



SAMUEL RODRIGUES ABADE

**AVANÇO NO PROGRAMA DE MELHORAMENTO DE
Eremanthus erythropappus (DC.) MacLeish: PARÂMETROS
GENÉTICOS E ESTRATÉGIAS PARA CONSERVAÇÃO E
SELEÇÃO DE PROGÊNIES.**

**LAVRAS – MG
2025**

SAMUEL RODRIGUES ABADE

**AVANÇO NO PROGRAMA DE MELHORAMENTO DE *Eremanthus erythropappus*
(DC.) MacLeish: PARÂMETROS GENÉTICOS E ESTRATÉGIAS PARA
CONSERVAÇÃO E SELEÇÃO DE PROGÊNIES.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo

Coorientador
Dr. Adelson Lemes da Silva Júnior

**LAVRAS – MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Abade, Samuel Rodrigues.

Avanço no programa de melhoramento de *Eremanthus erythropappus* (DC.)
MacLeish : parâmetros genéticos e estratégias para conservação e seleção de
progênies. / Samuel Rodrigues Abade. - 2025.
44 p. : il.

Orientador: Lucas Amaral de Melo
Coorientador: Adelson Lemes da Silva Júnior

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. candeia. 2. silvicultura. 3. teste de progênies. I. Amaral de Melo, Lucas. II.
Lemes da Silva Júnior, Adelson. III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

SAMUEL RODRIGUES ABADE

**AVANÇO NO PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DE
EREMANTHUS ERYTHROPAPPUS (DC.) MACLEISH: PARÂMETROS GENÉTICOS
E ESTRATÉGIAS PARA CONSERVAÇÃO E SELEÇÃO DE PROGÊNIES.**

**ADVANCES IN THE *EREMANTHUS ERYTHROPAPPUS* (DC.) MACLEISH
BREEDING PROGRAM: GENETIC PARAMETERS AND STRATEGIES FOR
PROGENY CONSERVATION AND SELECTION.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 15 de julho de 2025.

Dr. Lucas Amaral de Melo	UFLA
Dra. Dulcineia de Carvalho	UFLA
Dr. Rodolfo Soares de Almeida	UFV
Dr. Tiago de Souza Marçal	UFLA

Orientador
Prof. Lucas Amaral de Melo

Coorientador
Prof. Adelson Lemes da Silva Júnior

**LAVRAS – MG
2025**

Ao meu sobrinho Arthur, com seus oito meses expandiu a nossa família.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Nossa Senhora das Candeias.

Agradeço primeiramente à minha mãe, “Tuinha”, que me deu o fôlego da vida e me ensinou quase tudo; de quem tenho muito a aprender. Seja no convívio dos nossos encontros ou na distância pedagógica, seu carinho amacia e define com precisão os meus caminhos.

Em seguida, agradeço ao meu irmão gêmeo, Gabriel Abade, por compartilharmos essa união fraterna de irmãos-amigos que se apoiam na busca pelo conhecimento diverso. À minha irmã, Fran Abade, pelo carinho e pelo presente que é em minha vida.

Agradeço com muita felicidade e continuamente o estímulo das amizades que cultivo organicamente. Que perdurem como uma floresta perene enquanto durar a vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq): Processo 400109/2023-9, referente à Chamada Pública nº 068/2022 – Programa MAI-DAI, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo auxílio APQ-05543-24.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF).

Ao professor Dr. Lucas Amaral de Melo, pela orientação e por todo o conhecimento prático e teórico compartilhado ao longo da minha trajetória acadêmica.

Ao professor Dr. Adelson Lemes da Silva Júnior, pela coorientação e pelo comprometimento no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, à equipe do Laboratório de Silvicultura e Restauração Florestal (LASERF) e ao Grupo de Pesquisa em Silvicultura e Melhoramento Florestal (SILMEF), pelo apoio prestado.

À empresa CITRÓLEO Ltda., pela parceria que concedeu a área para o experimento e pela condução da coleta de dados.

Por último, agradeço à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a todos os professores e professoras, técnicos, secretárias e secretários, trabalhadores do restaurante universitário, trabalhadores terceirizados que mantêm a alta qualidade desta Universidade.

Agradeço, sobretudo, às políticas públicas de acesso e inclusão social que me permitem desfrutar de um banco de conhecimentos que ainda poucos e poucas têm acesso e que há de ser mais universal.

Sou grato.

“As florestas precedem as civilizações, e o deserto as persegue.”

François Chateaubriand

RESUMO

Apesar dos avanços recentes no conhecimento sobre a candeia (*Eremanthus erythropappus*), ainda persistem lacunas significativas, especialmente nas áreas de silvicultura e melhoramento genético. A espécie se destaca pela produção de óleo essencial rico em alfa-bisabolol. Nesse contexto, o desenvolvimento de testes de progênies representa uma estratégia fundamental para a avaliação da variabilidade genética, a seleção de genótipos superiores e a definição de estratégias de conservação e melhoramento. O estudo teve como objetivo estimar os parâmetros genéticos e avaliar a eficiência da seleção, visando à obtenção de materiais genéticos com potencial para ganhos produtivos futuros e a manutenção da variabilidade genética. O experimento foi conduzido em Baependi – MG, sob delineamento de blocos casualizados, totalizando 35 progênies de meios-irmãos e 1050 indivíduos. Cinco anos após o plantio, foram avaliadas as variáveis sobrevivência, altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e volume estimado de madeira. A análise genética foi realizada pelo método REML/BLUP, com o uso do software SELEGEN. Três intensidades de seleção (15, 30 e 45%) foram comparadas com base nos ganhos de seleção (GS) e no tamanho efetivo da população (N_e). Observou-se variabilidade genética significativa para altura e DAP, com variância genética aditiva (V_a) estimada em 0,38 e 1,35, respectivamente. As herdabilidades no sentido restrito (h^2_a) foram de 0,67 para altura e 0,28 para DAP, indicando maior controle genético sobre a primeira variável. As acurácias da seleção (Acprog) foram altas, o que confirma a precisão das estimativas. Os coeficientes de variação genética individual (CVgi%) evidenciam boa amplitude de variação para a seleção. Considerando uma intensidade de seleção de 30% dentro de famílias, observou-se um ganho genético de 0,58 m para altura e 0,74 cm para DAP, mantendo-se um tamanho efetivo (N_e) de 75 e 72 indivíduos, respectivamente, valores adequados para minimizar riscos de endogamia. Já na seleção entre famílias com a mesma intensidade (30%), destacaram-se as progênies P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P13, com desempenho superior simultâneo para altura e DAP. Conclui-se que o programa de melhoramento genético da candeia apresenta avanços expressivos, com potencial para geração de materiais superiores e formação de pomares de sementes. Estratégias de seleção com intensidades moderadas permitem ganhos genéticos consistentes sem comprometer a diversidade, promovendo a conservação da espécie e ampliando seu uso sustentável, com benefícios ecológicos e econômicos a longo prazo.

Palavras-chave: candeia; silvicultura; teste de progênies.

ABSTRACT

Despite recent advances in the knowledge of candeia (*Eremanthus erythropappus*), significant gaps still persist, especially in the areas of silviculture and genetic improvement. The species is noteworthy for its production of essential oil rich in alpha-bisabolol. In this context, the development of progeny tests represents a fundamental strategy for evaluating genetic variability, selecting superior genotypes, and defining conservation and breeding strategies. The study aimed to estimate genetic parameters and evaluate the efficiency of selection, with the goal of obtaining genetic material with the potential for future productive gains and maintaining genetic variability. The experiment was conducted in Baependi – MG, under a randomized complete block design, with five repetitions and six-plant plots, totaling 35 half-sib progenies and 1,050 individuals. Five years after planting, the variables of survival, height, diameter at breast height (DBH), and estimated wood volume were evaluated. Genetic analysis was performed using the REML/BLUP method, with the use of the SELEGEN software. Three selection intensities (15, 30, and 45%) were compared based on selection gains (GS) and effective population size (N_e). Significant genetic variability was observed for height and DBH, with additive genetic variance (V_a) estimated at 0.38 and 1.35, respectively. Narrow-sense heritability (h^2_a) was 0.67 for height and 0.28 for DBH, indicating greater genetic control over the former variable. Selection accuracies (Ac_{prog}) were high, reaching 0.84 for height and 0.73 for DBH, which confirms the precision of the estimates. Individual genetic variation coefficients ($CV_{gi}\%$) of 10.90% for height and 11.33% for DBH indicate a good range of variation for selection. Considering a selection intensity of 30% within families, a genetic gain of 0.58 m for height and 0.74 cm for DBH was observed, while maintaining an effective size (N_e) of 75 and 72 individuals, respectively, which are adequate values to minimize risks of inbreeding. In the selection between families with the same intensity (30%), progenies P1, P2, P3, P4, P5, P6, and P13 stood out, showing superior simultaneous performance for height and DBH. It is concluded that the candeia genetic improvement program shows expressive advances, with the potential to generate superior materials and establish seed orchards. Selection strategies with moderate intensities allow for consistent genetic gains without compromising diversity, promoting the conservation of the species and expanding its sustainable use with long-term ecological and economic benefits.

Keywords: candeia; silviculture; progeny test.

INDICADORES DE IMPACTO

A presente pesquisa sobre *Eremanthus erythropappus* (candeia) promove avanços no conhecimento acerca da produção e do manejo sustentável de recursos florestais nativos, com especial relevância para o bioma Cerrado em Minas Gerais. Os resultados geram impactos positivos que abrangem o desenvolvimento socioeconômico regional, a conservação ambiental, o aprimoramento educacional e a inovação em tecnologias de produção. O estudo foi conduzido com o suporte da Universidade Federal de Lavras (UFLA), apoio financeiro das agências CNPq: Processo 400109/2023-9, referente à Chamada Pública nº 068/2022 - Programa MAI-DAI e da FAPEMIG APQ-05543-24, bem como da empresa CITRÓLEO Ltda.

Dissemina saberes sobre técnicas de melhoramento genético e conservação que impulsionam o setor florestal, consolidando a candeia como fonte importante de produtos madeireiros e não madeireiros. Adicionalmente, o trabalho reforça o papel da espécie na mitigação das mudanças climáticas, pois destaca sua relevância na recuperação de ecossistemas degradados, sobretudo em solos pouco propícios a outras atividades agrícolas. Alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, a pesquisa converge com o ODS 15 (Vida Terrestre), ao fomentar a gestão sustentável de florestas, e com o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar padrões de uso consciente de recursos. O estudo também se alinha ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao promover o avanço de técnicas e conhecimentos que contribuem para a inovação no setor, com base no aprimoramento genético. Além disso, a pesquisa exemplifica o ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação), por meio da colaboração entre o ambiente acadêmico (UFLA), o setor governamental (CNPq e FAPEMIG) e o setor privado (CITRÓLEO Ltda.), fortalecendo assim a integração entre a academia e a sociedade, fornecendo estratégias que sustentam o manejo e o desenvolvimento socioambiental do setor florestal no Brasil.

