



RODOLFO SOARES DE ALMEIDA

**MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANDEIA:
PROCEDÊNCIAS, PROGÊNIES E SELEÇÃO PRECOCE**

**LAVRAS – MG
2022**

RODOLFO SOARES DE ALMEIDA

**MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANDEIA: PROCEDÊNCIAS,
PROGÊNIES E SELEÇÃO PRECOCE**

Tese de Doutorado apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, área
de concentração em Silvicultura e Genética
Florestal.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

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

Almeida, Rodolfo Soares de.

Melhoramento genético da candeia: : Procedências, progênies e
seleção precoce / Rodolfo Soares de Almeida. - 2022.

51 p. : il.

Orientador(a): Lucas Amaral de Melo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.
Bibliografia.

1. Melhoramento Genético. 2. Correlação genética. 3.
Eremanthus erythropappus. I. Melo, Lucas Amaral de. II. Título.

RODOLFO SOARES DE ALMEIDA

**MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANDEIA: PROCEDÊNCIAS,
PROGÊNIES E SELEÇÃO PRECOCE**

**GENETIC BREEDING OF CANDEIA: PROCEDURES, PROGENIES AND
EARLY SELECTION**

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

APROVADA em 25 de novembro de 2022.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo, UFLA
Prof. Dr. Adelson Lemes da Silva Júnior, UFLA
Prof. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves, UFLA
Prof. Dr. Erick Martins Nieri, UNIFESSPA
Prof. Dra. Janice Ferreira do Nascimento, IFRO

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
(Orientador)

**LAVRAS – MG
2022**

Aos meus pais pelo total apoio, amor e incentivo a seguir essa caminhada acadêmica.

Ao meu filho por ser a minha razão para lutar por um mundo melhor.

Aos meus avós pelo amor e carinho

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e aos bons companheiros espirituais, pela iluminação, inspiração, e suporte diante das dúvidas e incertezas, sendo presença constante na minha vida.

A meus pais Francisco e Débora, por serem pais excepcionais, pelo exemplo e apoio constantes, ao meu filho Théo por ser minha maior fonte de motivação e à minha namorada e companheira Regiane pela dedicação, amor e apoio emocional.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciências Florestais, pela infraestrutura e apoio no desenvolvimento das atividades.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de desenvolver este trabalho e ao corpo docente, dos Programas de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Genética e Melhoramento de Plantas, sempre atualizado e competente, responsável pela minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Ao professor Lucas Amaral de Melo, orientador e amigo que através de inúmeras formas me preparou para os desafios da vida acadêmica. Agradeço a oportunidade de ser seu orientado e por ser um exemplo de profissional a ser seguido e copiado.

Ao corpo técnico administrativo, em especial ao Matheus Luz e José Pedro (Zé Pedro) pelo apoio nas atividades de campo.

Aos graduandos e pós-graduandos, que me auxiliaram em diversas etapas deste trabalho, em especial aos amigos de laboratório, Anatoly, Fernanda, Lavínia pelos valiosos momentos de apoio e amizade.

Ao Núcleo de Estudos em Silvicultura (NES), pelos pouco mais de 11 anos de ricas discussões e oportunidades de crescimento, bem como a felicidade de encontrar bons amigos e companheiros de trabalho.

Por fim, agradeço a todos os amigos e colegas que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão desta etapa.

A empresa Citróleo pela disponibilização do plantio e manutenção.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) Processo 408927/2016-0 pelo apoio financeiro.

RESUMO

Embora de irrefutável importância, os programas de melhoramento genético florestal demandam elevados custos financeiros e necessitam de anos para apresentar os ganhos de cada ciclo seletivo. O cenário se torna mais desafiador quando o objeto de melhoramento é uma espécie arbórea nativa como a candeia (*Eremanthus erythropappus*), com poucos estudos acerca das variações presentes nas suas populações naturais e testes genéticos incipientes. Nesse contexto, este trabalho visa avançar o programa de melhoramento da espécie, abordando os resultados de um teste de procedências e progênies, em idade de rotação, sobre dois aspectos, as variações genéticas e ambientais referentes a diferentes procedências e progênies, e a viabilidade e eficiência da seleção precoce para características de crescimento. Ambos os trabalhos foram realizados em um teste implantado em Baependi-MG, com cinco procedências e 116 progênies de meios irmãos, num delineamento de blocos completos casualizados, com parcelas lineares de seis plantas e sete repetições. Foram mensuradas variáveis de crescimento até aos 11 anos, sendo quantificada a sobrevivência e estimado o volume. A estimação dos parâmetros genéticos foi realizada por meio da abordagem dos modelos mistos REML/BLUP realizadas por meio do *software* Selegen RELM/BLUP e os efeitos do modelo foram testados pela razão de verossimilhança (LRT) com $p < 0,01$. Para cada abordagem, foram estimadas as correlações genéticas e ambientais pertinentes e indicada a seleção segundo metodologia descrita. De maneira geral, conclui que há variabilidade genética suficiente para a seleção aos 11 anos, destacando-se algumas procedências e progênies quanto aos fatores de crescimento e adaptação. Há viabilidade da seleção precoce para variáveis de crescimento, indicando a idade ótima de seleção entre quatro anos e quatro anos e meio para as características.

Palavras-chave: *Eremanthus erythropappus*. Melhoramento Genético. Herdabilidade. Correlação genética.

ABSTRACT

Although of irrefutable importance, forest genetic improvement programs demand high financial costs and require years to present the gains of each selective cycle. The scenario becomes more challenging when the object of improvement is a native tree species such as *Eremanthus erythropappus*, with few studies on the variations in its natural populations and incipient genetic tests. In this context, this work aims to advance the genetic program to improve the species, approaching the results of a provenances and progenies test in rotation age on two main aspects: the genetic and environmental variations referring to different populations and families, in the first article, and the feasibility and efficiency of early selection for growth traits, in the second article. Both works were carried out in a test implemented in Baependi-MG, with five provenances and 116 half-sib families, in a complete randomized block design, with linear plots of six plants and seven replications. Growth variables were measured up to 11 years old, where survival was quantified and volume estimated. The estimation of genetic parameters was carried out through the approach of mixed models REML/BLUP performed using the software Selegen RELM/BLUP, and the effects of the model were tested by the likelihood ratio (LRT) with $p < 0.01$. For each approach, the relevant genetic and environmental correlations were performed and the selection was indicated according to the methodology described in each article. In general, the first article concludes that there is enough genetic variability for selection at 11 years of age, highlighting some provenances and progenies in terms of growth and adaptation factors. The second article emphasizes the feasibility of early selection for growth variables, indicating the optimal age for selection between 4 and 4.5 years for the traits.

