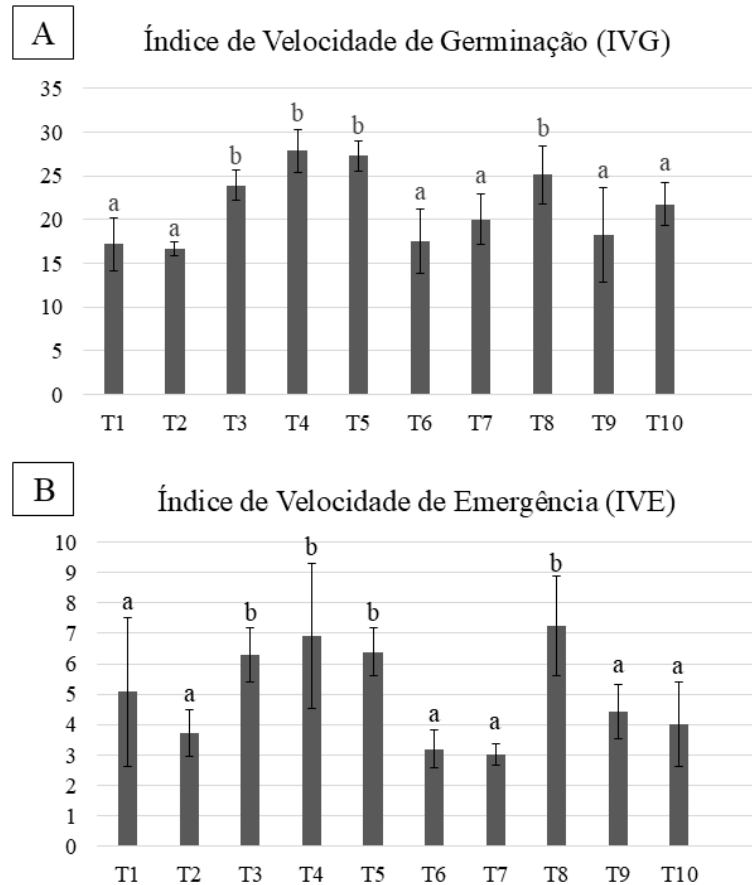
emissão radicular e formação de plântulas normais, sem associação consistente entre os valores de DAP das matrizes e o desempenho germinativo observado.



**Figura 6-** Parâmetros complementares do teste de germinação em sementes de *D. alata*: (A) Tempo para 50% de emissão radicular (T50-ER, dias); (B) Tempo para 50% de formação de plântula normal (T50-PN, dias). As barras representam o desvio padrão da média.

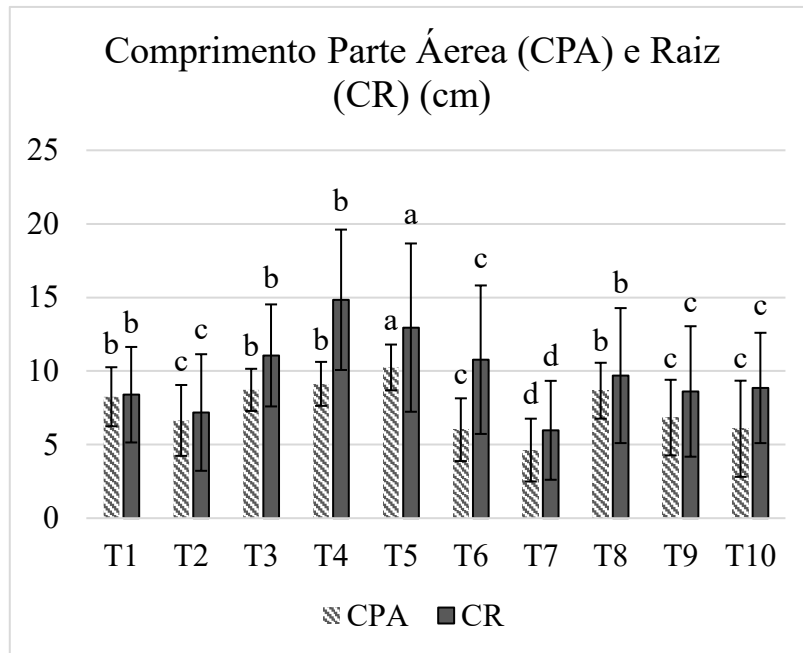
O T50 para emissão radicular variou de 4,68 a 8,32 dias, enquanto o T50 para formação de plântula normal oscilou entre 16,16 e 22,59 dias. Os valores de IVG e IVE também diferiram entre os tratamentos, no entanto, apresentaram apenas dois grupos estatisticamente distintos (a e b). Para IVG, os maiores valores foram observados em T3, T4, T5 e T8, enquanto T1, T2, T6, T7, T9 e T10 apresentaram índices inferiores. Entre os tratamentos com sementes provenientes das matrizes de maior DAP, T4 e T5 apresentaram os maiores índices, enquanto, entre os tratamentos de menor DAP, T8 se destacou. Para IVE, os maiores valores ocorreram em T3, T4, T5 e T8, com destaque para T4 e T8. Os menores índices foram registrados em T2, T6 e