IMPACT INDICATORS

This research on *Eremanthus erythropappus* (candeia) promotes advances in the knowledge concerning the production and sustainable management of native forest resources, with special relevance for the Cerrado biome in Minas Gerais. The results generate positive impacts that encompass regional socioeconomic development, environmental conservation, educational improvement, and innovation in production technologies. The study, conducted with the support of the Federal University of Lavras (UFLA), financial support from CNPQ agencies: Process 400109/2023-9, referring to Public Call nº 068/2022 - MAI-DAI Program, and FAPEMIG APQ-05543-24. As well as the CITRÓLEO Ltda. company, it disseminates knowledge about genetic improvement and conservation techniques that boost the forest sector, consolidating candeia as an important source of timber and non-timber products. Additionally, the work reinforces the species' role in mitigating climate change, as it highlights its relevance in the recovery of degraded ecosystems, especially in soils less suitable for other agricultural activities. Aligned with the UN's Sustainable Development Goals (SDGs), the research converges with SDG 15 (Life on Land), by fostering sustainable forest management, and with SDG 12 (Responsible Consumption and Production), by encouraging conscious resource use patterns. Therefore, the research strengthens the integration between the academic environment and society, providing strategies that support the management and socio-environmental development of the forest sector in Brazil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização do teste de progênes de <i>Eremanthus erythropappus</i> , no município de Baependi, Sul de Minas Gerais.	24
Figura 2 – Coleta em campo das características de crescimento (circunferência à altura do peito - CAP e altura) e de sobrevivência, em teste de progênes de <i>Eremanthus erythropappus</i> , em Baependi, MG, em dezembro de 2023.	26
Figura 3 – Fluxograma representativo das etapas metodológicas da pesquisa com progênes de <i>Eremanthus erythropappus</i> (candeia), em Baependi–MG. (1) A etapa inicial consistiu na seleção de matrizes em testes de procedências e progênes, realizada em 2009. (2) Posteriormente, foram efetuadas a coleta de sementes nas matrizes selecionadas e a produção de mudas, organizadas de forma separada e identificadas por progênes, entre os anos de 2015 e 2017, com a implantação do teste de progênes realizada em 2018. (3) A avaliação das características de sobrevivência, altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e volume de madeira foi realizada aos cinco anos de idade. (4) A análise estatística foi conduzida com base no modelo REML/BLUP, visando à estimativa de parâmetros genéticos e à identificação de genótipos superiores para compor estratégias de conservação e melhoramento genético da espécie. (5) Por fim, realizou-se a seleção dos melhores genótipos (árvores) para compor o pomar de sementes por mudas (PSM).	29
Figura 4 – Representação gráfica dos componentes de variância e das herdabilidades e acurácia da seleção para os caracteres altura (ALT) e diâmetro à altura do peito (DAP) em progênes de <i>Eremanthus erythropappus</i> , aos cinco anos de idade, em Baependi – MG.	31
Figura 5 – Representação gráfica dos coeficientes de variação e das estatísticas de erro e determinação para os caracteres altura (ALT) e diâmetro à altura do peito (DAP) em progênes de <i>Eremanthus erythropappus</i> , aos cinco anos de idade, em Baependi – MG.	32
Figura 6 – Classificação de progênes de <i>Eremanthus Erythropappus</i> aos cinco anos de idade em função dos valores aditivos para as características ALT (a, b, c) e DAP (d, e, f), em diferentes intensidades de seleção entre progênes.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fórmulas e descrição dos parâmetros genéticos estimados para <i>Eremanthus erythropappus</i>	28
Tabela 2 – Análise de deviance (ANADEV) para altura (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP), volume de madeira (VOL) e sobrevivência (SOB) de progênies de <i>Eremanthus erythropappus</i> , aos cinco anos de idade em Baependi, Sul de Minas Gerais.....	30
Tabela 3 – Valores genéticos preditos (BLUPs) e ganhos de seleção para ALT e DAP em diferentes intensidades de seleção em progênies de <i>Eremanthus erythropappus</i> , aos 5 anos de idade.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Caracterização da espécie <i>Eremanthus Erythropappus</i> (DC.) MacLeish.....	17
3.2 Melhoramento de espécies florestais nativas: a candeia como proposta de espécie alternativa	19
3.3 Teste de procedências e progênies.....	21
3.4 Seleção via modelo REML/BLUP	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Área de estudo.....	23
4.2 Coleta de dados	24
4.3 Estimativa de parâmetros genéticos e seleção via modelo REML/BLUP para o melhoramento e conservação.	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Teste de significância dos efeitos	30
5.2 Componentes de variância e parâmetros genéticos principais ALT e DAP	30
5.2.1 Potencial de seleção e variabilidade genética aditiva para ALT e DAP.....	33
5.2.2 Variâncias ambientais e controle experimental.....	34
5.2.3 Herdabilidades e acurácia da seleção	36
5.2.4 Coeficientes de variação e estatísticas de erro e determinação .	37
5.2.5 Valores genéticos preditos (BLUPs) e ganhos de seleção para ALT e DAP	39
6. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

Eremanthus erythropappus (DC.) MacLeish, comumente conhecida como “candeia”, é uma espécie florestal nativa que possui relevância no setor florestal, devido às suas propriedades medicinais extraídas do óleo essencial, as quais são utilizadas na medicina popular e farmacológica para efeitos analgésicos, anti-inflamatórios e antifúngicos (Alves; Gomes; Albertti, 2018; Eddin *et al.*, 2022). Existem diversas espécies conhecidas popularmente como candeia (CETEC, 1996), porém, *Eremanthus erythropappus* vem ganhando destaque como a de maior importância econômica na produção de óleo essencial, sendo a mais comum em Minas Gerais, juntamente com *Eremanthus incanus* (Less.) Less. (Scolforo *et al.*, 2002).

O interesse pela espécie *Eremanthus erythropappus* se deve, em parte, à madeira de alta resistência, durabilidade e poder energético (Pérez, 2001), podendo ser utilizada em sua forma bruta, principalmente como mourões para cercas em propriedades rurais, ou processada para queima e como fonte de energia (Galdino *et al.*, 2006). Contudo, o potencial econômico da espécie está direcionado principalmente para o óleo presente em toda a planta, mas extraído comercialmente da madeira, o qual contém alfa-bisabolol, um princípio ativo com propriedades farmacológicas utilizadas, principalmente, na indústria de cosméticos na forma de hidratantes e loções cicatrizantes (Pérez, 2001).

Devido à sua importância medicinal e industrial, *Eremanthus erythropappus* tem sido alvo de diversos estudos que buscam compreender melhor sua composição química, atividades biológicas e potencial uso comercial dos povoamentos implementados (Almeida *et al.*, 2024; Araújo *et al.*, 2018; Brandão *et al.*, 2020; Dutra *et al.*, 2010; Fernandes *et al.*, 2020). Além disso, como potencial ecológico, a espécie pode ser utilizada para a conservação e restauração de áreas degradadas. Sua capacidade de crescer em solos pobres contribui significativamente para uma rápida cobertura do solo, regeneração e manutenção de outras espécies nativas do Cerrado brasileiro, um bioma de grande importância para a biodiversidade e para a manutenção dos recursos naturais do país (Colli; Vieira; Carmine, 2020).

Apesar da relativa distribuição da candeia no estado de Minas Gerais, suas populações naturais sofreram redução devido ao corte indiscriminado em sua área de ocorrência, motivado pelo interesse econômico. Logo, a exploração atual da candeia é regulamentada pelo Instituto Estadual de Florestas, seguindo um plano de manejo sustentável estabelecido pela Portaria nº 01, de 5 de janeiro de 2007. Embora essa portaria tenha sido revogada em 2013, ela ainda é

amparada pela Resolução Conjunta SEMAD/IEF nº 3.102, de 26 de outubro de 2021. Portanto, esse plano assegura a conservação ambiental e a preservação das bases genéticas dos candeais.

Como a candeia é uma espécie que apresenta crescimento lento, a regeneração natural em povoamentos colhidos e os plantios realizados, em sua maioria, não acompanham a demanda crescente pelos produtos obtidos a partir do corte (Araújo *et al.*, 2018). Essa problemática resultou em diversos estudos iniciados na UFLA, no início dos anos 2000 (Melo; Davide; Teixeira, 2012; Pérez *et al.*, 2004; Scolforo *et al.*, 2002; Scolforo *et al.*, 2012), incluindo a seleção e resgate de árvores superiores para o desenvolvimento de testes de progênies.

Portanto, a manutenção e a continuidade desses estudos tornam-se fundamentais para garantir a conservação e o melhoramento genético da espécie. As informações permitirão definir estratégias como cruzamentos controlados e utilização futura da população como um banco de sementes, na forma de pomar de sementes por mudas (PSM). Além disso, é necessário fomentar políticas públicas e incentivos para o uso sustentável da espécie, auxiliando na preservação da biodiversidade e na manutenção dos ecossistemas naturais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estimar os parâmetros genéticos e avaliar a seleção dentro e entre famílias de *Eremanthus erythropappus* provenientes de um teste de progênies em Baependi – MG, visando simultaneamente à obtenção de materiais genéticos com potencial para ganhos futuros em termos de produtividade e à manutenção da variabilidade genética.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a variabilidade genética em diferentes progênies de *Eremanthus erythropappus*, segundo os caracteres: sobrevivência (SOB%), altura (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume de madeira (VOL);
- Identificar genótipos superiores com potencial para compor um banco de sementes e futuros pomares de sementes por mudas (PSM);
- Fornecer subsídios para o manejo sustentável da espécie, contribuindo para sua conservação e exploração econômica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Caracterização da espécie *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish.

A *Eremanthus erythropappus*, popularmente conhecida como candeia, é uma espécie arbórea da família Asteraceae, nativa do Brasil. No território nacional, sua ocorrência abrange os estados da Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, onde é encontrada nos biomas Cerrado e Mata Atlântica. No estado de Minas Gerais, é predominantemente registrada na região Sul (Scolforo *et al.*, 2008). Em menor proporção, a espécie também é registrada em Goiás, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e no Distrito Federal. Além das fronteiras brasileiras, há evidências de povoamentos de candeia em países da América do Sul, como no Nordeste da Argentina e nas regiões Norte e Leste do Paraguai (Carvalho, 1994).

Uma característica peculiar da *Eremanthus erythropappus* é o seu ambiente natural de ocorrência, localizado em áreas com altitude de 900 a 1.700 m, associadas a solos com textura média à arenosa e de baixa fertilidade (Scolforo *et al.*, 2012). Nas áreas de ocorrência em Minas Gerais, especialmente ao sul do estado, o clima predominante é classificado, segundo Köppen, como mesotérmico úmido do tipo CWB, tropical de altitude, com verões suaves. A temperatura do mês mais quente varia entre 22°C e 30°C, dependendo da altitude do local. A temperatura média anual oscila entre 18°C e 20°C, enquanto a precipitação média anual varia entre 1.400 e 1.500 mm (Aparecida *et al.*, 2008; Scolforo *et al.*, 2012).

A espécie também se desenvolve rapidamente em áreas abertas, formando agrupamentos mais ou menos homogêneos. O mesmo ocorre dentro da floresta quando há alguma perturbação, por ser uma espécie heliófila que se beneficia da entrada de luz. Trata-se de uma árvore cuja altura varia de 2 a 10 metros, e cujo diâmetro pode atingir até 35 centímetros (Scolforo *et al.*, 2012).

A madeira aparenta uma cor branco-acinzentada, com grã mais escura, resistente ao corte mecânico, compacta, com uma impermeabilidade à umidade e à putrefação, moderadamente pesada e lisa. Os anéis de crescimento são distintos e facilmente observados; porém, o alburno e o cerne são pouco distintos a olho nu. Seu peso específico é de 0,91 g cm⁻³; portanto, é uma espécie com densidade elevada – sobretudo a densidade aparente, em condições de uso da madeira, com 0,98 g cm⁻³ (Mori; Mori; Mendes, 2010).

As flores da candeia são hermafroditas e se destacam em inflorescências de cor púrpura nas extremidades dos ramos. O tronco dessa árvore possui uma casca grossa e cheia de fendas

no fuste, e, nos galhos mais novos, a casca torna-se menos rústica. As folhas possuem uma característica marcante, que é a dupla coloração, ou seja, na parte superior são verdes e glabras, enquanto na parte inferior possuem um tom branco, tomentoso e aveludado, facilitando a identificação da espécie mesmo à distância (Araújo, 1944; Corrêa, 1931; Dutra *et al.*, 2010).

Quando adulta, a candeia começa a desenvolver os botões florais em março. As flores se abrem entre maio e agosto, no período mais seco e frio, com o pico de floração ocorrendo no mês de julho. A frutificação, por sua vez, coincide com o aumento da temperatura e da intensidade do vento (agosto a novembro), iniciando-se em alguns indivíduos nesse período e apresentando o pico entre os meses de setembro e outubro, quando se dá a dispersão de sementes ou aquênios (CETEC, 1994; Vieira *et al.*, 2009).

O fruto é do tipo aquênio, com superfície cilíndrica e dez arestas, de cor pardo-escura, com aproximadamente 2 mm de comprimento, e cada fruto contém uma única semente (Pérez, 2001). O embrião possui cotilédones carnosos de cor amarelo-clara e um eixo hipocótilo-radícula curto e cilíndrico. Estudos anteriores demonstraram que sementes do gênero *Eremanthus* apresentam baixo percentual de germinação (Tonetti, 2004). Segundo Tonetti, Davide e Silva (2006), as sementes de *Eremanthus erythropappus* apresentam baixa qualidade fisiológica em sua condição natural, com a ocorrência expressiva de sementes vazias no momento da dispersão.

Para solucionar essa problemática de qualidade seminal, Tonetti, Davide e Silva (2006) propuseram e validaram metodologias para a avaliação e o beneficiamento das sementes. Dentre os métodos, destacam-se a utilização de raios X para identificação de sementes com embrião, e o uso de sopradores de sementes (modelo South Dakota) para a eficiente separação das sementes vazias. Com a remoção das sementes vazias, os estudos demonstraram que a porcentagem de germinação das sementes de candeia pode ser substancialmente elevada, atingindo altos índices, e que a germinação ótima ocorre sob alternância de temperatura (20-30°C).