Keywords: *Eremanthus erythropappus*. Genetical enhancement. Heritability. Genetic correlation.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	9
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 <i>Eremanthus erythropappus</i> , aspectos gerais e silviculturais	10
2.2 Seleção precoce: objetivos, métodos e eficiência	12
REFERÊNCIAS	14
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS.....	18
ARTIGO 1 - Parâmetros genéticos de procedências e progênies de <i>Eremanthus erythropappus</i> para características silviculturais.....	18
ARTIGO 2 – Eficiência da seleção precoce de <i>Eremanthus erythropappus</i> para características silviculturais	35

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

A *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish, popularmente conhecida como candeia, possui uma distribuição ampla no estado de Minas Gerais, mais frequentemente encontrada na região Sul do estado (ARAÚJO et al., 2018). A espécie possui como hábito a formação de maciços florestais chamados de candeiais, nos quais a presença da espécie é hegemônica. Devido a sua ocorrência natural em áreas de Cerrado, aliada com a alta densidade populacional nos candeiais, a exploração da espécie é algo comum nas comunidades rurais do estado, sendo apreciada como mourão. A exploração comercial se dá pela extração de óleo essencial, com princípio ativo de α -bisabolol, utilizado pela indústria médica e cosmética (DONADELLI, 2012).

A grande parte da exploração de *E. erythropappus* é baseada no extrativismo, por meio do manejo sustentável da candeia, previamente orientada por termo de referência e de acordo com a resolução conjunta SEMAD/IEF nº1804 de 11 de janeiro de 2013 (ARAÚJO et al., 2018), e atualmente regulamentado pelo Decreto Estadual n.º 47.749 de 11 de novembro de 2019, do Governo de Minas Gerais. Menos expressivo, é a formação de plantios destinados à exploração, sendo estes muito atrelados às áreas de produção das empresas de processamento do óleo (DONADELLI, 2012), nos últimos anos, tais plantios já estão sendo explorados. De base desta demanda, a pesquisa referente às técnicas de manejo sustentável dessas populações avançou muito na última década, bem como, os aspectos silviculturais na produção da espécie.

Por ser uma espécie nativa e pouco domesticada, os plantios são seminais e dotados de grande heterogeneidade de crescimento e produção. Neste contexto, as pesquisas voltadas ao melhoramento genético de *E. erythropappus*, ainda em estágios iniciais, se mostram uma ferramenta muito útil para aumentar as potencialidades produtivas da espécie, sendo realizados testes de procedências, progênies e mesmo a clonagem de certos genótipos. Contudo, embora seleções precoces tenham ocorrido, as informações geradas ainda são muito incipientes devido à maioria dos testes não ter alcançado a idade de rotação para exploração comercial, estimada em 11 anos.

Neste contexto, o objetivo principal desta tese é preencher lacunas do melhoramento da espécie, com informações robustas de testes em idade de rotação. Esta tese está dividida em duas partes. A primeira busca situar o leitor diante dos objetos e objetivos deste trabalho,

fazendo a apresentação da espécie e uma abordagem teórica sobre a seleção precoce. A segunda parte foi organizada em dois artigos. O primeiro artigo aborda os parâmetros genéticos aos 11 anos, na idade de corte, de diferentes procedências e progênies, havendo a indicação das mais relevantes para características de adaptação e crescimento. Já o segundo artigo, avalia o potencial da seleção precoce e sua eficiência para as características de crescimento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Eremanthus erythropappus*, aspectos gerais e silviculturais

Eremanthus erythropappus (DC.) MacLeish é uma espécie da família Asteraceae, naturalmente encontrada no sudeste do Planalto Central, abrangendo os estados de Goiás e Distrito Federal, bem como os estados do Sudeste, como Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo (ARAÚJO et al., 2018). Seu habitat ocorre desde comunidades florestais a campos abertos, como o Cerrado, campos rupestres e campos de altitude, onde podem dominar a comunidade, formando maciços quase puros (ARAÚJO et al., 2018).

De acordo com Vieira et al. (2012), a floração da espécie ocorre entre os meses de julho a setembro, na época fria e seca do ano, com flor hermafrodita, de coloração roxa e que se agrupa na forma de capítulos, típicos de asteraceas. Os capítulos são organizados em densas inflorescências, com média de 29 flores. A antese, abertura dos botões florais, ocorre no início da manhã, e existe uma alta porcentagem de polens viáveis, aproximadamente 77%. Apesar das flores serem inodoras e com pouca presença de néctar, a visitação e a polinização ocorrem na sua maioria por *Apis mellifera* e *Trigona sp.* (Hymenoptera, Apidae) (VIEIRA et al., 2012). *E. erythropappus* é uma espécie predominantemente alógama e apresenta alta taxa de cruzamento multiloco ($\widehat{t}_m = 0,963$), contudo, nas populações naturais de alta densidade populacional, existe uma alta taxa de endogamia presente (BARREIRA et al., 2006). A floração da candeia começa aos três anos de vida (SIQUEIRA, 2002). A frutificação e dispersão ocorrem de agosto a setembro e é, predominantemente, anemocórica.