T7. De forma geral, os tratamentos que apresentaram maiores valores de IVG também apresentaram maiores valores de IVE (Figura 7).



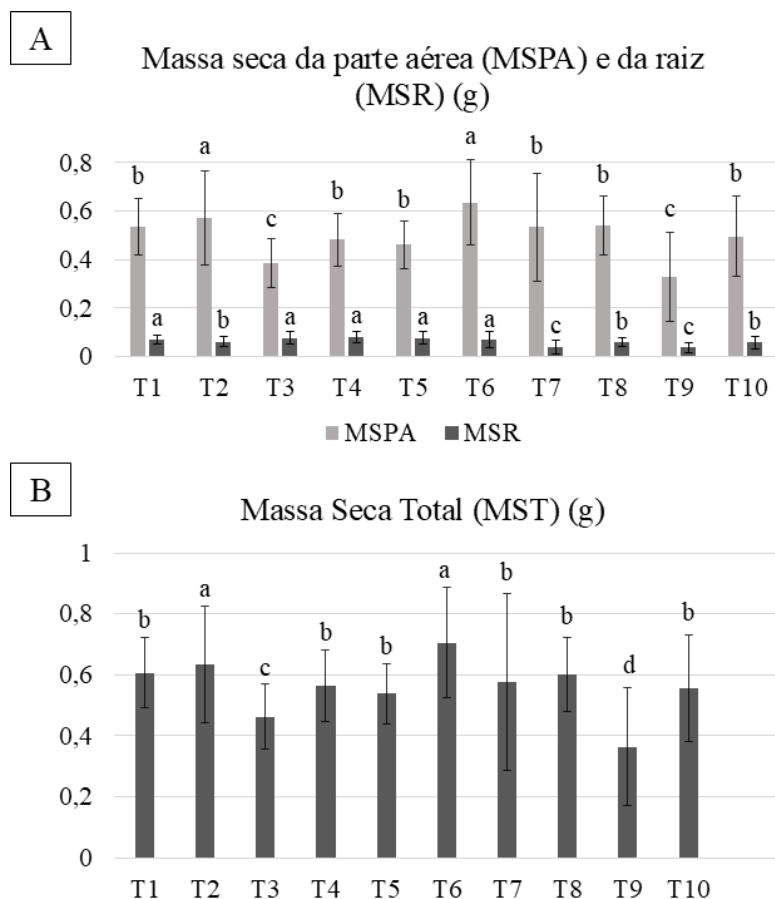
**Figura 7-** Parâmetros complementares do teste de germinação em sementes de *D. alata*: (A) Índice de Velocidade de Germinação (IVG); (B) Índice de Velocidade de Emergência (IVE). As barras representam o desvio padrão da média.

Para os caracteres comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento radicular (CR), foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, com formação de grupos distintos pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Para CPA, o tratamento T5 apresentou o maior valor médio, diferindo dos demais tratamentos, enquanto T7 apresentou a menor média. Para CR, os maiores valores foram observados nos tratamentos T4 e T5, enquanto T2 e T7 apresentaram os menores comprimentos radiculares (Figura 8).



**Figura 8-** Comprimento da parte aérea- CPA (representado pela barra com preenchimento de padrão) e comprimento da radícula- CR (representado pelo preenchimento sólido) de plântulas de *D. alata* oriundas de sementes selecionadas. As barras representam o desvio padrão da média.

A tabela com os resultados numéricos de biomassa estrutural das plântulas, avaliadas por meio da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST), bem como as médias, desvios padrão e agrupamentos estatísticos, encontra-se apresentada no Apêndice E. Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para as três variáveis avaliadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Para MSPA, os valores médios variaram de 0,327 g a 0,636 g, com destaque para os tratamentos T4 e T5, que apresentaram os maiores acúmulos de biomassa e diferiram estatisticamente dos tratamentos com menores médias. Para MSR, os valores oscilaram entre 0,037 g e 0,082 g, enquanto a MST apresentou amplitude entre 0,364 g e 0,706 g, evidenciando diferenças entre os tratamentos quanto ao acúmulo total de biomassa das plântulas (Figura 9).