Apesar da viabilidade da germinação de sementes beneficiadas, a propagação vegetativa surge como uma alternativa complementar e estratégica. Estudos de resgate de matrizes selecionadas e enraizamento de estacas, conduzido por Melo, Davide e Teixeira (2012), evidenciam que essa técnica é viável para a multiplicação de *Eremanthus erythropappus*, apresentando resultados promissores na porcentagem de enraizamento das estacas. Diante disso, a seleção de matrizes com genótipos superiores de *Eremanthus erythropappus* e a utilização de técnicas de propagação vegetativa tornam-se cruciais, abrindo a possibilidade de implantação

de plantios clonais para fins comerciais e para a formação de PSM a partir de material geneticamente superior.

3.2 Melhoramento de espécies florestais nativas: a candeia como proposta de espécie alternativa

Os estudos de melhoramento genético florestal no Brasil ganharam força no início da década de 1940 e foram conduzidos pelo Instituto de Florestal de São Paulo (IF/SP). Esse período estimulou o cultivo de dois gêneros florestais exóticos: *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp., marcando o início da Silvicultura Intensiva. Esses programas iniciais de melhoramento tinham diversos objetivos, tais como melhorar a uniformidade das plantações, reduzir o número de falhas, melhorar a forma do fuste, dentre outros. O objetivo principal era atender à demanda por sementes melhoradas e elaborar estudos de espécies/procedências e de implantação/manejo de florestas (Ferreira; Santos, 1997; Santos, 2008; Siqueira *et al.*, 1993). No entanto, foi somente na década de 1960 que houve o aumento de plantios florestais, estimulados pelas leis de incentivos fiscais do governo ao reflorestamento e ao suprimento de matéria-prima de madeira (Resende, 2002).

Com o incentivo ao melhoramento genético de espécies florestais exóticas, essas técnicas também foram aplicadas a espécies nativas. A participação de instituições como o Instituto de Pesquisa Florestal (IPEF), a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), a Universidade de São Paulo (USP), o IF/SP, a Sociedade de Investigações Florestais (SIF), a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a UFLA, a Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP), o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) desempenhou um papel importante nesse processo, dada a impossibilidade de se separar ações de melhoramento das ações de conservação de recursos genéticos florestais.

A participação conjunta dessas instituições teve como meta a coleta de sementes dos remanescentes de espécies florestais nativas para o estabelecimento de populações-base para a conservação da variabilidade genética. Cada Instituição ficou encarregada de trabalhar com determinadas espécies, tendo sido estabelecidas populações-base de *Johanesia princeps*, *Aspidosperma polyneuron*, *Araucaria angustifolia*, *Astronium urundeuva*, *Peltophorum dubium*, *Machaerium vilosum*, *Dipterix alata*, *Plathymentia foliolosa*, *Zeyheria tuberculosa* e *Mimosa scabrella* (Lopes *et al.*, 2011; Shimizu *et al.*, 1982). Para as espécies nativas, durante

o mesmo período, o IF/SP começou a realizar alguns ensaios com espécies florestais brasileiras, focando apenas em estudos de características silviculturais (Siqueira *et al.*, 1993).

Portanto, de modo geral, os estudos de melhoramento genético de espécies florestais nativas começaram por volta de 1975, com a criação de programas para várias espécies, principalmente da Amazônia. No entanto, a maioria dos ensaios foi interrompida e, mais tarde, abandonada devido a problemas na fase inicial de implantação, como a falta de literatura técnica para uma avaliação precisa do estado atual das espécies em estudo, além da escassez de recursos e outros fatores (Oliveira, 2007).

O avanço nas políticas ambientais e a conscientização da população em relação à preservação ambiental pautaram a necessidade de manejo econômico de espécies florestais nativas. Isso inclui a criação de programas que buscam conhecimento específico sobre determinadas espécies, como a candeia, considerando seus aspectos ecológicos, produtivos e tecnológicos relacionados a sementes e mudas (Scolforo *et al.*, 2012).

Um programa de melhoramento de espécies nativas abrange a seleção da população-base, a definição de métodos para agrupar os caracteres desejados nos indivíduos melhorados, a produção em escala de material reprodutivo e, fundamentalmente, a preservação da base genética para a sustentabilidade do programa. Apesar das complexidades conceituais e práticas, os métodos de melhoramento genético aplicados a plantas nativas não divergem daqueles utilizados em espécies exóticas, desde que as abordagens mais adequadas sejam selecionadas para cada situação (Avelar, 2018).

Portanto, considerando os recursos disponíveis, a dimensão da implantação e os objetivos, o programa de melhoramento genético oferece várias opções de métodos e estratégias bem definidas, planejadas a curto, médio e longo prazo. Assim, a partir da estratégia adotada, busca-se obter uma população ou genótipos superiores para as características de interesse (Assis, 1996; Oda *et al.*, 2007; Santos, 2008).

Considerando os aspectos ecológicos e econômicos da candeia, foram feitos diversos estudos visando ao melhoramento genético e à conservação da espécie (Almeida *et al.*, 2024; Avelar, 2018; Melo, 2012; Nascimento, 2015). Na UFLA, por exemplo, no ano de 2000 foram feitos os primeiros estudos pelo Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF/UFLA), com o objetivo de facilitar o desenvolvimento do manejo sustentável da candeia e subsidiar sistemas de produção em plantios comerciais, em parceria com outras instituições e empresas (Araújo *et al.*, 2018).

O primeiro trabalho de modelagem de *Eremanthus erythropappus* foi realizado por Scolforo *et al.* (2004), em fragmentos nativos da região de Aiuruoca, Minas Gerais, estendendo-

se às cidades de Carrancas, Delfim Moreira, Morro do Pilar, Baependi, entre outras. No mesmo estado, muitos trabalhos – monografias, dissertações, teses e artigos – relacionados à espécie foram gerados recentemente. Dessa forma, considera-se importante a continuidade dos estudos sobre a espécie para seleção genética e simulações de cenários, a fim de estimar ganhos com materiais de interesse para a produção econômica (Araújo *et al.*, 2018). Para isso, é essencial entender e testar a variabilidade genética existente nas populações da espécie.

3.3 Teste de procedências e progênies

Segundo Ferreira e Araújo (1981), o termo “procedência” indica a localização geográfica e ambiental dos povoamentos fornecedores de materiais reprodutivos, tais como sementes, pólen ou propágulos vegetativos. Muitas vezes, é associado também à origem do material, especialmente para essências florestais nativas. Os testes de progênies são conceituados como sendo a avaliação de um indivíduo com base na performance dos seus descendentes, e, quando realizados para espécies florestais perenes, possibilitam a comparação dos progenitores em suas várias gerações, sem que haja perda das árvores-matrizes, permitindo a seleção daquelas superiores para promover sua recombinação (Falconer, 1987; Oliveira, 1998).

A utilização dos testes de procedências e progênies é fundamental para o melhoramento de espécies florestais. Seu objetivo é aumentar o tamanho das populações nativas e conservar as árvores ameaçadas em povoamentos naturais. Além disso, eles fornecem condições para a escolha precisa das melhores fontes de sementes, permitindo a identificação dos caracteres genéticos e ambientais que causam a variação fenotípica entre árvores de diferentes regiões geográficas (Estopa *et al.*, 2006; Falk; Holsinger, 1991; Oda *et al.*, 2007; Santos, 2008).

Os ensaios de procedências permitem localizar, de maneira mais precisa e econômica, as procedências que podem formar florestas bem adaptadas e produtivas. Além disso, esses ensaios possibilitam o estabelecimento de plantios para a produção de sementes recombinadas com qualidade genética e fisiológica adequada, garantindo a continuidade do programa de melhoramento. Esses testes também representam uma oportunidade para explorar o potencial genético de espécies, procedências, populações ou genótipos (Burley, 1969; Oda *et al.*, 2007).

Por outro lado, os testes de progênies são estabelecidos em plantios sistematizados, com delineamentos específicos, desempenhando um papel crucial na conservação e no melhoramento de uma espécie. Cada árvore é cuidadosamente identificada quanto à sua origem, seja em relação à população, seja ao respectivo genitor. Esses testes, ao fornecerem dados

detalhados sobre o desempenho fenotípico e genético das famílias, permitem a seleção das progênies mais produtivas e com maior estabilidade fenotípica (Avelar, 2018; Pires, 1996). Para a estimativa de parâmetros genéticos, como coeficientes de variação genética, herdabilidade, acurácia seletiva e ganhos de seleção, é essencial que os testes incluam um número adequado de repetições. Dessa forma, obtém-se precisão e confiabilidade nas estimativas, promovendo a seleção e a conservação eficazes dos materiais genéticos (Canuto *et al.*, 2015).

Para a candeia, recomenda-se a seleção e o cruzamento de indivíduos promissores visando à obtenção de progênies superiores (Fonseca *et al.*, 2012). No entanto, a complexidade genética da espécie e as interações entre genótipos e ambientes devem ser consideradas para garantir resultados efetivos em seu melhoramento genético (Soares *et al.*, 2019) e na continuidade do programa de melhoramento desenvolvido pela UFLA (Almeida, 2022; Avelar, 2018; Melo, 2012; Nascimento *et al.*, 2015).

3.4 Seleção via modelo REML/BLUP

Para a avaliação da predição dos valores genéticos e a seleção no melhoramento genético de espécies florestais perenes, com foco no ganho em produtividade e na conservação da variabilidade genética, o programa genético-estatístico SELEGEN é recomendado. Embora outras ferramentas estejam disponíveis para análises genéticas, o SELEGEN destaca-se pela sua praticidade e por ser amplamente utilizado em estudos com espécies perenes, conforme Resende (2002), sendo também empregado em pesquisas com a mesma espécie de interesse, como as de Pires *et al.* (2011) e Avelar (2018). O SELEGEN utiliza o método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viesada) (Resende, 2016).

Para selecionar plantas como a candeia em um programa de melhoramento que visa aos ganhos genéticos para futuras gerações e à formação de PSM, é essencial utilizar os valores genéticos aditivos. Esses valores representam a porção da variação genética que é diretamente transmitida aos descendentes e é fixável por seleção e recombinação, sendo a base para o progresso genético esperado. A técnica empregada pelo REML/BLUP combina a predição desses valores genéticos com a estimativa de variâncias simultaneamente (Resende, 2002). O método mais indicado para isso é o BLUP (melhor predição linear não viesada), que utiliza estimativas de variâncias obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML), destacando-se por sua capacidade de lidar com dados desbalanceados e aumentar a precisão seletiva, o que é importante para a seleção e a conservação da variabilidade genética (Resende, 2002).

O REML/BLUP, conhecido como modelo misto, corrige dados para efeitos ambientais e permite comparar indivíduos ao longo do tempo e espaço, aumentando a precisão seletiva e o ganho genético. Essa abordagem desdobra a variação fenotípica em componentes genéticos, ambientais e de interação genótipos-ambiente (Resende; Duarte, 2007). É mais eficaz do que a ANOVA, especialmente quando aplicada a dados desbalanceados, como perdas de plantas ou parcelas e quantidades desiguais de mudas por tratamento (Resende; Duarte, 2007).

Além disso, o REML/BLUP oferece uma avaliação precisa dos valores fenotípicos, permitindo o uso simultâneo de várias fontes de variação, como atributos residuais e número de repetições, em experimentos realizados em diferentes locais (Lopes *et al.*, 2011; Resende; Duarte, 2007). Dessa forma, os resultados mostram-se eficientes para a seleção de progênieis promissoras e o avanço dos programas de melhoramento genético.