Os parâmetros de crescimento e produção de *E. erythropappus*, apresentados na tabela 1, são generalizações baseadas nas observações de Scolforo et al. (2012a), considerando plantios florestais e populações nativas, porém não considerando as variações de solo, sítio e genótipos. Os mesmos autores ressaltam algumas relações interessantes, sendo o

volume da casca responsável por 17,6% do volume da planta, o índice de empilhamento da madeira é 2,46 m³ de madeira empilhada para cada metro cúbico de madeira, ressaltando a desuniformidade dos troncos e o número de espaços vazios na pilha de madeira, e, por fim, a relação entre o peso do óleo e o peso da madeira é 1,68%, sendo desse total, 88,49% composto por α -bisabolol puro.

Tabela 1 – Resumo dos parâmetros de crescimento e produção de óleo essencial em *Eremanthus erythropappus*.

Característica	Mínimo	Máximo	Média
Diâmetro à altura do peito (DAP)	7,6 cm	32 cm	-
Altura (H)	6,5 m	11,0 m	-
Volume com casca	0,0171 m ³	0,5905 m ³	0,2159 m ³
Densidade básica	630 kg m ⁻³	680 kg m ⁻³	-
Peso por árvore	11 kg	413 kg	142 kg
Produção de óleo essencial (com casca)	8,57 kg m ⁻³	14,47 kg m ⁻³	10,96 kg m ⁻³
Produção de óleo	9,21 L m ⁻³	15,55 L m ⁻³	11,78 L m ⁻³

Fonte: Adaptado de Scolforo et al. (2012a)

Embora os estudos ainda sejam muito preliminares, Scolforo et al. (2012b) encontraram valores de produtividade em um plantio com dez anos, de 98,82 m³ de madeira empilhada por hectare, sendo a venda para a produção de óleo a mais economicamente interessante, podendo render, na época, US\$ 25.692,00 por hectare. Os autores ressaltam que a produção de *E. erythropappus*, é normalmente realizada em condições nas quais poucas espécies florestais podem ser cultivadas, como topos de morro, grandes declives, solo rasos, pedregosos, e pouco férteis, sendo a espécie uma recomendação para a inclusão e utilização destas áreas marginais na matriz de produção da propriedade rural. Oliveira et al. (2010) ressaltam que o manejo para a extração de óleo essencial é economicamente viável, mesmo em cenários com baixos valores de venda da madeira e altas taxas de juros.

A silvicultura de plantios comerciais de candeia é baseada nos poucos plantios experimentais existentes, sendo muitas técnicas ainda necessárias de estudos mais aprofundados. O espaçamento recomendado segue o padrão de 1,5 m entre plantas dentro da linha, e o espaçamento entre linhas podendo variar entre 1,5; 2,5 e 3,0 m. Páscoa et al. (2019) recomendam o espaçamento de 2,5 m x 1,5 m e 3,0 m x 1,5 m com aplicação de desbaste quando o objetivo é a formação de indivíduos maiores, Silva et al. (2014) recomendam que

espaçamentos de 3,0 m x 1,5 m resultem em plantios com maiores rentabilidades e menor risco, utilizando uma rotação de 12 anos.

Quanto a sua nutrição, Venturin et al. (2005), por meio da técnica do elemento faltante, concluíram que a ausência de fósforo e nitrogênio reduzem drasticamente o crescimento da espécie em fase de plântulas e as limitações nutricionais seguem a ordem decrescente de: $P > N > S > Mg = B > Ca > K > Zn$. Esses autores também concluem que a fertilidade natural do solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo nas profundidades de 20 cm a 40 cm, não permitiu o crescimento de *E. erythropappus*, sendo, a adubação, uma prática recomendada na implantação desta espécie. Scolforo et al. (2012a) recomendam o uso de doses de 100 a 150 g por cova de adubos com formulação 8:28:16 de NPK. As demais práticas de plantio devem ser seguidas, como a limpeza e o preparo do solo, o controle de formigas e de plantas daninhas.

A poda, quando se deseja obter fustes mais retilíneos para o uso como postes de cercas, é recomendada. Scolforo et al. (2012d) recomendam a primeira poda até os 12 meses, não devendo ser mais intensa que 50% da copa retirada, e a segunda poda realizada entre o primeiro e o segundo ano de plantio, a depender do objetivo do mesmo. Altoé et al. (2012) ressaltam que a poda não é recomendada quando o objetivo é a extração de óleos essenciais, uma vez que essa prática reduz a produção do óleo.

Apesar da grande importância dos avanços na silvicultura da espécie, esse é apenas um dos aspectos da alta produtividade. O bom controle das condições ambientais e a aplicação das melhores técnicas silviculturais de produção, garantem que os plantios expressem o máximo do seu potencial genético, contudo, cabe ao melhorista a seleção de genótipos com superior características de produção. O atual programa de melhoramento da espécie visa a melhoria das características silviculturais e o aumento da produção de óleo essencial para suprir a demanda industrial. Neste contexto, é importante quantificar a variabilidade entre diferentes procedências, progênies e genótipos, a fim de melhor selecionar os potenciais genótipos.

2.2 Seleção precoce: objetivos, métodos e eficiência

Um programa de melhoramento genético visa, a cada ciclo de seleção, o acúmulo de alelos favoráveis nas populações trabalhadas. Para alcançar este objetivo básico, a implantação

de testes de progênies, a seleção e a recombinação, são partes inerentes de um ciclo de melhoramento. O grande entrave no melhoramento, especialmente de espécies perenes, é o tempo necessário para realizar a seleção dos genótipos superiores e o custo associado à implantação e à manutenção destes testes. Logo, o uso de técnicas e métodos de seleção de genótipos mais eficientes, com elevado rigor experimental, em idades precoces, permite ganhos expressivos nos programas de melhoramento (ARAÚJO et al., 2015).

A base teórica da seleção precoce está na pressuposição de que o comportamento juvenil é um preditor do comportamento maduro, ou idade de interesse. Algumas hipóteses sugerem que possa existir uma fraca correlação entre o comportamento juvenil-maduro em algumas espécies, pois genótipos adaptados ao crescimento em áreas abertas possam se beneficiar na fase juvenil e ter seu desempenho drasticamente reduzido quando ocorre o fechamento das copas (CANNELL, 1978). Porém, existe um número considerável de espécies que apresentam boas correlações entre as fases juvenis-maduras, como a seringueira (BOMBONATO et al., 2015), eucalipto (LIMA et al., 2011), pinus (CHAUHAN et al., 2013), entre outras, sinalizando a possibilidade de aplicar a seleção precoce.