**Figura 9-** Massa seca da parte aérea- MSPA (representado pela barra com preenchimento de padrão), massa seca da raiz- MSR (representado pelo preenchimento sólido) (A) e massa seca total (B) de plântulas de *D. alata* provenientes de sementes selecionadas. As barras representam o desvio padrão da média.

Nas Figuras 9 A e B, verifica-se que o tratamento T6 (a) apresentou os maiores valores médios para massa seca da parte aérea (0,636 g) e massa seca total (0,706 g), enquanto T9 (d) registrou os menores valores nessas variáveis, com 0,327 g e 0,364 g, respectivamente. Para a massa seca radicular, os valores variaram de 0,037 g (T9) a 0,082 g (T4), correspondendo a uma diferença absoluta de 0,045 g entre os extremos. Embora a amplitude numérica da MSR seja inferior à observada para MSPA e MST, a distinção estatística entre tratamentos manteve-se consistente conforme indicado pelas letras de agrupamento.

#### 4. DISCUSSÃO

Em *D. alata*, as diferenças observadas na germinação, no crescimento inicial e no acúmulo de biomassa indicam a existência de variabilidade entre os materiais avaliados, mesmo quando submetidos às mesmas condições experimentais. A separação estatística observada para T50, IVG, IVE, comprimento da parte aérea, comprimento radicular e biomassa seca demonstra

que sementes oriundas de diferentes matrizes não apresentaram respostas uniformes durante as fases iniciais do desenvolvimento.

Os resultados obtidos evidenciam que materiais provenientes de árvores com diferentes valores de diâmetro à altura do peito (DAP) podem apresentar respostas distintas quanto ao vigor fisiológico e ao desenvolvimento inicial das plântulas. Entretanto, não foi observada associação consistente entre maiores valores de DAP e melhores parâmetros germinativos ou de crescimento, indicando que as diferenças observadas estiveram mais relacionadas à variabilidade entre os materiais avaliados do que ao diâmetro das matrizes propriamente dito. Resultados semelhantes têm sido reportados em estudos com espécies florestais nativas, nos quais diferenças fisiológicas e de crescimento inicial entre materiais genéticos foram observadas mesmo sob condições experimentais controladas (SOARES et al., 2008; SILVA et al., 2023).

A variabilidade observada entre os materiais também reforça a importância da manutenção da diversidade genética em populações de *D. alata*, aspecto considerado fundamental para estratégias de conservação e manejo da espécie (COLLEVATTI et al., 2013). Além disso, o potencial econômico e funcional da espécie amplia o interesse em estudos voltados à caracterização fisiológica e ao desenvolvimento de materiais promissores (ALVES SANTOS; FERNANDES; NAVES, 2021).

No caso dos parâmetros germinativos, os menores valores de T50-ER foram observados nos T4 e T5, e T50-PN observou-se os valores mais baixos no T1, T3, T4, T5 e T8, indicam maior rapidez na emissão radicular e na formação de plântulas normais. Em sentido complementar, os maiores valores de IVG e IVE registrados para T3, T4, T5 e T8 reforçam esse mesmo padrão, mostrando que esses tratamentos não apenas atingiram os eventos germinativos em menor tempo, mas também apresentaram maior velocidade ao longo do processo. Esse padrão é compatível com resultados descritos para *Ilex paraguariensis* e *Myrocarpus frondosus*, nos quais progênes com germinação mais rápida também apresentaram melhor crescimento inicial (KRAS et al., 2007; BISOGNIN et al., 2020). Para *D. alata*, a formação de grupos distintos já na fase de semente é coerente com a variabilidade genética descrita para populações naturais da espécie (SOARES et al., 2008; COLLEVATTI et al., 2013).

Em sementes florestais, a velocidade de germinação e de emergência é frequentemente utilizada como indicador de vigor, pois materiais mais vigorosos tendem a germinar de forma mais rápida e uniforme, o que favorece o estabelecimento inicial das plântulas e reduz a

desuniformidade em viveiro (MAGUIRE, 1962; RANAL; SANTANA, 2006). Assim, no presente estudo, os tratamentos com menores T50 e maiores IVG e IVE podem ser interpretados como materiais com melhor desempenho fisiológico na fase inicial.