4 MATERIAL E MÉTODOS

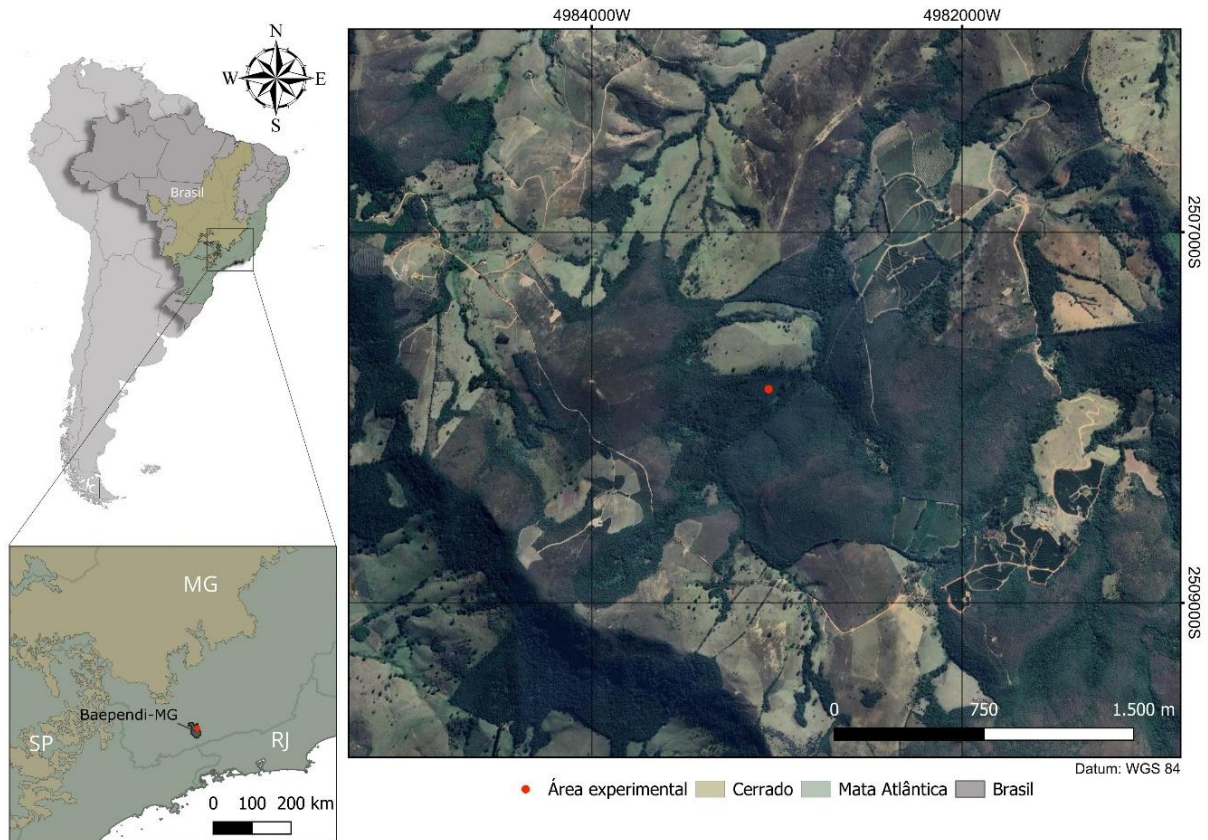
4.1 Área de estudo

Foi realizada, em 2009, uma seleção de indivíduos da espécie *Eremanthus erythropappus* em um teste de procedências e progênieis localizado no município de Baependi – MG, conforme detalhado por Melo (2012). A seleção serviu de base para a coleta de sementes em 2015, a partir das quais foram produzidas mudas e estabelecido um novo teste de progênieis.

O novo experimento, foco deste estudo, foi implantado em 2018, na zona rural de Baependi (Figura 1), em uma área de 6562 m², sob as coordenadas -21°58'09.58" S e -44°45'48.35" O. O delineamento adotado foi em blocos casualizados, com cinco repetições e parcelas lineares compostas por seis plantas, totalizando 35 progênieis e 1.050 indivíduos, com espaçamento de 2,5 × 2,5 m.

O município de Baependi integra a microrregião do Circuito das Águas, no Sul de Minas Gerais, e possui clima classificado como Cwb, segundo Köppen (tropical de altitude), caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. A temperatura média anual varia entre 18°C e 19°C, enquanto a precipitação média anual é de aproximadamente 1.400 mm, com chuvas mais concentradas entre dezembro e março e um período seco abrangendo os meses de junho, julho e agosto (Sá Júnior, 2009).

Figura 1 – Mapa de localização do teste de progênies de *Eremanthus erythropappus*, no município de Baependi, Sul de Minas Gerais



Fonte: Do autor (2025).

4.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada em dezembro de 2023, cinco anos após a implantação do experimento, sendo avaliados os percentuais de sobrevivência (SOB%), a altura das plantas (ALT), medida com régua graduada em metros (m), e a circunferência do tronco a 1,30 m do solo, obtida com fita métrica e, posteriormente, convertida para o diâmetro à altura do peito (DAP, em cm), utilizando a fórmula $DAP = CAP \div \pi$, em que CAP corresponde à circunferência à altura do peito e π representa a constante matemática, aproximadamente igual a 3,1416. Em seguida, o volume de madeira individual foi estimado com base na equação polinomial de volume de Meyer, ajustada especificamente para plantios de *Eremanthus erythropappus* (Páscoa *et al.*, 2014), considerando apenas o fuste principal, com os seguintes coeficientes:

$$V = -0,0703948 + 0,0181716 * DAP - 0,00111293 * DAP^2 - 0,00297564 * DAP * H + 0,000213736 * DAP^2 * H + 0,0125046 * H$$

$$R^2 (\%) = 94,65; S_{xy}(\%) = 18,15$$

Sendo: V = volume de madeira individual (m^3); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); H = altura (m); R^2 (%) coeficiente de regressão do modelo; S_{xy} (m^3) = desvio padrão do erro. A equação e seus parâmetros foram ajustados a partir de dados de plantios de candeia (Páscoa *et al.*, 2014). A Figura 2 apresenta a etapa de coleta de dados em campo, referente às características avaliadas no experimento.

Figura 2 – Coleta em campo das características de crescimento (circunferência à altura do peito - CAP e altura) e de sobrevivência, em teste de progênie de *Eremanthus erythropappus*, em Baependi, MG, em dezembro de 2023.



Fonte: Do autor (2023).

4.3 Estimativa de parâmetros genéticos e seleção via modelo REML/BLUP para o melhoramento e conservação.

As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas pela metodologia do modelo linear misto via REML/BLUP, por meio do *software* SELEGEN (Resende, 2016). Foi utilizado o modelo 1, que se aplica a progênies de polinização aberta (meios-irmãos), com delineamento em blocos completos, em um local, com uma única avaliação de dados e várias plantas por parcela, de acordo com o modelo estatístico (Resende; Duarte, 2007):

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

Em que: “y” é o vetor de dados; r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral; “a” é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios); “p” é o vetor dos efeitos de parcela; “e” é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para cada um dos caracteres avaliados, foi testada a significância pelo teste da razão de máxima verossimilhança (LRT), obtido com base na diferença entre as *deviances* encontradas no modelo completo e naquela encontrada no mesmo modelo com ausência do efeito correspondente às progênies. Em seguida, foram calculados os seguintes parâmetros genéticos:

Tabela 1 – Fórmulas e descrição dos parâmetros genéticos estimados para *Eremanthus erythropappus*.

Parâmetro	Fórmula	Descrição
V_a	V_a	Variância genética aditiva.
V_{parc}	V_{parc}	Variância ambiental entre parcelas.
V_e	V_e	Variância residual (ambiental + não aditiva).
V_f	$V_f = V_a + V_{\text{parc}} + V_e$	Variância fenotípica individual.
h^2_a	$h^2 = \frac{V_a}{V_f}$	Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos.
h^2_{aj}	$h^2_{aj} = \frac{V_a}{V_a + V_e}$	Herdabilidade individual no sentido restrito ajustada aos efeitos de parcela.
c^2_{parc}	$c^2_{\text{parc}} = \frac{V_{\text{parc}}}{V_f}$	Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela.
h^2_{mp}	$h^2_{mp} = \frac{V_a}{V_a + \frac{V_{\text{parc}}}{b} + \frac{V_e}{br}}$	Herdabilidade da média de progênes, assumindo sobrevivência completa.
A_{cprog}	$Acprog = \sqrt{h^2_{mp}}$	Acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa.
h^2_{ad}	$h^2_{ad} = \frac{V_a}{V_a + V_e}$	Herdabilidade aditiva dentro de parcela.
$CV_{gi}\%$	$CVgi(\%) = \frac{\sqrt{V_a}}{\bar{x}} \times 100$	Coeficiente de variação genética aditiva individual.
$CV_{gp}\%$	$CVgp(\%) = \frac{\sqrt{V_g}}{\bar{x}} \times 100$	Coeficiente de variação genotípica entre progênes.
$CV_e\%$	$CVe(\%) = \frac{\sqrt{V_e}}{\bar{x}} \times 100$	Coeficiente de variação residual.
CV_r	$CVr = \frac{CVgp}{CVe}$	Coeficiente de variação relativa.
PEV	$PEV = (1 - Acprog^2)V_a^2 * n$	Variância do erro de predição dos valores genotípicos de progênie, assumindo sobrevivência completa.
SEP	$SEP = \sqrt{PEV}$	Desvio padrão do valor genotípico predito de progênie, assumindo sobrevivência completa.
$\bar{x}$	$\bar{x}$	Média geral do experimento.

Fonte: Do autor (2025).

Para delimitar as estratégias de seleção e garantir a conservação da variabilidade genética, foram avaliadas as intensidades de seleção de 15%, 30% e 45%. A seleção foi

realizada tanto no nível de indivíduos dentro das famílias quanto no nível entre famílias. Essa abordagem visou maximizar o ganho genético, assegurando um tamanho efetivo populacional (N_e) adequado, superior a 50 indivíduos, fundamental para mitigar os riscos de endogamia e manter a sustentabilidade do programa de melhoramento a longo prazo, conforme descrito por Vencovsky (1986). O fluxograma que ilustra as etapas metodológicas da pesquisa está apresentado na Figura 3.

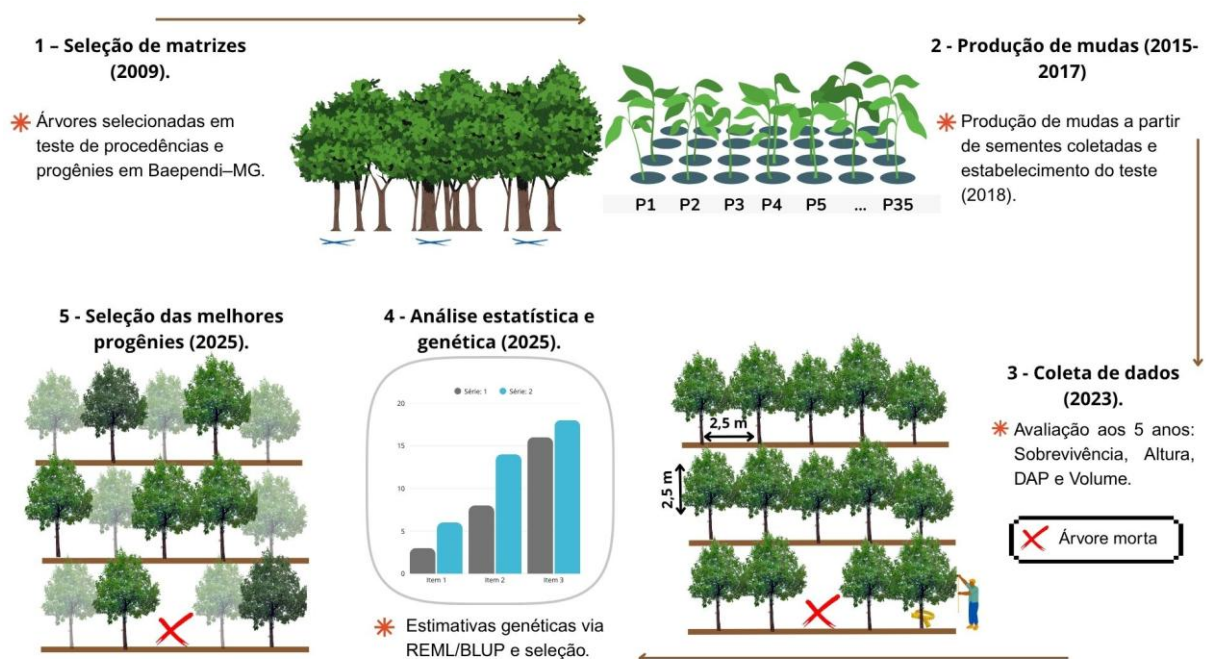


Figura 3 – Fluxograma representativo das etapas metodológicas da pesquisa com progênies de *Eremanthus erythropappus* (candeia), em Baependi-MG. (1) A etapa inicial consistiu na seleção de matrizes em testes de procedências e progênies, realizada em 2009. (2) Posteriormente, foram efetuadas a coleta de sementes nas matrizes selecionadas e a produção de mudas, organizadas de forma separada e identificadas por progênies, entre os anos de 2015 e 2017, com a implantação do teste de progênies realizada em 2018. (3) A avaliação das características de sobrevivência, altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e volume de madeira foi realizada aos cinco anos de idade. (4) A análise estatística foi conduzida com base no modelo REML/BLUP, visando à estimativa de parâmetros genéticos e à identificação de genótipos superiores para compor estratégias de conservação e melhoramento genético da espécie. (5) Por fim, realizou-se a seleção dos melhores genótipos (árvores) para compor o pomar de sementes por mudas (PSM).