Ferreira (2005) ressalta que para a aplicação efetiva da seleção precoce, é necessário que haja alta correlação genética entre as características avaliadas na idade juvenil e na idade de interesse, ou de corte / rotação. Logo, a identificação de características em árvores em idade juvenil que estejam relacionadas a características de interesse econômico na idade de rotação tem sido o foco de melhoristas de espécies perenes, a fim de prever o desempenho de um indivíduo adulto, com dados mensurados em indivíduos juvenis, reduzindo assim o ciclo de seleção (GONÇALVES et al., 1998).

Diferentes metodologias podem ser utilizadas para estimar a eficiência da seleção precoce, como a estimação da correlação genética entre idades (LAMBETH, 1980), a estimativa da resposta correlacionada com a seleção (RIEMENSCHNEIDER, 1988), a flutuação das estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos entre idades (RESENDE & BERTOLUCCI, 1993), a estimativa da eficiência da seleção na idade juvenil e correspondência na idade adulta (RESENDE & BERTOLUCCI, 1993), e a estimativa da interação famílias x anos (REZENDE et al., 1994). Estas metodologias utilizam a correlação de Pearson, análises de variância ou análises via modelos mistos. Outras, somente comparam os genótipos coincidentes às duas idades em avaliação, retirando uma porcentagem que pode ocorrer devido ao acaso, compondo um índice de coincidência (HAMBLIN & ZIMMERMANN, 1986).

A pesquisa em seleção precoce, no Brasil, tem se concentrado nas espécies de eucalipto e pinus, buscando a correlação das características de crescimento entre as idades das árvores, visando determinar a idade ideal de avaliação e seleção que otimiza os ganhos com a seleção indireta (WU et al., 2007). Os resultados das pesquisas com seleção precoce em perenes têm alcançado altas taxas de eficiência. Moreira et al. (2014) encontraram 82% de predição do valor real, quando aplicada a seleção aos três anos em *Pinus elliottii*.

A seleção precoce aos 16 meses em *Pinus taeda* conseguiu predizer com 93% de eficiência o DAP e 78% de eficiência a altura aos 84 meses (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2002). Pinto et al. (2014) realizando a seleção precoce aos três anos, encontraram 80% de correlação entre o DAP e 60% entre a altura, de clones de *Eucalyptus urophylla* aos seis anos. Para *E. erythropappus*, a seleção precoce estimada por Melo (2012) foi mais eficiente quanto mais próxima da idade base de 67 meses. O autor também ressaltou que os maiores ganhos em unidade de tempo foram obtidos na seleção mais precoce realizada.

REFERÊNCIAS

ALTOÉ, Thiza Falqueto *et al.* Sustentabilidade de plantações de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) na produção e qualidade de óleo essencial. In: SCOLFORO, José Roberto Soares *et al.* **O manejo sustentável da candeia: o caminhar de uma nova experiência florestal em Minas Gerais**. Lavras: UFLA; 2012. p. 117-144.

ARAÚJO, Márcio José de *et al.* Número de repetições, de plantas por parcela e de avaliações para testes clonais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 923-931, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001000008>

ARAÚJO, Emanuel José Gomes de *et al.* Sustainable Management of *Eremanthus erythropappus* in Minas Gerais, Brazil—A Review. **Floresta e Ambiente**, Seropédica v. 25, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.051616>

BARREIRA, Sybelle *et al.* Genetic diversity and mating system of *Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish populations under forest logging. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 71, p. 119-130, 2006.

BOMBONATO, André Luis *et al.* Rubber tree ortet-ramet genetic correlation and early selection efficiency to reduce rubber tree breeding cycle. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 855-860, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.020>

CANNELL, Melvim G. R. The physiological basis of genetic gains in yield with Weyerhaeuser's tree improvement programme. **Weyerhaeuser Technological Report** 042-3206/79/19, p.15, 1978.

CHAUHAN, Shakti S. *et al.* Methods for the very early selection of *Pinus radiata* D. Don. for solid wood products. **Annals of Forest Science**, v. 70, n. 4, p. 439-449, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0270-3>

DONADELLI, Flavia Maria de Mattos. Motivações e resultados da certificação florestal: um estudo de caso cadeia de valor da candeia. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 15, p. 97-121, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300007>.

FERREIRA, Arnaldo Ribeiro **Análise genética e seleção em testes dialélicos de *Pinus taeda* L.** 2005. 220p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GONÇALVES, Paulo de Souza *et al.* Early selection for growth vigor in rubber tree genotypes in northwestern São Paulo State (Brazil). **Genetics and Molecular Biology**, v. 21, p. 515-521, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-47571998000400018>

HAMBLIN, John; ZIMMERMANN, Maria Jose de O. Breeding Common Bean for Yield in Mixtures. **Plant Breeding Reviews**, v. 4, p. 245-272, 1986.

LAMBETH, Clem C. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implications for early selection. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 571-580, 1980.

LIMA, José Luis *et al.* Early selection of parents and trees in Eucalyptus full-sib progeny tests. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 10-16, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-70332011000100002>

MELO, Lucas Amaral de. **Seleção e resgate de árvores superiores de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish).** 2012. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MOREIRA, Juliana Prado *et al.* Ganho esperado na seleção de progênes de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em idade precoce para produção de madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 99-109, abr./jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.78.488>

OLIVEIRA, Antonio Donizette de *et al.* Análise econômica do manejo sustentável da candeia. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 335-345, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602010000300009>.

PÁSCOA, Kalill José Viana da *et al.* Growth of *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish in Different Planting Spacings. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 26, n. 2, e20170834, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.083417>.

PALUDZYSZYN FILHO, Estefano *et al.* Avaliação e seleção precoce para crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1719-1726, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001200007>

PINTO, Danielle Silva *et al.* Seleção precoce para características de crescimento em testes clonais de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 251-257, jun. 2014.