Esses resultados são coerentes com observações já relatadas para *D. alata*, nas quais foram registrados germinação vigorosa e crescimento inicial expressivo em plântulas da espécie, destacando o potencial para rápida formação de mudas quando submetidas a condições adequadas (MOTA et al., 2012). No presente estudo, mesmo sob condições controladas, foram observadas diferenças entre os tratamentos quanto à velocidade de resposta germinativa, sugerindo que parte dessa variação esteja associada às características fisiológicas das sementes provenientes de diferentes matrizes.

Os resultados também demonstram que tratamentos com porcentagens finais de germinação semelhantes podem apresentar diferenças na velocidade e na dinâmica do processo germinativo, indicando que o vigor das sementes está relacionado não apenas à germinação final, mas também à rapidez e uniformidade com que esse processo ocorre.

A análise dos comprimentos da parte aérea (CPA) e da radícula (CR) indica que as diferenças observadas durante a germinação permaneceram nas fases iniciais de desenvolvimento das plântulas. O tratamento T5 apresentou maior valor de CPA, enquanto T4 e T5 apresentaram os maiores valores de CR, evidenciando diferenças entre os materiais avaliados quanto ao crescimento inicial dos compartimentos aéreo e radicular. Em espécies arbóreas nativas, esses atributos são importantes para o estabelecimento inicial das plântulas, pois o crescimento da parte aérea favorece a expansão da área fotossintética, enquanto o desenvolvimento radicular amplia a capacidade de absorção de água e nutrientes.

No caso de *D. alata*, esse aspecto ganha importância adicional por se tratar de uma espécie típica do Cerrado, ambiente em que o desempenho radicular inicial pode ter papel decisivo para o estabelecimento (NIEDACK et al., 2021; ALVES et al., 2020). Estudos com mudas da espécie mostram que o crescimento radicular responde ao ambiente de cultivo e se relaciona com a capacidade de suporte a condições de menor disponibilidade hídrica (MOTA et al., 2012; MENDES et al., 2020; ALVES et al., 2020). Assim, o destaque de T4 e T5 para CR, bem como a posição intermediária de T6 para essa variável, sugere que esses materiais apresentam desempenho inicial mais favorável também do ponto de vista morfológico. Em contraste, T7 apresentou os menores valores para CPA e CR, indicando menor expressão de vigor nessa etapa do desenvolvimento (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016). Em espécies arbóreas, a altura inicial da plântula é frequentemente associada a maior vigor em viveiro

(KRAS et al., 2007; BISOGNIN et al., 2020), enquanto, em espécies do Cerrado, características radiculares juvenis têm relação direta com tolerância a estresse hídrico e exploração do solo (OLIVEIRA et al., 2006; MOTA; SCALON; HEINZ, 2012). Assim, diferenças morfológicas precoces podem refletir variações no potencial de estabelecimento.

Os dados de biomassa seca reforçam as diferenças observadas entre os tratamentos ao longo do desenvolvimento inicial das plântulas. O tratamento T6 apresentou os maiores valores para massa seca da parte aérea e massa seca total, enquanto T4 se destacou para massa seca radicular. Esses resultados indicam que os tratamentos não apresentaram superioridade uniforme para todas as variáveis avaliadas, evidenciando diferenças na forma de crescimento e na distribuição de biomassa entre os compartimentos da plântula (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016; DONOHUE et al., 2010). Esse resultado é importante porque o acúmulo de biomassa representa não apenas alongamento das estruturas, mas efetiva produção de tecido vegetal. Em outras palavras, enquanto o comprimento mostra expansão morfológica, a biomassa seca expressa o resultado do crescimento em termos de matéria acumulada (DAWS et al., 2008; RAMÍREZ-VALIENTE et al., 2019). Dessa forma, T6 apresentou vantagem mais evidente na produção de biomassa aérea e total, enquanto T4 e T5 mantiveram melhor posição no crescimento radicular e no alongamento das plântulas.