Fonte: Do autor (2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teste de significância dos efeitos

Os resultados do teste da razão de verossimilhança (LRT) revelaram significância estatística e, conseqüentemente, a existência de variabilidade genética significativa para as variáveis ALT e DAP no teste de progênies de *Eremanthus erythropappus* (Tabela 2). No entanto, para as variáveis SOB e VOL de madeira, os efeitos genéticos não foram significativos. Esses valores foram testados em comparação com o valor crítico do qui-quadrado a 5% de probabilidade de erro, que é de 3,84. A não significância de SOB e VOL implica que a variabilidade observada nessas características é mais influenciada por fatores não genéticos ou pelo acaso do que por diferenças herdáveis entre as progênies nesse estágio de avaliação. A significância estatística observada para ALT e DAP, em particular, evidencia o potencial para a seleção de genótipos superiores, corroborando estudos anteriores (Almeida *et al.*, 2024; Avelar, 2018; Resende, 2002).

Tabela 2 – Análise de deviance (ANADEV) para sobrevivência (SOB), altura (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume de madeira (VOL) de progênies de *Eremanthus erythropappus*, aos cinco anos de idade em Baependi, Sul de Minas Gerais

Teste	SOB	ALT	DAP	VOL
LRT	0,15ns	255,67*	90,90*	0,70ns
X ² (5%)	3,84	3,84	3,84	3,84
Média geral	90,38	5,65	10,26	0,03

LRT = Teste da razão de verossimilhança, com distribuição χ^2 com 1 grau de liberdade; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de qui-quadrado, ns: não significativo.

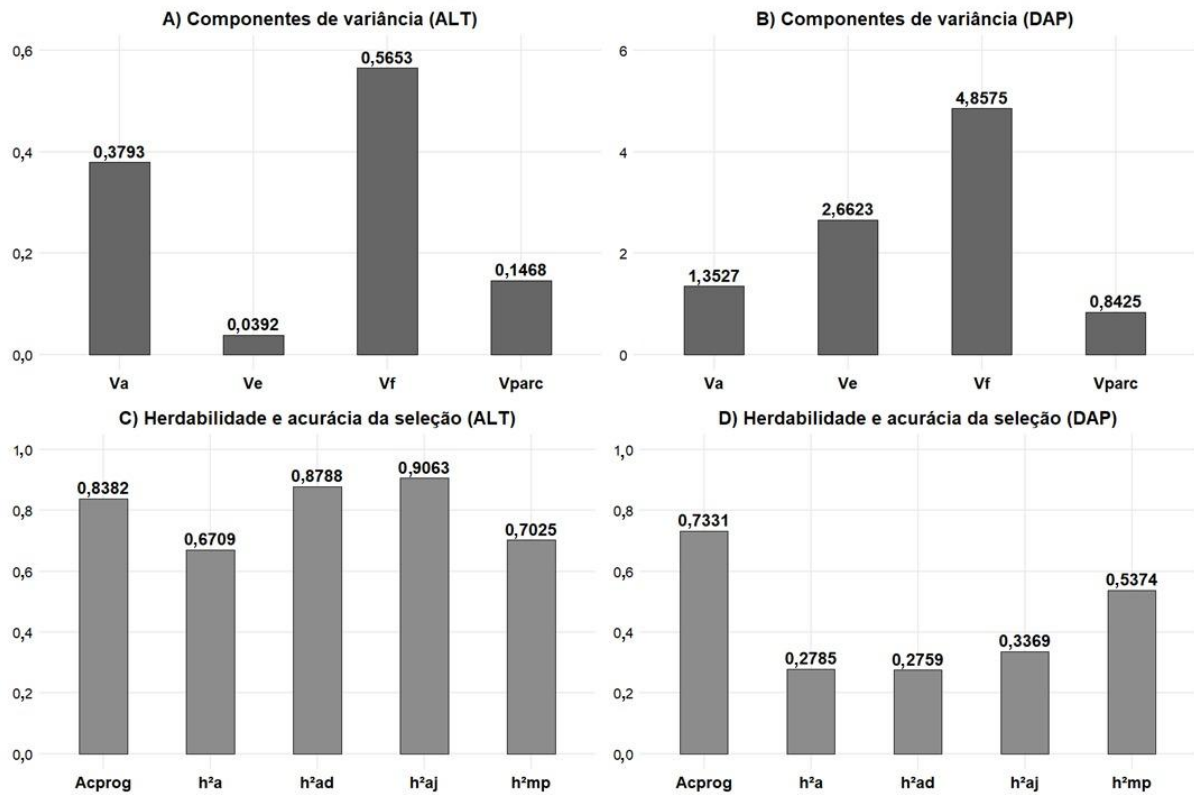
Fonte: Do autor (2025).

Para as variáveis SOB e VOL, que não apresentaram variabilidade genética significativa (Tabela 2), os valores médios observados no experimento foram de 90,38% e 0,03 m³, respectivamente. Portanto, a análise subsequente concentrar-se-á em ALT e DAP, as únicas características que manifestaram potencial genético para seleção.

5.2 Componentes de variância e parâmetros genéticos principais ALT e DAP

Os resultados dos componentes de variância e dos principais parâmetros genéticos estimados para as variáveis ALT e DAP são apresentados visualmente nas Figuras 4 e 5.

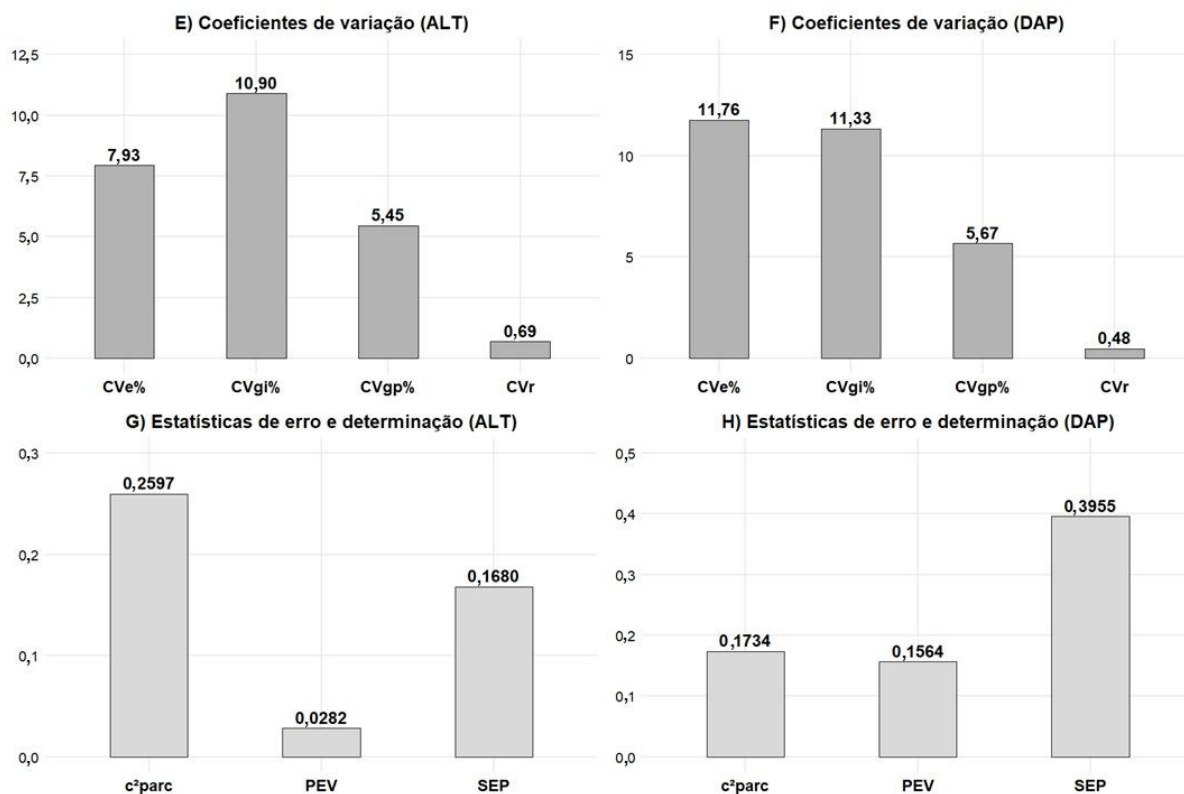
Figura 4 – Representação gráfica dos componentes de variância e das herdabilidades e acurácia da seleção para os caracteres altura (ALT) e diâmetro à altura do peito (DAP) em progênes de *Eremanthus erythropappus*, aos cinco anos de idade, em Baependi – MG.



Os gráficos apresentam os seguintes parâmetros: Va (variância genética aditiva), Ve (variância residual), Vf (variância fenotípica individual total), Vparc (variância ambiental entre parcelas), Acprog (acurácia da seleção de progênes), h²a (herdabilidade individual no sentido restrito), h²ad (herdabilidade aditiva dentro de parcela), h²aj (herdabilidade individual no sentido restrito, ajustada para os efeitos de parcela) e h²mp (herdabilidade da média de progênes).

Fonte: Do autor (2025).

Figura 5 – Representação gráfica dos coeficientes de variação e das estatísticas de erro e determinação para os caracteres altura (ALT) e diâmetro à altura do peito (DAP) em progênies de *Eremanthus erythropappus*, aos cinco anos de idade, em Baependi – MG.



Os gráficos apresentam os seguintes parâmetros: CVe% (coeficiente de variação residual), CVgi% (coeficiente de variação genética individual), CVgp% (coeficiente de variação genotípica entre progênies), CVr (coeficiente de variação relativa), c²parc (coeficiente de determinação dos efeitos de parcela), PEV (variância do erro de predição) e SEP (desvio padrão do valor genotípico predito).

Fonte: Do autor (2025).

A análise detalhada desses parâmetros é fundamental para compreender a estrutura da variabilidade genética e seu potencial de resposta à seleção em programas de melhoramento.

Na Figura 4, são ilustrados os componentes de variância e os parâmetros de herdabilidade e acurácia de seleção. Para a ALT, a variância genética aditiva (V_a) foi estimada em 0,38, indicando a porção da variação fenotípica que é herdável e pode ser utilizada na seleção. A herdabilidade no sentido restrito (h^2_a) foi de $0,67 \pm 0,15$, um valor considerado alto segundo os critérios de Resende (2000), o que sugere que uma grande parte da variação na altura é de origem genética e, portanto, responsiva à seleção. A acurácia da seleção (Ac_{prog}) para ALT foi de 0,84, o que demonstra uma alta precisão nas estimativas dos valores genéticos e, consequentemente, na capacidade de predizerem o desempenho dos indivíduos.

Para o DAP, a variância genética aditiva (V_a) foi estimada em 1,35, valor que reflete a variabilidade genética disponível para a seleção dessa característica. A herdabilidade no sentido restrito (h^2_a) foi de 0,28, indicando que 28% da variação observada no DAP é de natureza aditiva. A acurácia da seleção (Ac_{prog}) para DAP foi de 0,73, um valor considerado moderadamente alto, reforçando a confiabilidade das estimativas genéticas para essa característica. Os demais componentes de variância (variância de parcela – V_{parc} , variância residual – V_e e variância fenotípica total – V_f) e outros parâmetros de herdabilidade (herdabilidade ajustada – h^2_{aj} , herdabilidade no sentido amplo direta – h^2_{ad} , e herdabilidade da média de progênes – h^2_{mp}), para ambas as características, estão visualmente detalhados na Figura 4.

Complementarmente, a Figura 5 apresenta os coeficientes de variação e as estatísticas de erro e determinação para ALT e DAP. Os coeficientes de variação incluem o residual ($CV_e\%$), genético individual ($CV_{gi}\%$), genético de parcela ($CV_{gp}\%$) e relativo (CV_r). As estatísticas de erro e determinação englobam o coeficiente de determinação de parcela (c^2_{parc}), a variância do erro de predição (PEV) e o erro padrão da predição (SEP). Esses gráficos fornecem uma compreensão completa da partição da variabilidade observada no experimento e da precisão das estimativas.

5.2.1 Potencial de seleção e variabilidade genética aditiva para ALT e DAP.

Para a ALT, a V_a foi estimada em 0,38. Para o DAP, a V_a foi estimada em 1,35. A V_a é um parâmetro fundamental em programas de melhoramento genético, pois quantifica a porção da variância fenotípica total que pode ser herdada e, conseqüentemente, explorada pela seleção. Ela representa a capacidade de transmissão de características de interesse dos genitores para suas progênes, sendo crucial para prever o sucesso da seleção em gerações futuras. O valor de V_a para ALT (0,38) é um indicativo do potencial de ganhos genéticos para essa característica no programa de melhoramento da candeia. A V_a para DAP (1,35) demonstra a presença de variabilidade genética aditiva considerável, indicando que a seleção para essa característica é viável e pode gerar ganhos expressivos. Conforme Resende (2002), o valor de V_a apresentado no presente estudo para DAP está entre moderado e alto, indicando um potencial para ganhos por seleção direta. Em comparação, a V_a para DAP é significativamente superior à da ALT, apresentando os valores de 1,35 e 0,38, respectivamente. Essa disparidade indica um potencial de avanço genético mais expressivo para o diâmetro, o que o torna um caráter altamente responsivo à seleção direta.