REZENDE, Gabriel Dehon Sampaio Peçanha; BERTOLUCCI, Fernando de Lelis Garcia. Uso da seleção combinada na determinação da eficiência da seleção precoce em progênes de meios-irmãos de *Eucalyptus urophylla*. In: **Anais do I Congresso Florestal Panamericano e VII Congresso Florestal Brasileiro**. São Paulo. p.158-160. 1993.

REZENDE, Gabriel Dehon Sampaio Peçanha *et al.* Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 45-50, 1994.

RIEMENSCHNEIDER, Don E. Heritability, age-age correlations, and inferences regarding juvenile selection in jack pine. **Forest Science**, v. 34, n. 4, p. 1076-1082, 1988.

SCOLFORO, José Roberto Soares *et al.* **O manejo sustentável da candeia: o caminhar de uma nova experiência florestal em Minas Gerais**. Lavras: UFLA; 2012a

SCOLFORO, José Roberto Soares *et al.* Manejo de plantações de candeia. *In:* SCOLFORO, José Roberto Soares *et al.* **O manejo sustentável da candeia: o caminhar de uma nova experiência florestal em Minas Gerais.** Lavras: UFLA; 2012b. p. 61-97.

SILVA, Carolina Souza Jarochinski *et al.* Viabilidade econômica e rotação florestal de plantios de candeia (*Eremanthus erythropappus*), em condições de risco. **Cerne**, Lavras, v. 20, p. 113-122, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602014000100015>.

SIQUEIRA, D. **Caracterização química da casca e madeira de Candeia (*Eremanthus erythropappus*)**. 2002. 21 p. Monografia (Graduação) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

VIEIRA, Fábio de Almeida *et al.* Biologia floral da candeia (*Eremanthus erythropappus*, Asteraceae). **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 477, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.72.477>.

VENTURIN, Nelson *et al.* Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish). **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 211-219, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v35i2.4606>

WU, Harry Xian. Study of early selection in tree breeding. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 47, n. 2-3, p.146-155, 1998.

WU, Harry Xian *et al.* Efficiency of early selection for rotation-aged wood quality traits in radiata pine. **Annals of Forest Science**, v. 64, n. 1, p. 1-9, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2006082>

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 - Parâmetros genéticos de procedências e progênies de *Eremanthus erythropappus* para características silviculturais

Genetic parameters of provenances and progenies of *Eremanthus erythropappus* for silvicultural traits

ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA SCIENTIA FORESTALIS

Resumo

Eremanthus erythropappus possui importância econômica regional, para fornecimento de mourões e, internacional, pela produção de α -bisabolol, utilizado na indústria médica e cosmética. O melhoramento da espécie é incipiente, havendo escassez de informações quanto a parâmetros genéticos, especialmente na idade de exploração de plantios comerciais. O objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros genéticos para caracteres silviculturais e suas correlações, em um teste de procedências e progênies aos 11 anos, a fim de indicar as procedências e progênies mais promissoras. O experimento foi implantado em Baependi-MG, com cinco procedências e 116 progênies de meios irmãos, no delineamento de blocos casualizados, com parcelas lineares de seis plantas e sete repetições. Aos 11 anos, foram mensurados a altura (H), o diâmetro à altura do peito (DAP), a sobrevivência (Sob) e estimado o volume individual (Vol) pela equação de Schumacher e Hall. Os parâmetros genéticos foram estimados por meio da abordagem dos modelos mistos REML/BLUP e os efeitos do modelo foram testados pela razão de verossimilhança (LRT) com $p < 0,01$. Foram estimadas as correlações de Pearson com as variáveis de crescimento e ambientais da procedência, e as correlações fenotípicas e genotípicas, bem como as demais análises foram realizadas por meio do *software* Selegen RELM/BLUP. Houve significância dos efeitos para todas as características avaliadas a nível de genótipos, enquanto que, no quesito de procedências, apenas H não demonstrou significância. Houve baixa herdabilidade no sentido restrito, variando de 0,05 (Sob) a 0,17 (DAP), possivelmente devido à alta variância ambiental. A variação genética de genótipos é o dobro da variação genética de procedências. As correlações fenotípicas e

genotípicas entre as características de crescimento são positivas e variam de moderada a alta. Há uma possível variação clinal, sendo moderada a correlação entre latitudes e longitudes com a Sob (0,74; 0,70) H (-0,70; -0,71) e Vol (-0,65; -0,68). No quesito de progênes, há uma maior porcentagem de progênes com BLUP positivos para a Sob (66%) e DAP (50%), e uma menor porcentagem para H (34%) e Vol (45%). Há possibilidade de seleção entre e dentro das procedências e famílias para H, DAP, Vol e Sob, contudo, com ganhos reduzidos devido à herdabilidade baixa. Há alta correlação fenotípica e genotípica sendo possível aplicar a seleção indireta. As procedências Itabirito-MG e Delfim Moreira-MG se destacaram no DAP e Vol. As progênes 4, 6, 37, 118 e 124 se destacam entre as dez melhores famílias de *Eremanthus erythropappus* para a altura, DAP e volume.

Palavras-chave: Candeia; Melhoramento Genético; Herdabilidade, Espécie Nativa.