Esse resultado sugere que os tratamentos diferiram não só na intensidade do crescimento, mas também na forma como esse crescimento se distribuiu entre os compartimentos da plântula. A comparação entre MSPA, MSR e MST mostra que houve diferenças na alocação entre os tratamentos. Estudos com *D. alata* já haviam observado que o acúmulo de biomassa responde de maneira distinta às condições de cultivo, o que confirma a plasticidade inicial da espécie (MENDES et al., 2020 e MOTA et al., 2012). No presente estudo, como o ambiente foi o mesmo para todos os tratamentos, a variação observada passa a ser especialmente útil para distinguir materiais que, desde cedo, apresentam maior capacidade de crescimento e formação de tecidos. Estudos com *D. alata* indicam que, apesar da plasticidade fenotípica da espécie, persistem diferenças consistentes de biomassa entre genótipos sob as mesmas condições ambientais (MENDES et al., 2020; MOTA; SCALON; HEINZ, 2012).

Outro ponto importante é que os resultados não mostraram separação consistente entre os tratamentos definidos a partir do DAP das matrizes. Houve tratamentos oriundos de matrizes com maior DAP entre os melhores desempenhos, como T4 e T5, mas também tratamento oriundo do tratamento de menor DAP com destaque em diferentes variáveis, como T8 para os parâmetros germinativos e T6 para biomassa. Da mesma forma, tanto no tratamento de maior

quanto no de menor DAP ocorreram tratamentos com desempenho inferior. Esses resultados indicam que, nas condições avaliadas, os diferentes valores de DAP das árvores-matrizes não foram suficientes, isoladamente, para explicar a variação observada no vigor inicial das plântulas. As diferenças identificadas estiveram mais associadas às características específicas de cada tratamento do que a uma tendência relacionada ao diâmetro das matrizes. Em outras palavras, a resposta juvenil esteve mais associada ao comportamento específico de cada matriz do que ao tratamento de DAP ao qual ela pertencia.

Em programas de melhoramento genético, a seleção de materiais depende diretamente dos objetivos estabelecidos e dos caracteres de interesse avaliados, uma vez que diferentes variáveis podem apresentar respostas distintas entre os tratamentos. Para esse tipo de inferência, seriam necessárias análises específicas de associação entre caracteres juvenis e caracteres adultos. Ainda assim, os resultados obtidos mostram que os caracteres avaliados na fase inicial foram capazes de discriminar tratamentos e identificar materiais com melhor desempenho relativo, o que já representa informação útil para a triagem inicial de sementes e plântulas.

Do ponto de vista aplicado, os tratamentos T4, T5, T6 e T8 merecem destaque. T4 e T5 reuniram menor tempo para emissão radicular, maiores valores de comprimento de plântulas e bom desempenho em biomassa radicular; T6 destacou-se pelo maior acúmulo de biomassa aérea e total, em contraste, T7 e T9 apresentaram desempenho inferior em diferentes grupos de variáveis, indicando menor vigor inicial.

## 5. CONCLUSÃO

Os caracteres relacionados à germinação e ao vigor inicial foram eficientes para evidenciar diferenças de desempenho entre os materiais avaliados de *D. alata*.

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para velocidade de germinação, crescimento inicial e acúmulo de biomassa, indicando variabilidade entre as matrizes avaliadas quanto ao desempenho juvenil das plântulas. Entretanto, não foi observada associação consistente entre os valores de diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores-matrizes e os parâmetros germinativos e de crescimento inicial avaliados.

Alguns tratamentos se destacaram em diferentes variáveis, como T2, T4 e T5 para parâmetros germinativos e crescimento inicial, e T6 para acúmulo de biomassa, evidenciando que o desempenho variou conforme o caráter analisado. Dessa forma, os caracteres avaliados podem ser utilizados como ferramenta complementar na caracterização fisiológica e na identificação de materiais promissores de *D. alata*.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trabalhar com uma espécie nativa do Cerrado, em um plantio com 39 anos de idade, evidenciou, na prática, os desafios associados à seleção em populações sob forte influência ambiental e sem manejo, mas também demonstrou que ainda é possível identificar indivíduos com desempenho superior.

Durante a condução do estudo, foram observadas dificuldades operacionais relacionadas à avaliação das copas, em função da arquitetura das árvores, da proximidade entre indivíduos e da própria dinâmica fenológica da espécie, que apresenta perda foliar durante o período de frutificação. Além disso, a safra avaliada apresentou menor produção de frutos em comparação ao ano anterior, possivelmente refletindo variações ambientais e climáticas características da região do Cerrado, frequentemente sujeita a condições adversas, como períodos de seca e ocorrência de fogo.