Em comparação com estudos anteriores sobre a mesma espécie, Almeida *et al.* (2024) relataram uma V_a inferior (0,12) para ALT aos 11 anos de idade. Essa diferença pode ser atribuída a variações na idade de avaliação ou nas condições ambientais específicas de cada experimento, bem como à variabilidade genética inerente aos materiais genéticos utilizados.

Outros estudos com espécies florestais nativas e exóticas também evidenciaram variabilidade na V_a . Santos, Rosado e Oliveira (2014) registraram uma V_a de 0,33 para ALT em progênes de *Dipteryx alata* aos 64 meses de idade, valor próximo ao do presente estudo, corroborando a relevância da V_a para ALT. Por outro lado, Santos *et al.* (2021) identificaram uma V_a maior (1,94) ao estudar *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* aos 54 meses de idade.

Em *Eucalyptus* spp., Tambarussi *et al.* (2017) encontraram V_a para ALT variando de 0,08 a 12,12 em indivíduos de 3 a 5 anos, um intervalo superior ao observado no presente estudo. Avelar *et al.* (2021) relataram uma V_a de 474,33 para ALT em *Eremanthus erythropappus* aos 30 meses, um valor superior ao da presente pesquisa, equivalente a 379,3. A magnitude da V_a é variável entre espécies, idades e condições experimentais, ressaltando a importância de estudos contínuos para a compreensão da dinâmica da variabilidade genética aditiva.

Comparativamente, para o DAP, Almeida *et al.* (2024) e Santos, Rosado e Oliveira (2014) encontraram valores de V_a inferiores (0,36 e 0,90, respectivamente). Por outro lado, Soares *et al.* (2017) reportaram valores superiores (2,61 a 4,17) em diferentes locais de seus experimentos com *Eucalyptus saligna*, sugerindo que a V_a pode ser influenciada pelas condições ambientais específicas de cada sítio. A presença de variabilidade genética aditiva tanto para ALT quanto para DAP é um pilar para o avanço do programa de melhoramento de *Eremanthus erythropappus*, permitindo a identificação e seleção de genótipos superiores para futuras gerações.

5.2.2 Variâncias ambientais e controle experimental

Para a ALT, a variância de parcela (V_{parc}) foi estimada em 0,14, a variância residual (V_e) em 0,04 e a variância fenotípica total (V_f) em 0,56. Para o DAP, a V_{parc} foi estimada em 0,84, a V_e em 2,66 e a V_f em 4,85.

A análise das variâncias ambientais é essencial para compreender a influência de fatores não genéticos sobre as características fenotípicas e para avaliar a eficácia do delineamento

experimental. A V_{parc} reflete a contribuição do ambiente específico de cada parcela para a expressão da característica, enquanto a V_e engloba os erros não controlados e a variabilidade não explicada pelos efeitos genéticos ou de parcela. A soma de todas as variâncias (genéticas e ambientais) resulta na V_f (Resende, 2002).

A baixa magnitude dos componentes ambientais (V_{parc} e V_e) para ALT reforça a qualidade do delineamento experimental adotado, o que contribui para maior precisão na estimativa dos parâmetros genéticos. Esse controle experimental é fundamental para garantir que os valores genéticos preditos reflitam, de fato, a capacidade dos indivíduos – e não flutuações causadas por fatores externos. Comparativamente, estudos anteriores relataram maiores valores para V_{parc} e V_e em ALT (Almeida *et al.*, 2024) (*Eremanthus erythropappus*) e Santos, Rosado e Oliveira (2014) (*Dipteryx alata*).

Por exemplo, Almeida *et al.*, (2024) observaram, para ALT, uma V_{parc} de 0,03 e uma V_e de 0,02, valores que, embora sejam menores do que os encontrados neste trabalho, ainda são referências importantes. Avelar *et al.* (2021), por exemplo, relataram, para *Eremanthus erythropappus*, uma V_{parc} de 265,37 e uma V_e de 1966,29, valores que, embora sejam maiores, ainda são referências importantes. Isso pode estar relacionado a ambientes menos uniformes ou a maiores interferências externas em seus experimentos.

Assim, os resultados obtidos neste estudo indicam condições experimentais favoráveis à precisão seletiva e à confiabilidade nas decisões de melhoramento.

Para o DAP, a V_{parc} foi estimada em 0,84. Esse valor é consideravelmente mais alto do que o observado para ALT, sugerindo uma maior influência da heterogeneidade ambiental entre parcelas sobre o DAP. A V_e para DAP foi de 2,66, também superior à de ALT, o que pode indicar uma maior variabilidade não explicada por fatores genéticos ou de parcela nessa característica. Embora a V_{parc} e a V_e para DAP sejam maiores do que as de ALT, a interpretação da V_f , que é a variância total, deve considerar as magnitudes dos componentes genéticos e ambientais em conjunto.

No presente estudo, a V_f do DAP (4,85) é significativamente menor do que os valores relatados por Soares *et al.* (2017), que variaram de 21,38 a 30,71 com uma média de 25,97 em suas análises conjuntas. Essa diferença sugere que a população de *Eremanthus erythropappus* estudada aqui é menos heterogênea em termos de crescimento do que as populações analisadas

por Soares *et al.* (2017). No entanto, a Vf do presente estudo é superior à de Almeida *et al.*, (2024) (*Eremanthus erythropappus*) (2,01) e Santos, Rosado e Oliveira (2014) (*Dipteryx alata*) (1,80), mas inferior à de Santos, Rosado e Oliveira (2014) (*Dipteryx alata*) em estágios intermediários (20,23). Esses resultados reforçam a ideia de que a variabilidade fenotípica pode ser influenciada tanto por fatores genéticos quanto ambientais, variando conforme a população e o estágio de desenvolvimento.

Apesar da maior variância ambiental para DAP, o controle experimental ainda é considerado adequado, pois a presença de variabilidade genética aditiva (já discutida) e a acurácia seletiva (a ser discutida) ainda indicam potencial de seleção. Assim, os resultados obtidos neste estudo indicam condições experimentais favoráveis à precisão seletiva e à confiabilidade nas decisões de melhoramento.

5.2.3 Herdabilidades e acurácia da seleção

Para a ALT, a herdabilidade no sentido restrito (h^2_a) foi de $0,67 \pm 0,15$, e a acurácia da seleção (Acprog) de 0,84. A herdabilidade no sentido amplo para média de parcelas (h^2_{mp}) foi de 0,70, enquanto no nível individual (h^2_{ad}) chegou a 0,88. Para o DAP, a h^2_a foi de 0,28 e a Acprog de 0,73.

A herdabilidade representa a proporção da variação fenotípica atribuível a efeitos genéticos (Resende, 2002). A h^2_a reflete a variância aditiva e está diretamente associada ao potencial de resposta à seleção. Já a herdabilidade no sentido amplo (h^2_{mp} e h^2_{ad}) abrange efeitos aditivos, de dominância e epistasia (Resende, 2002). A acurácia (Acprog) indica o nível de associação entre o valor genotípico real e o predito, servindo como indicador da confiabilidade da seleção.

A h^2_a para ALT (0,67) é considerada alta para espécies florestais (Resende, 2000), indicando que 67% da variação fenotípica observada para essa característica tem origem aditiva e, portanto, apresenta resposta direta à seleção. Valores elevados de h^2_a são favoráveis para programas de melhoramento, especialmente nas etapas iniciais de seleção, como no presente trabalho com *Eremanthus erythropappus*.

Comparando com a literatura, Almeida *et al.* (2024) obtiveram h^2_a de 0,14 para ALT aos 11 anos para a mesma espécie, enquanto Avelar *et al.* (2021) registraram 0,18 aos 30 meses, ambos abaixo do presente estudo. Santos, Rosado e Oliveira (2014) relataram h^2_a de 0,48 para

ALT em *Dipteryx alata* aos 64 meses, e Tambarussi *et al.* (2017) estimaram valores entre 0,01 e 0,19 para ALT em *Eucalyptus spp.* aos cinco anos. Essas comparações indicam que o valor atual para *Eremanthus erythropappus* está entre os mais altos registrados para essa espécie e para o caráter avaliado.

As estimativas para h^2_{mp} (0,70) e h^2_{ad} (0,88) reforçam que os efeitos genéticos têm influência predominante para ALT neste estudo, mesmo considerando o c^2_{parc} de 0,26. A diferença entre h^2_{mp} e h^2_{ad} reflete o impacto do efeito ambiental e indica boa previsibilidade para ganhos tanto no nível de progênes quanto no nível individual, conforme Resende (2002).

Para o DAP, a h^2_a estimada (0,28) foi menor do que a observada para ALT, o que sinaliza menor controle genético aditivo para essa característica. Comparações com a literatura indicam variações associadas à espécie e ao ambiente experimental: Santos, Rosado e Oliveira (2014) observaram h^2_a de 0,50 para *Dipteryx alata*, enquanto Nogueira *et al.* (2019) relataram 0,55 para *Eucalyptus spp.* Já Soares *et al.* (2017) registraram estimativas inferiores para *Eucalyptus saligna*. Dessa forma, para o DAP nesta população, a seleção genética direta apresenta menor eficiência, mas ainda representa uma alternativa a ser considerada para o avanço no contexto do programa de melhoramento.

5.2.4 Coeficientes de variação e estatísticas de erro e determinação

As progênes de *Eremanthus erythropappus* apresentaram as seguintes médias gerais para as características: altura de 5,65 m e diâmetro à altura do peito (DAP) de 10,26 cm. Para a ALT, o coeficiente de variação genética individual (CVgi%) alcançou 10,90%; o coeficiente de variação de parcela (CVgp%) registrou 5,45%; o coeficiente de variação residual (CVe%) atingiu 7,93%; e o coeficiente de variação relativa (CVr) foi de 0,69%. A variância do erro de predição (PEV) obteve 0,0282 e o erro padrão da predição (SEP) marcou 0,1680. No que diz respeito ao DAP, o coeficiente de variação genética individual (CVgi%) foi de 11,33%, enquanto o coeficiente de variação residual (CVe%) para DAP ficou em 11,76% e o coeficiente de variação relativa (CVr) atingiu 0,50%.

Os coeficientes de variação (CVs) fornecem uma medida da variabilidade relativa de uma característica, sendo úteis para comparar a dispersão dos dados entre diferentes características ou experimentos. O coeficiente de variação genética individual (CVgi%) indica a variabilidade genética disponível para seleção direta, enquanto o coeficiente de variação

residual (CVe%) reflete a magnitude da variabilidade não genética. O coeficiente de variação relativa (CVr) compara a variabilidade genética à variabilidade residual. As estatísticas de erro de predição (PEV e SEP) são indicadores da precisão das estimativas dos valores genéticos, com valores menores indicando maior confiabilidade.

A média de ALT observada neste estudo (5,65 m) é superior ao valor de 1,96 m reportado por Avelar *et al.* (2021) para *Eremanthus erythropappus* aos 30 meses de idade, o que é esperado devido à diferença de idade entre as avaliações. Contudo, é inferior aos 7,27 m observados por Santos *et al.* (2021) para *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* aos 54 meses, uma espécie exótica de rápido crescimento. Para o DAP, a média de 10,26 cm demonstra um desenvolvimento fenotípico adequado para plantios de candeia nessa idade, estando dentro da faixa de crescimento esperada para a espécie.

O CVgi% para ALT (10,90%) demonstra uma boa variabilidade genética aditiva. Esse valor é próximo ao encontrado por Almeida *et al.* (2024), cujo CVgi% foi de 8,23% para altura aos 11 anos para a mesma espécie. Santos, Rosado e Oliveira (2014) reportaram um CVgi% ligeiramente mais elevado (14,85%) para altura em *Dipteryx alata* aos 64 meses, enquanto Avelar *et al.* (2021) encontraram um valor muito próximo (11,09%) para altura em *Eremanthus erythropappus* aos 30 meses. O CVr de 0,69 para ALT indica que a variabilidade genética é menor do que a variabilidade residual, mas ainda significativa. A PEV de 0,0282 e o SEP de 0,1680 indicam boa precisão nas estimativas dos valores genéticos para ALT.