Abstract

Eremanthus erythropappus has regional economic importance for the supply of posts and internationally for the production of α -bisabolol, used in the medical and cosmetic industry. The improvement of the species is developing, with little information regarding genetic parameters, especially at the age of exploitation of commercial plantations. The objective of this work was to estimate the genetic parameters for silvicultural characters and their correlations from a test of provenance and progenies at 11 years old, and to indicate the most promising provenances and families. The test was implemented in Baependi, with five provenances and 116 half-sib families, in a complete randomized block design, with linear plots of six plants and seven replications. At 11 years of age were measured the height (H), diameter at breast height (DBH), survival (Sub) and calculated individual volume (Vol), using the Schumacher and Hall equation. The genetic parameters were estimated using the REML/BLUP mixed models approach, and the effects of the model were tested by the likelihood ratio (LRT) with $p < 0.01$. Pearson correlations between growth and environmental variables of the origin were performed, and the phenotypic and genotypic correlations, as well as other analyzes, were done using the Selegen RELM/BLUP software. There was significance for all traits evaluated at genotype level, and at provenance level only H did not show significance. There was low narrow sense heritability, ranging from 0.05 (Sub) to 0.17 (DAP), possibly due to the high environmental variance. The genetic variation at the level of genotypes is twice the genetic variation of provenances. Phenotypic and genotypic correlations between growth traits are positive and range from moderate to strong. There is a possible cline variation, with the

correlation between latitudes and longitudes being moderate with Sob (0.74; 0.70), H (-0.70; -0.71) and Vol (-0.65; -0.68). At the family level, there is a higher percentage of positive BLUP for Sob (66%) and DAP (50%) and a lower percentage for H (34%) and Vol (45%). Selection between and within the provenances and families for H, DAP, Vol and Sob are possible however, with reduced gains due to low heritability. Indirect selection is possible because of a high phenotypic and genotypic correlation. The provenances Itabirito and Delfim Moreira stood out in DAP and Vol. Families 4, 6, 37, 118 and 124 stand out among the top ten families for height, DBH and volume of *Eremanthus erythropappus*.

Keywords: Candeia; Genetical enhancement; Heritability, Native Species.

INTRODUÇÃO

Eremanthus erythropappus (DC.) MacLeish é uma espécie da família Asteraceae, naturalmente encontrada no sudeste do Planalto Central do Brasil, abrangendo os estados de Goiás e Distrito Federal, bem como os estados do Sudeste, como Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo (Araújo et al., 2018). Seu habitat varia desde comunidades florestais a campos abertos, como o Cerrado, campos rupestres e campos de altitude, onde podem dominar a comunidade formando maciços quase puros (Araújo et al., 2018), chamados candeais. Devido a sua ocorrência natural em áreas de Cerrado, aliado com a alta densidade populacional nos candeais, a exploração da espécie é algo comum nas comunidades rurais, sendo apreciada como mourão para cercas. No entanto, a exploração comercial se dá, principalmente, pela extração de óleo essencial, com princípio ativo de α -bisabolol, utilizado pela indústria médica e cosmética (Donadelli, 2012).

A grande parte da exploração de *E. erythropappus* é baseada no extrativismo, pelo manejo sustentável da candeia (Araújo et al., 2018). Menos expressiva, é a formação de plantios destinados à exploração, sendo estes muito atrelados as áreas de produção das empresas de processamento do óleo (Donadelli, 2012). Por ser uma espécie nativa e pouco domesticada, os plantios são seminais e dotados de grande heterogeneidade de crescimento e produção. Baseadas na demanda comercial por uma produção maior e mais uniforme, as pesquisas voltadas ao melhoramento genético de *E. erythropappus*, ainda em estágios iniciais, se mostram como ferramenta muito útil para aumentar as potencialidades produtivas da espécie.

Uma boa estratégia para os programas de melhoramento de espécies florestais nativas é progredir de forma similar ao melhoramento genético do gênero *Eucalyptus*, no qual Kageyama

e Vencovsky (1983) relataram que se iniciou com a identificação de espécies promissoras, seguido de testes de procedências e, por fim, focando em progênies e clonagem.

A *E. erythropappus* já é reconhecida pela sua boa produtividade de α -bisabolol, e possui uma considerável diversidade genética entre as populações naturais (Pádua et al., 2021). Variabilidade genética também foi encontrada para a espécie em testes de progênies para o crescimento inicial até os 30 meses (Avelar et al., 2021). Contudo, há poucas informações quanto ao crescimento de diferentes procedências na idade de exploração da cultura, aos 11 anos.

Nesse contexto, este trabalho visou: (I) estimar os parâmetros genéticos para caracteres de crescimento de *E. erythropappus* em idade de exploração; (II) estimar as correlações entre os caracteres de crescimento entre si e com variáveis ambientais das procedências; e (III) indicar as procedências e progênies mais promissoras.

MATERIAL E MÉTODOS

O teste de procedências e progênies foi instalado em janeiro de 2005 na zona rural de Baependi, Minas Gerais, Brasil (21°57'52.35"S; 44°45'45.88"O). A região apresenta clima Cwb (tropical de altitude) com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos, com temperatura média anual de 18,5°C e pluviosidade de 1400 mm. Sementes de polinização aberta foram coletadas de cinco procedências (Delfim Moreira, Baependi, Carrancas, Itabirito e Morro do Pilar), e dentro de cada procedência, foram coletadas de 20 a 24 progênies, totalizando 116 progênies (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1- Coordenadas geográficas, altitude, clima, temperatura média anual e número de progênies de cada procedência de *Eremanthus erythropappus*.

Procedência	Progênies	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Clima	T (°C)
Delfim Moreira	24 (26-50)	-22,50392438	-45,27919975	1200	Cwb	17,0
Baependi	24 (51-75)	-21,79987416	-44,89627636	893	Cwb	18,5
Carrancas	24 (76-100)	-21,48346426	-44,64443417	1052	Cwa	20,7
Itabirito	24 (101-125)	-20,24505001	-43,80469534	848	Cwa	17,4
Morro do Pilar	20 (1-25)	-19,21642284	-43,37687709	760	Cwb	22,0