Do ponto de vista aplicado, a seleção das matrizes e a avaliação das fases juvenis fornecem subsídios importantes para o melhoramento genético e para o entendimento do comportamento silvicultural de *D. alata*. O estudo também reforça a importância da pesquisa florestal com espécies nativas, ao integrar aspectos ecológicos, genéticos e produtivos. Nesse contexto, os resultados obtidos podem auxiliar no direcionamento de estratégias futuras voltadas à conservação, restauração ecológica e aproveitamento sustentável da espécie.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. D. F. B. et al. Evidence of drought memory in *Dipteryx alata* indicates differential acclimation of plants to savanna conditions. **Scientific Reports**, v. 10, art. 16455, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-73423-3.
- ALVES-SANTOS, A. M.; FERNANDES, D. C.; NAVES, M. M. V. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit as an option of nut and pulp with advantageous nutritional and functional properties: a comprehensive review. **NFS Journal**, Amsterdam, v. 24, p. 26-36, 2021.
- AZEVEDO, V. M. et al. Baru (*Dipteryx alata* Voug.), the Brazilian savanna's brown gold: a scientometric analysis of investigative trend. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 17, e41111738797, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i17.38797.
- BISOGNIN, D. A.; LENCINA, K. H.; AIMI, S. C.; ARAÚJO, M. M.; BURIN, C. Seleção de progênies de *Myrocarpus frondosus* para vigor de crescimento de mudas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 42, e23, 2020. DOI: 10.5902/2179460X40872.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: SNDA/DNDV/CLAV, 2009.

CANUTO, D. S. de O. et al. Caracterização genética de um teste de progênes de *Dipteryx alata* Vog. proveniente de remanescente florestal da Estação Ecológica de Paulo de Faria, SP, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 641-648, 2015.

CORRÊA, G. C.; ROCHA, M. R.; NAVES, R. V. Germinação e vigor de sementes de baru (*Dipteryx alata*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 2, p. 25-31, 2000.

COSTA, R. B. et al. Melhoramento genético de erva-mate nativa do Estado de Mato Grosso do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 611-619, 2009.

CRUZ, K. S. da; SILVA, M. A. da; FREITAS, O. de; NEVES, V. A. Partial characterization of proteins from baru (*Dipteryx alata* Vog.) seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 91, n. 11, p. 2006-2012, 2011.

DAWS, M. I.; CRABTREE, L. M.; DALLING, J. W.; MULLINS, C. E.; BURSLEM, D. F. R. P. Germination responses to water potential in Neotropical pioneers suggest large-seeded species take more risks. **Annals of Botany**, Oxford, v. 102, n. 6, p. 945-951, 2008. DOI: 10.1093/aob/mcn186.

DONOHUE, K.; RUBIO DE CASAS, R.; BURGHARDT, L.; KOVACH, K.; WILLIS, C. G. Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 41, p. 293-319, 2010. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-102209-144715.

FERNANDES, D. C. et al. Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) almond from the Brazilian Savanna. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 90, n. 10, p. 1650-1655, 2010.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 3, p. 567-591, 2016. DOI: 10.1093/jxb/erv490.

KRAS, S. M.; COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; ROA, R. A. R. Vigor juvenil em progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) nativas do estado de Mato Grosso do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 33-41, 2007. DOI: 10.5902/198050981933.

LIMA, D. C. et al. A review on Brazilian baru plant (*Dipteryx alata* Vogel): morphology, chemical composition, health effects, and technological potential. **Future Foods**, Amsterdam, v. 5, art. 100146, 2022. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100146.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARSOLA, P. A. *Efeito da temperatura na germinação de Dipteryx alata: implicações para a tecnologia de sementes e programa de restauração frente à cenários de mudanças climáticas*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2025.

MENDES, J. P. P.; AMARAL, A. M.; VERSSIANI, M. A. S.; SANTOS, M. Â. C. M. Crescimento e qualidade de mudas de baru em resposta a hidrorretentor e água magnetizada. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 16, n. 11, e110201, 2020. DOI: 10.14808/sci.plena.2020.110201.

MOTA, L. H. S.; NAVES, R. V.; SILVA, L. O.; CHAVES, L. J. Aspectos da germinação e do desenvolvimento inicial de plântulas de baru (*Dipteryx alata*). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 55-63, 2012.

MOTA, L. H. S.; SCALON, S. P. Q.; HEINZ, R. Sombreamento na emergência de plântulas e no crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 423-431, 2012.

NIEDACK, L. O. C.; SOUZA, L. G. S.; ALVES, L. E. O.; DAMIANI, C. R. Baru (*Dipteryx alata* Vogel), a woody species characteristic of Cerrado and its phytoremediation potential. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 28, n. 41, p. 57798-57806, 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-14708-6.