Para o DAP, o CVgi% de 11,33%, embora próximo aos valores encontrados por Soares *et al.* (2017) (10,40% a 14,57%) para *Eucalyptus saligna*, é menor do que os reportados por Santos, Rosado e Oliveira (2014) (18,83%) para *Dipteryx alata* e Nogueira *et al.* (2019) (19,35%) para *Eucalyptus spp.* Esses resultados indicam que a variabilidade genética para DAP é moderada, mas pode ser menor em comparação com outras populações. O CVe% para DAP de 11,76% é inferior aos reportados por Soares *et al.* (2017) (13,54% a 15,78%) para *Eucalyptus saligna* e Nogueira *et al.* (2019) (31,48%) para *Eucalyptus spp.* Isso sugere que a influência ambiental no presente estudo é menor ou mais controlada, aproximando-se dos valores de Santos, Rosado e Oliveira (2014) para *Dipteryx alata*. O CVr de 0,50 para DAP é semelhante ao de Soares *et al.* (2017) para *Eucalyptus saligna*. Esse resultado indica que a variação genética não supera a ambiental neste estudo e em Soares *et al.* (2017), o que reforça a importância da interação entre fatores genéticos e ambientais no planejamento de programas de seleção.

5.2.5 Valores genéticos preditos (BLUPs) e ganhos de seleção para ALT e DAP

A predição de valores genéticos, utilizando o método BLUP (Melhor Predição Linear Não Viesada), é essencial para a seleção de indivíduos e progênes superiores em programas de melhoramento genético. Com base nos valores genéticos aditivos preditos para as características de ALT e DAP, foi possível estimar os ganhos de seleção esperados em diferentes intensidades, bem como o tamanho efetivo populacional (N_e), um indicador importante da variabilidade genética mantida. A população base deste experimento, composta por 35 progênes de meios-irmãos, apresentava um N_e inicial de 70 indivíduos. Os resultados referentes aos valores genéticos preditos e aos ganhos de seleção individual para ALT e DAP em diferentes intensidades são detalhados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores genéticos preditos (BLUPs) e ganhos de seleção para ALT e DAP em diferentes intensidades de seleção individual em progênes de *Eremanthus erythropappus*, aos cinco anos de idade

Característica (valor médio)	Intensidade de seleção (%)	Nº de indivíduos (Nº de progênes)	Nova média	Ganho de seleção (GS)	Tamanho efetivo (N_e)
ALT (5,65 m)	15	157 (29)	6,47 m	0,82 m	50
	30	315 (34)	6,24 m	0,59 m	75
	45	472 (35)	6,08 m	0,43 m	96
DAP (10,26 cm)	15	157 (26)	11,29 cm	1,03 cm	48
	30	315 (33)	11,01 cm	0,75 cm	72
	45	472 (33)	10,80 cm	0,54 cm	89

Fonte: Do autor (2025).

Os valores genéticos preditos e os ganhos de seleção para ALT e DAP em diferentes intensidades de seleção são detalhados na Tabela 3. Observa-se uma clara tendência de que, à medida que a intensidade de seleção diminui (ou seja, mais indivíduos são selecionados), o ganho de seleção (GS) também diminui para ambas as características. Por exemplo, para ALT, a seleção de 15% dos indivíduos resultou em um GS de 0,82 m, enquanto, para uma intensidade de 45%, o GS foi de 0,43 m. Comportamento similar foi verificado para o DAP, em que a intensidade de 15% gerou um GS de 1,03 cm, decaindo para 0,54 cm na intensidade de 45%.

Ao analisar o ganho relativo em todas as intensidades, a altura (ALT) demonstrou maior potencial para avanço genético em comparação com o diâmetro (DAP). Na intensidade de 15%, por exemplo, o ganho relativo para a ALT foi de 14,51%, enquanto para o DAP foi de 10,04%. Essa tendência se manteve para as intensidades de 30% (10,44% para ALT e 7,31% para DAP) e 45% (7,61%

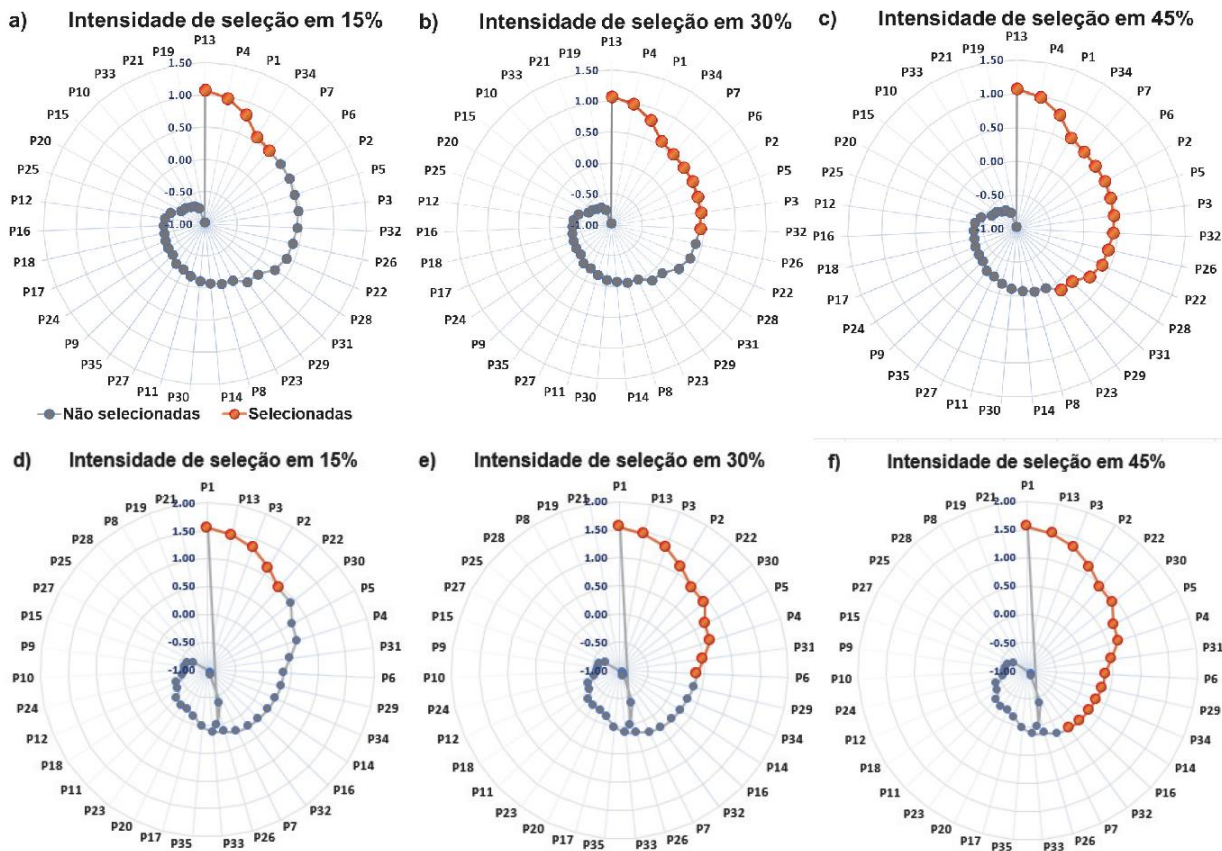
para ALT e 5,26% para DAP). Esse resultado indica que a ALT proporciona um avanço genético proporcionalmente mais expressivo por ciclo em relação à média da característica.

A nova média populacional, após a seleção, reflete diretamente o ganho obtido. Para ALT, a nova média variou de 6,47 m (15% de seleção) a 6,08 m (45% de seleção). Para DAP, a variação foi de 11,29 cm (15%) a 10,80 cm (45%). Esses valores são indicadores importantes do progresso esperado na próxima geração. Estudos anteriores com *Eremanthus erythropappus* têm se concentrado na estimativa de parâmetros genéticos, como a variância genética aditiva (V_a) e a herdabilidade, que indicam o potencial de ganhos. Por exemplo, Almeida *et al.* (2024) e Avelar *et al.* (2021) apresentaram parâmetros que corroboram a existência de variabilidade e o potencial de melhoramento para a espécie. No entanto, a quantificação explícita dos ganhos de seleção e das novas médias populacionais resultantes de diferentes intensidades de seleção, como apresentado neste estudo, é menos comum na literatura para a espécie.

A manutenção de um tamanho efetivo populacional (N_e) mais próximo à população original no experimento foi observada com a redução da intensidade de seleção para ambas as características, variando de 50 para 96 para ALT e de 48 para 89 para DAP. Nesse sentido, o N_e é fundamental para a manutenção da variabilidade genética a longo prazo. A escolha da intensidade de seleção, portanto, deve equilibrar o objetivo de maximizar o ganho genético imediato com a necessidade de preservar a diversidade genética para a sustentabilidade do programa.

Para complementar a análise numérica baseada na seleção individual, a abordagem de seleção entre progênies (famílias) é ilustrada nos gráficos de radar das características de ALT e DAP, apresentados na Figura 6. Esses gráficos oferecem uma representação visual da distribuição dos valores genéticos aditivos das progênies e destacam as melhores famílias em diferentes intensidades.

Figura 6 – Classificação de progênies de *Eremanthus Erythropappus* aos cinco anos de idade em função dos valores aditivos para as características ALT (a, b, c) e DAP (d, e, f), em diferentes intensidades de seleção entre progênies



Fonte: Do autor (2025).

Os gráficos de radar da Figura 6 oferecem uma visualização complementar à Tabela 3, ilustrando a distribuição dos valores genéticos aditivos das progênies e o impacto da intensidade de seleção entre progênies.

Para ALT, nos gráficos “a”, “b” e “c”, é possível observar como as progênies selecionadas (em vermelho) se agrupam nos maiores valores genéticos preditos, enquanto as não selecionadas (em cinza) se dispersam pelos valores menores. Visualmente, a linha das progênies selecionadas se estende mais para as extremidades dos raios nas intensidades mais rigorosas (Figura 6a – 15%), indicando que os indivíduos com maior potencial genético estão concentrados, resultando em uma área de seleção maior no gráfico.

Em contraste, nas intensidades mais brandas (Figura 6c – 45%), a linha das progênies selecionadas se retrai em direção ao centro do radar, resultando em uma área de seleção menor

e refletindo a inclusão de indivíduos com menor valor genético individual, conforme o menor ganho de seleção observado na Tabela 3.

A mesma tendência pode ser notada para o DAP nos gráficos “d”, “e” e “f”, em que a linha vermelha da seleção de “d” (15%) alcança os maiores extremos do radar, demonstrando o potencial de avanço genético desse caráter.

A escolha da intensidade de seleção ideal é um ponto crítico em programas de melhoramento, pois busca o equilíbrio entre a maximização do ganho genético em curto prazo e a manutenção da variabilidade genética para ganhos contínuos em gerações futuras. Intensidades de seleção mais rigorosas, como 15%, resultam em maiores ganhos genéticos, mas podem reduzir significativamente o tamanho efetivo populacional (N_e), o que, a longo prazo, pode limitar o progresso genético devido à diminuição da variabilidade e ao aumento da endogamia (Vencovsky, 1986; Sebbenn, 2002).

Por outro lado, intensidades mais brandas, como 45%, embora proporcionem menores ganhos por ciclo, contribuem para um maior N_e , garantindo uma base genética mais ampla e robusta para futuras seleções. A decisão final sobre a intensidade a ser aplicada dependerá dos objetivos específicos do programa, como a urgência em obter ganhos expressivos aliada à necessidade de sustentar a variabilidade genética a longo prazo. Neste estudo, adotou-se a intensidade de seleção de 30%, aplicável tanto no nível de seleção individual quanto na seleção entre progênes, buscando um equilíbrio entre o ganho genético esperado e a manutenção de uma diversidade genética adequada para a sustentabilidade do programa de melhoramento com um N_e superior a 50 (Vencovsky, 1986).

A análise individual das progênes, focada na seleção entre famílias com intensidade de 30%, revelou que para ALT, as progênes com os maiores valores aditivos foram P13, P4, P1, P34, P7, P6, P2, P5, P3 e P32 (Figura 6b). Para o DAP, a mesma intensidade de 30% na seleção entre famílias (Figura 6e) destacou as progênes P1, P13, P3, P2, P22, P30, P5, P4, P31 e P6. Essas progênes se revelaram importantes para a obtenção dos ganhos genéticos esperados para altura e DAP, respectivamente, quando visamos ao destaque das melhores famílias.

É notável que algumas progênes se destacaram positivamente em ambas as características sob a intensidade de seleção de 30%. As progênes P1, P13, P2, P3, P4, P5 e P6

foram selecionadas simultaneamente para ALT e DAP, indicando seu potencial para serem prioritárias em futuros programas de seleção, bem como para formar PSM.

6. CONCLUSÃO

As análises revelaram a existência de variabilidade genética aditiva significativa para ALT e DAP nas progênies avaliadas. A magnitude da herdabilidade, tanto individual quanto em nível de progênies, indicou que a maior parte da variação observada para essas características tem base genética e pode ser transmitida às próximas gerações, conferindo alta acurácia à seleção e corroborando o potencial de ganhos genéticos para a espécie.