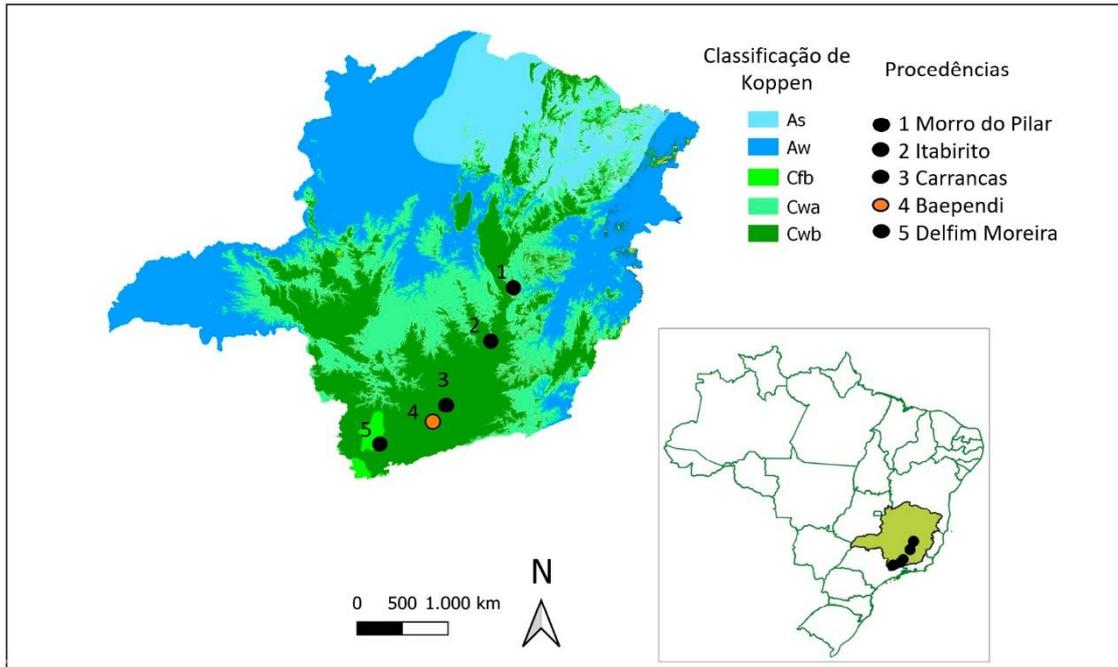


Figura 1 – Mapa do estado de Minas Gerais e sua classificação climática segundo Köppen com a localização das procedências de *Eremanthus erythropappus* e a localização do teste genético em Baependi, MG.

O teste de procedências e progênies foi implantado em delineamento de blocos completos casualizados, com sete repetições e parcelas lineares de seis plantas. O preparo da área constou de sulcamento a 30 cm de profundidade, com o plantio sendo realizado em espaçamento de 2,5 m x 2,0 m, com adubação de plantio de 150 g de NPK (08:28:16) por planta. Ao longo do período experimental, foram realizados o controle de formigas cortadeiras e as prevenções a incêndios.

Aos onze anos após a implantação, foram avaliados a sobrevivência (Sob), a altura (H), por meio de régua graduada (m), e o diâmetro à altura do peito (DAP-cm), tendo a circunferência mensurada com fita métrica e posterior conversão para diâmetro. Em seguida, o volume individual foi estimado segundo o modelo de Schumacher e Hall (Equação 1) parametrizado para esse conjunto de dados, utilizando somente o fuste principal.

$$\ln(Vol) = -8,78608 + 1,83257 \ln(DAP) + 0,47149 \ln(H) \quad (\text{Equação 1})$$

$$R^2(\%) = 77,6; S_{xy}(m^3) = 0,0007;$$

Sendo: Vol = volume 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.

Para estimar os componentes de variância e predizer os valores genéticos, foi utilizado o procedimento de máxima verossimilhança residual e melhor preditor linear não viesado

(REML/BLUP). Para isso utilizou-se o modelo estatístico $y = Xr + Za + Wp + Ts + e$, 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 (assumidos como aleatórios), s é vetor dos efeitos de população ou procedência (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas X , Z , W e T representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As significâncias dos efeitos aleatórios de genótipos, parcelas e procedências (populações) foram testadas pela razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio Test* – LRT) a 1% de probabilidade de erro, em uma análise de deviance para cada característica. Foram realizadas correlações de Pearson com as médias fenotípicas e as variáveis ambientais para cada procedência. As médias genotípicas e as correlações genéticas e fenotípicas foram obtidas pelos modelos 5 e 120 do *software* SELEGEN REML/BLUP (Resende, 2016).

O índice de coincidência (IC) foi utilizado para avaliar a eficiência de seleção das progênies entre as características para os seguintes cenários de seleção e intensidades de seleção: 10 melhores progênies (8,62%), 20 melhores progênies (17,24%), 30 melhores progênies (25,86%), 40 melhores progênies (34,48%) e 50 melhores progênies (43,10%). Para o cálculo foram utilizadas as 116 progênies, sendo aplicada a fórmula de Hamblin e Zimmermann (1986):

$$IC = \frac{A-C}{M-C} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: C é o número de progênies superiores selecionadas, devido ao acaso. Assume-se que o número de progênies superiores selecionado, uma proporção igual à intensidade de seleção coincida por acaso. A é o número de progênies superiores selecionadas, comum às diferentes características. M é o número de progênies superiores selecionadas em uma das características.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve significância dos efeitos de genótipos pelo teste de razão de verossimilhança para todas as variáveis analisadas (Tabela 2). Pode-se inferir que há variabilidade para a seleção de genótipos superiores para as características de altura, DAP, volume e sobrevivência dentro das populações. O efeito de procedências somente não foi significativo quando avaliada a altura das plantas de *E. erythropappus*, não sendo possível, portanto, o melhoramento desta característica via a seleção de procedências.

Tabela 2- Análise de deviance (ANADEV) para altura, diâmetro à altura do peito (DAP), volume e sobrevivência de procedências e progênies de *Eremanthus erythropappus*, aos 11 anos de idade em Baependi, MG.

Modelos	Altura		DAP		Volume		Sobrevivência	
	DEV	LRT	DEV	LRT	DEV	LRT	DEV	LRT
Completo	1760		5750,25		-37484,99		-3663,93	
(-) genótipos	1765	5,02*	5766,05	15,8*	-37476,07	8,92*	-3659,87	4,06*
(-) parcelas	2910	1150*	5990,93	240,68*	-37212,21	272,78*	-3424,18	239,75*
(-) procedências	1763	2,67	5755,62	5,37*	-37480,13	4,86*	-3623,28	40,65*

DEV – Deviance, LRT - Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; *significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de qui-quadrado; (-) modelo sem o referido efeito.