OLIVEIRA, M. L. R.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T.; FREITAS, M. L. M. Variações genéticas para características do sistema radicular de mudas de baru (*Dipteryx alata*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 927-936, 2006.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and wood flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (ed.). *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical Savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-120.

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 1-11, 2006. DOI: 10.1590/S0100-84042006000100002.

RESENDE, M. D. V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

SANT'ANA, V. Z.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento e forma do fuste em espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 701-711, 2013.

SANTOS, A. M.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. N. Estimation of genetic parameters and verification of early selection efficiency in baru (*Dipteryx alata*). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 238-243, 2014. DOI: 10.1590/1984-70332014v14n4a37.

SANTOS, T. S. et al. Growth and wood quality traits in a *Dipteryx alata* Vog. (Fabaceae) progeny and provenance test. **Forest Science**, [S. l.], v. 67, n. 4, p. 468-477, 2021. DOI: 10.1093/forsci/fxab010.

SIQUEIRA, E. M. A.; MARIN, A. M. F.; CUNHA, M. S. B.; FUSTINONI, A. M.; SANT'ANA, L. P.; ARRUDA, S. F. Consumption of baru seeds (*Dipteryx alata* Vog.), a Brazilian savanna nut, prevents iron-induced oxidative stress in rats. **Food Research International**, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 427-433, 2012.

SILVA, D. Y. B. de O. et al. Variabilidade genética e estratégias de conservação *ex situ* para a espécie neotropical *Parkia platycephala* Benth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 1, e64058, 2023.

SOARES, T. N. et al. Landscape conservation genetics of *Dipteryx alata* ("baru" tree: Fabaceae) from Cerrado region of central Brazil. **Genetica**, Dordrecht, v. 132, n. 1, p. 9-19, 2008.

TORNEIRO, D. U.. *Quebrado de baru bem simples de fazer*. YouTube, 5 set. 2020. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=g\\_KT1HdFAiY](https://www.youtube.com/watch?v=g_KT1HdFAiY)

VALLILO, M. I.; TAVARES, M.; AUED, S. Composição química da polpa e da semente do fruto do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.) – caracterização do óleo da semente. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 115-125, 1990.



## Apêndice B

**Tabela-** Ranking das 50 matrizes selecionadas com base no índice de seleção, contendo a identificação da matriz, progênie, procedência e valor do índice.

Ranking	Matriz	Progênie	Procedência	Índice de seleção
1	640	5	DF	0,907
2	615	43	MS	0,896
3	556	28	MS	0,895
4	106	22	MS	0,89
5	1003	5	DF	0,809
6	859	23	MS	0,8
7	1012	14	DF	0,782
8	224	2	DF	0,743
9	832	17	DF	0,734
10	179	36	MS	0,685
11	221	2	DF	0,627
12	84	17	DF	0,612
13	647	7	DF	0,574
14	319	21	MS	0,571
15	560	28	MS	0,568
16	605	40	MS	0,567
17	1050	24	MS	0,548
18	539	24	MS	0,533
19	1047	24	MS	0,532
20	534	23	MS	0,53
21	202	41	MS	0,523
22	205	41	MS	0,519
23	225	2	DF	0,511
24	298	17	DF	0,485
25	685	17	DF	0,472
26	90	18	MS	0,467
27	75	15	DF	0,464
28	392	36	MS	0,454
29	453	5	DF	0,435
30	88	18	MS	0,426
31	638	5	DF	0,425
32	748	32	MS	0,4
33	582	34	MS	0,379
34	1014	14	DF	0,373
35	726	26	MS	0,369
36	669	13	DF	0,366
37	311	20	MS	0,366

38	742	30	MS	0,365
39	792	5	DF	0,347
40	710	22	MS	0,339
41	379	33	MS	0,33
42	19	4	DF	0,328
43	708	22	MS	0,306
44	99	20	MS	0,254
45	1065	40	MS	0,25
46	181	37	MS	0,184
47	930	8	DF	0,12
48	436	2	DF	0,07
49	180	36	MS	0,069
50	558	28	MS	0,045

---

## Apêndice C

**Tabela**-Tempo para atingir 50% da emissão radicular (T50-ER) e da formação de plântulas normais (T50-PN), índice de velocidade de germinação (IVG) e índice de velocidade de formação de emergência (IVE) de sementes de *D. alata*.