Os ganhos genéticos esperados foram positivos para ambas as características. A intensidade de seleção de 30% foi o ponto de equilíbrio avaliado nas duas abordagens de seleção. Se a seleção for aplicada no nível individual, seriam selecionados 315 indivíduos, resultando em ganhos de 0,59 m para ALT e 0,75 cm para DAP, mantendo a representatividade de 33 ou 34 progênies. Alternativamente, se a seleção for aplicada no nível entre progênies, a mesma intensidade de 30% resultaria na seleção de 7 progênies, a saber: P1, P13, P2, P3, P4, P5 e P6, que se destacaram para ALT e DAP e, por isso, são consideradas prioritárias para a formação da próxima geração.

Os resultados confirmam o potencial de melhoramento genético de *Eremanthus erythropappus* para características de crescimento. A adoção da intensidade de seleção de 30% é recomendada para equilibrar o ganho genético imediato com a manutenção de uma diversidade genética adequada ($N_e > 50$), fundamental para a sustentabilidade do programa a longo prazo. Sugere-se a utilização das progênies selecionadas para a formação de uma base genética melhorada e a continuidade das avaliações em idades mais avançadas, a fim de monitorar o desempenho e a estabilidade genética.

REFERÊNCIAS

- ALBERTTI, L. A. G. *et al.* **Identification of the bisabolol synthase in the endangered candeia tree (*Eremanthus erythropappus* (DC) McLeish).** *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01340>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- ALMEIDA, R. S. de. **Melhoramento genético da candeia: procedências, progênes e seleção precoce.** 2022. 51 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.
- ALMEIDA, R. S. *et al.* **Genetic parameters and promising provenances and progenies for enhanced silvicultural traits in *Eremanthus erythropappus*.** *New Forests*. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10063-9>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- APARECIDA, M. *et al.* **Análise da distribuição espacial da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) sujeita ao sistema de manejo porta-sementes.** *CERNE*, Lavras, v. 14, n. 2, p. 130-136, 2008.
- ARAÚJO, E. J. G. *et al.* **Sustainable Management of *Eremanthus erythropappus* in Minas Gerais, Brazil - A Review.** *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 25, n. 3, p. 1-14, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.051616>. Acesso em: 01 abr. 2025.
- ARAÚJO, L. C. **Vanillosmopsis erythropappa (DC) Sch. Bip: sua exploração florestal.** Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1944. 58 p.
- ASSIS, T. F. **Melhoramento genético do eucalipto.** *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 32-51, 1996.
- AVELAR, M. L. M. **Estimativas de parâmetros genéticos em progênes de *Eremanthus erythropappus*.** 2018. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- AVELAR, M. L. M. *et al.* **Caracterização genética no crescimento inicial de progênes de *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish em Aiuruoca, MG, Brasil.** *Hoehnea*, v. 48, n. e142020, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-14/2020>. Acesso em: 19 set. 2024.
- BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. **Melhoramento de populações por meio de seleção.** In: BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. *Melhoramento de plantas*. Paraná: Ed. UFPR, 2012. cap. 12, p. 11-16.
- BRANDÃO, R. M. *et al.* **Antifungal and antimycotoxigenic effect of the essential oil of *Eremanthus erythropappus* on three different *Aspergillus* species.** *Flavour and Fragrance Journal*, v. 35, n. 5, p. 524–533, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ffj.3588>. Acesso em: 27 jan. 2025.
- BURLEY, J. **Metodología de los ensayos de procedencia de especies forestales.** *Unasylva*, v. 23, n. 3, p. 24-28, 1969.

CANUTO, D. S. O. *et al.* **Estabilidade e adaptabilidade em testes de progênies de *Myracrodruon urundeuva* sob quatro sistemas de plantio.** *CERNE*, Lavras, v. 22, n. 2, p. 171-180, 2016.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira.** Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 640 p.

CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Ecofisiologia da candeia.** Belo Horizonte: SAT/CETEC, 1994. 104 p. (Relatório Técnico).

CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. **Ecofisiologia da candeia.** Belo Horizonte: SAT/CETEC, 1996. (Relatório Técnico).

COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; CARMINE, J. **Biodiversity and conservation of the Cerrado : recent advances and old challenges.** *Biodiversity and Conservation*, v. 29, n. 5, p. 1465–1475, 2020.

CORRÊA, M. P. (Ed.). **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1931. v. 1, 433 p.

DUTRA, R. C.; FERRAZ, S. O.; PIMENTA, D. S.; SOUSA, O. V. **Leaf morpho-anatomical characterization of *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeisch, Asteraceae.** *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 20, n. 6, p. 818–824, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2011005000003>. Acesso em: 23 mai. 2025.

EDDIN, L. B. *et al.* **Health Benefits, Pharmacological Effects, Molecular Mechanisms, and Therapeutic Potential of α -Bisabolol.** *Nutrients*, v. 14, n. 7, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu14071370>. Acesso em: 04 ago. 2024.

ESTOPA, R. A. *et al.* **Diversidade genética em populações naturais de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeisch).** *Scientia Forestalis*, n. 70, p. 97-106, 2006.
FALCONER, D. S. **Introdução a genética quantitativa.** Viçosa: UFV, 1987. 279 p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. **Introduction to quantitative genetics.** 4th ed. London: Pearson, 1996. 480 p.

FALK, D. A.; HOLSINGER, K. E. **Genetics and Conservation of Rare Plants.** [S. l.]: Oxford University Press, Demand, 1991.

FERNANDES, C. C. *et al.* **Avaliação "in vitro" das atividades anticárie, antimicrobiana, antileishmania e citotóxica dos óleos essenciais de "*Eremanthus erythropappus*" e do alfa-bisabolol, seu principal sesquiterpeno.** *Jornal Australiano de Ciência das Culturas*, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 236–243, 2020. Disponível em: <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.109207863170762>. Acesso em: 16 set. 2024.

FERREIRA, M.; ARAUJO, A. J. de. **Procedimentos e recomendações para testes de procedências.** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. 28 p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 6).

FONSECA, E. B. *et al.* **Herdabilidade e correlações genotípicas e fenotípicas em *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 332-339, 2012.

GALDINO, S. L. *et al.* **Extração, fracionamento e caracterização da fração lipídica de *Eremanthus erythropappus* (DC) Mcleish.** *Química Nova*, v. 29, n. 2, p. 240-243, 2006.

LOPES, M. A. *et al.* **Pré-melhoramento de plantas: estado da arte e experiências de sucesso.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 614 p.

MELO L. A., Davide, A. C., & Teixeira, L. A. F. (2012). **Metodologia para resgate de matrizes e enraizamento de estacas de *eremanthus erythropappus*.** *Cerne*, 18(4), 631–638. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000400013>. Acesso em: 13 abr. 2024.

MINAS GERAIS. **Portaria nº 01, de 5 de janeiro de 2007.** Dispõe sobre normas para elaboração e execução do Plano de Manejo para Produção Sustentada da Candeia - *Eremanthus erythropappus* e *Eremanthus incanus* no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. *Diário do Executivo - Minas Gerais*, Belo Horizonte, 6 jan. 2007. Disponível em: http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/2016/Agosto/Portarias/portaria_ief_01_2007.pdf. Acesso em: 02 mar. 2024.

MINAS GERAIS. **Resolução Conjunta SEMAD/IEF nº 3.102, de 26 de outubro de 2021.** Dispõe sobre os processos de autorização para intervenção ambiental no âmbito do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. *Diário do executivo - Minas Gerais*, Belo Horizonte, 04 nov. 2021. Disponível em: <http://siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=54600>. Acesso em: 02 mar. 2024.

MORI, C. L. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. **ANATOMICAL, CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERIZATION OF CANDEIA WOOD (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish).** *Cerne*, v. 16, n. 4, p. 451–456, 2010.

NASCIMENTO, J. F. do. **Diversidade genética e quantificação de óleo essencial na seleção de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish).** 2015. 111 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

NOGUEIRA, T. A. P. C. *et al.* **Estimativa de parâmetros genéticos em progênies de irmãos completos de eucalipto e otimização de seleção.** 2019.

ODA, S.; MELLO, E. J. M.; SILVA, J. F.; SOUZA, I. C. G. **Melhoramento florestal.** In: OLIVEIRA, A. N. **Variação genética entre e dentro de procedências de baru (*Dipteryx alata*) Vog.** 1998, 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, M. S. P. **Melhoramento genético de espécies perenes nativas da Amazônia.** In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2007, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/GEN, 2007. p. 63-83.

PÁSCOA, K. J. V. da *et al.* **Equações de volume e massa seca para plantios de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish).** In: CORTE, A. P. D. et al. (Org.). *Atualidades em Mensuração Florestal*. Curitiba, PR: UFPR, 2014. p. 71-75.

PÉREZ, J. F. M. *et al.* **Sistema de manejo para a candeia - *Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish – a opção do sistema de corte seletivo.** *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 2, p. 257-273, 2004.

PÉREZ, S. C. J. G. A. **Extrato e Óleo Essencial de *Eremanthus erythropappus* (DC) McLeish como Fonte de Alfabisabolol: Caracterização Química, Atividades Biológicas e Potencial Industrial.** 2001. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química.

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

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. **Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V.; ALVES, R. S. **Genética: estratégias de melhoramento e métodos de seleção.** In: OLIVEIRA, Edilson Batista de; JUNIOR, Jose Elidney Pinto. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento.** [S. l.: s. n.], 2021. cap. 03.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais.** 2009. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SALIMATH, S. S. *et al.* **Assessment of genome origins and genetic diversity in the genus *Eleusine* with DNA markers.** *Genome*, v. 38, p. 757-763, 1995.

SANTOS, R. C. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas.** Lavras. 2008. 159 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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*, v. 14, n. 4, p. 238-243, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332014v14n4a37>. Acesso em: 07 Out. 2024.

SANTOS, H. G.; ROSADO, L. R.; SILVA ROSADO, S. C. da; MELO, L. A. de; GONÇALVES, F. M. A. **Genetic parameters for silvicultural traits in cedro australiano.** *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, v. 49, n. 130, p. 1–9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/SCIFOR.V49N130.05>. Acesso em: 14 dez. 2024.

SCOLFORO, J. R. S.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, A. D.; SILVA, C. P. C.; ACERBI JUNIOR, F. W.; ANDRADE, I. S.; ABREU, E. C. R. **O Manejo de plantações de Candeia.** Lavras: Editora UFLA, 2008. 27 p.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; DAVIDE, A. C.; MELLO, J. M.; ACERBI JUNIOR, F. W. **Manejo sustentável da candeia *Eremanthus erythropappus* e *Eremanthus incanus***. Lavras: UFLA-FAEPE, 2002. 350 p. (Relatório Técnico Científico).
SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; DAVIDE, A. C. **O manejo sustentável da candeia**. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2012.

SEBBENN, A. M. **Número de árvores matrizes e conceitos genéticos na coleta de sementes para reflorestamentos com espécies nativas**. Revista do Instituto Florestal, v. 14, n. 2, p. 115-132, 2002.

SHIMIZU, J. Y.; KAGEYAMA, P. Y.; HIGA, A. R. **Procedimentos e recomendações para estudos de progênies de essências florestais**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1982. 33 p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 11).

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, I. D.; HIGA, A. R.; JUNIOR, P. C. F. **Estratégias de seleção de progênies de *Eucalyptus saligna* para produção de sementes melhoradas** Selection strategies in *Eucalyptus saligna* progenies for the production of improved seeds. [S. l.]: [s. n.], 2017. p. 319-326.

Seleção genética computadorizada: manual do usuário. Colombo: EMBRAPA-CNPf, 2002a. 67 p.

TAMBARUSSI, E. V. *et al.* **Estimativas de parâmetros genéticos para a seleção precoce em clones de *Eucalyptus* spp.** Scientia Forestalis/Forest Sciences, v. 45, n. 115, p. 507-517, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n115.08>. Acesso em: 28 jan. 2025.

TONETTI, O. A. O. **Melhoria da qualidade física e estudo da germinação de sementes de candeia (*Eremanthus incanus* (Less.) Less. e *Eremanthus erythropappus* (DC.) Mac Leish)**. 2004. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

TONETTI, O. A. O.; DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. **Qualidade física e fisiológica de sementes de *Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish**. Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v. 28, n. 1, p. 114-121, jan./abr. 2006.

VENCOVSKY, R. **Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasma de espécies alógamas**. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnológicos: boletim de pesquisa e desenvolvimento, v.1, p. 1-16, 1986.

VIEIRA, F. A.; FAJARDO, C. G.; CARVALHO, D. **Biologia reprodutiva de *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish (Asteraceae)**. In: CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL, 2., 2009, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: [s. n.], 2009. 1 CD ROM.