Tratamentos	T <sub>50</sub> - Emissão radicular (dias)	IVG (Germinação)	T <sub>50</sub> - Plântula normal (dias)	IVE (Plântula normal)
T1	7,00 (± 1,80) a	17,19 (± 2,97) b	17,80 (± 4,61) b	5,07 (± 2,44) b
T2	8,32 (± 3,16) a	16,67 (± 0,82) b	20,72 (± 6,01) a	3,71 (± 0,76) b
T3	5,52 (± 0,25) b	23,93 (± 1,70) a	16,63 (± 0,95) b	6,30 (± 0,88) a
T4	4,68 (± 0,08) c	27,87 (± 2,50) a	16,22 (± 0,98) b	6,91 (± 2,38) a
T5	4,83 (± 0,22) c	27,29 (± 1,78) a	17,70 (± 0,85) b	6,39 (± 0,78) a
T6	6,94 (± 0,39) a	17,55 (± 3,65) b	22,59 (± 3,46) a	3,20 (± 0,61) b
T7	6,49 (± 0,52) a	20,04 (± 2,93) b	19,72 (± 1,26) a	3,00 (± 0,35) b
T8	5,55 (± 0,68) b	25,13 (± 3,27) a	16,16 (± 2,60) b	7,24 (± 1,63) a
T9	5,11 (± 0,41) b	18,29 (± 5,43) b	19,50 (± 2,95) a	4,43 (± 0,89) b
T10	5,81 (± 0,48) b	21,74 (± 2,45) b	20,00 (± 3,22) a	4,02 (± 1,40) b
CV (%)	20,75	16	16,67	25,29

As barras representam médias ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.

## Apêndice D

**Tabela** - Médias do Comprimento da parte aérea (CPA) e da radícula (CR) de plântulas de *D. alata* provenientes da germinação de sementes coletadas de dez matrizes

Tratamento	CPA (cm)	CR (cm)
1	8,252 (±2,007) b	8,39 (±3,246) c
2	6,642 (±2,409) c	7,18 (±3,962) d
3	8,720 (±1,432) b	11,06 (±3,467) b
4	9,127 (±1,494) b	14,84 (±4,771) a
5	10,245 (±1,554) a	12,95 (±5,719) a
6	6,012 (±2,132) c	10,77 (±5,046) b
7	4,627 (±2,134) d	5,97 (±3,361) d
8	8,662 (±1,899) b	9,69 (±4,587) c
9	6,837 (±2,568) c	8,61 (±4,434) c
10	6,075 (±3,267) c	8,85 (±3,749) c
CV (%)	25,66	30,33

Os valores representam a média ± desvio-padrão. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de comparação de médias ( $p \leq 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.



## Apêndice E

**Tabela-** Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) de plântulas de *D. alata* provenientes de 10 matrizes.

Tratamento	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)
1	0,536 ( $\pm 0,118$ ) b	0,071 ( $\pm 0,019$ ) a	0,607 ( $\pm 0,116$ ) b
2	0,572 ( $\pm 0,196$ ) a	0,061 ( $\pm 0,020$ ) b	0,634 ( $\pm 0,193$ ) a
3	0,385 ( $\pm 0,100$ ) c	0,078 ( $\pm 0,027$ ) a	0,463 ( $\pm 0,108$ ) c
4	0,482 ( $\pm 0,110$ ) b	0,082 ( $\pm 0,023$ ) a	0,565 ( $\pm 0,117$ ) b
5	0,461 ( $\pm 0,099$ ) b	0,077 ( $\pm 0,025$ ) a	0,538 ( $\pm 0,100$ ) b
6	0,636 ( $\pm 0,176$ ) a	0,070 ( $\pm 0,035$ ) a	0,706 ( $\pm 0,183$ ) a
7	0,535 ( $\pm 0,223$ ) b	0,040 ( $\pm 0,027$ ) c	0,576 ( $\pm 0,291$ ) b
8	0,540 ( $\pm 0,121$ ) b	0,060 ( $\pm 0,020$ ) b	0,601 ( $\pm 0,121$ ) b
9	0,327 ( $\pm 0,183$ ) c	0,037 ( $\pm 0,021$ ) c	0,364 ( $\pm 0,193$ ) d
10	0,495 ( $\pm 0,165$ ) b	0,060 ( $\pm 0,026$ ) b	0,555 ( $\pm 0,176$ ) b
CV (%)	23,65	28,43	19,93

Os valores representam a média  $\pm$  desvio-padrão. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de comparação de médias ( $p \leq 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.