Dentro das estimativas da variação fenotípica (V_f), é possível notar a maior influência das variâncias ambientais (V_{parc} e V_e) e uma menor contribuição da variância genética (V_a e V_{proc}) para todas as características analisadas (Tabela 3). Essa variação devido a condições ambientais, é ressaltada quando observados os coeficientes de determinação da parcela (c^2_{parc}), que se referem à variação dentro dos blocos. Valores de c^2_{parc} acima de 10% não são recomendados (Resende, 2002), e quando acima desse valor, sugere-se reduzir o número de plantas na parcela e aumentar o número de repetições no experimento (Kubota et al., 2015), reduzindo assim o efeito interno das parcelas e aumentando a repetição e o controle ambiental dentro da repetição. Esse mesmo cenário foi encontrado em outro teste de progênies de *E. erythropappus* com seis plantas por parcelas (Avelar et al., 2021), indicando que a redução do número de plantas na parcela e aumento do número de blocos é importante para os programas de melhoramento da espécie.

Tabela 3- Estimativas dos parâmetros genéticos para altura (m), diâmetro à altura do peito (DAP-cm), volume (m^3) e sobrevivência (%) das procedências e progênies de *Eremanthus erythropappus* aos 11 anos, em Baependi, MG.

Parâmetros	Altura	DAP	Volume	Sobrevivência
σ_a^2	0,123	0,359	0,000002	0,010
σ_{parc}^2	0,432	0,448	0,000003	0,032
σ_{proc}^2	0,009	0,024	0,000000	0,008
σ_e^2	0,309	1,186	0,000008	0,141
σ_f^2	0,873	2,018	0,000013	0,191

h_r^2	0,141	0,178	0,132	0,055
c_{parc}^2	0,495	0,222	0,247	0,165
c_{proc}^2	0,010	0,012	0,011	0,044
$CV_{gi}\%$	8,226	13,921	25,449	13,838
$CV_{gp}\%$	4,113	6,960	12,724	6,919
$CV_e\%$	16,559	19,296	42,311	32,157
CV_r	0,496	0,721	0,430	0,601
Média geral	4,26 m	4,31 cm	0,005 m ³	74%

σ_a^2 – variância genética aditiva; σ_{parc}^2 – variância ambiental entre parcelas; σ_{proc}^2 – variância genética entre procedências; σ_e^2 – variância residual; σ_f^2 – variância fenotípica individual; h_r^2 – herdabilidade individual no sentido restrito; c_{parc}^2 – coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; c_{proc}^2 – coeficiente de determinação dos efeitos de procedências; $CV_{gi}\%$ – coeficiente de variação genética aditiva individual; $CV_{gp}\%$ – coeficiente de variação genotípica entre populações; $CV_e\%$ – coeficiente de variação residual; CV_r – coeficiente de variação relativa.

Dentro das estimativas dos componentes da variância genética, houve uma maior contribuição da variância genética aditiva (σ_a^2) do que da variância genética entre procedências (σ_{proc}^2) para todas as características, comportamento similar ao das procedências de *Toona ciliata*, conforme demonstrado por Santos et al. (2021). Devido a uma baixa expressão de V_{proc} , houve um baixo coeficiente de determinação dos efeitos de procedências (c_{proc}^2), todos inferiores a 4,5%, semelhantes aos encontrados em procedências de *Eucalyptus urophylla* em testes do Brasil (Hodge & Dvorak, 2015). Esses valores indicam que, embora exista uma variação entre as procedências, esta é modesta em comparação a variações entre os indivíduos.

O baixo valor de c_{proc}^2 , corrobora com os valores dos coeficientes de variação $CV_{gi}\%$ e $CV_{gp}\%$, que quantificam a heterogeneidade dos genótipos, sendo observado que o $CV_{gi}\%$, que mede a magnitude da variação genética entre os indivíduos, é o dobro do $CV_{gp}\%$ para todas as características. A mesma relação, $CV_{gi}\%$ ser o dobro de $CV_{gp}\%$, foi observada por Santos et al. (2021) nas procedências de *T. ciliata*. Embora as populações sejam mais homogêneas para as características de crescimento do que as variações entre indivíduos, ainda é possível obter ganhos na seleção destas em conjunto com a seleção entre famílias e indivíduos.

As estimativas dos coeficientes de herdabilidade no sentido restrito (h_r^2) variaram entre 0,05 para sobrevivência e 0,17 para o DAP, sendo consideradas baixas. A estimativa da herdabilidade é altamente influenciada pela homogeneidade do ambiente experimental (White

et al., 2007), portanto, as herdabilidades para a *E. erythropappus* foram baixas devido aos altos valores da variância ambiental obtidas no teste. Herdabilidade semelhante foi obtida para a altura de *E. erythropappus* em diferentes idades, variando de 0,08 a 0,18 (Avelar et al., 2021). Já, em procedências de *T. ciliata*, estimativas maiores de herdabilidade foram obtidas para altura (0,30) e DAP (0,15), porém com redução dos valores com o envelhecimento do plantio, devido a fatores ambientais, como a competição intraespecífica (Santos et al., 2021).

As herdabilidades para as características de interesse comercial, em espécies florestais, normalmente variam entre 0,10 e 0,30, sendo apenas, características relacionadas à qualidade da madeira as que chegam a atingir herdabilidades superiores a 0,40, conforme relatado por White et al. (2007). Os mesmos autores ressaltam que as herdabilidades no sentido restrito, estimadas a partir de um único teste e em um só local, normalmente, são superestimadas devido a não consideração do efeito da interação genótipos x ambientes.

O coeficiente de variação residual ($CV_e\%$) apresentou variação de 16,5% (altura) a 42,31% (volume). As maiores magnitudes podem estar associadas à resposta diferencial dos genótipos a fatores estressantes, como a toxidez por alumínio, a baixa fertilidade do solo, o déficit hídrico, as altas temperaturas, os ataques de pragas e os incêndios que podem ocorrer ao longo do cultivo (Santos et al., 2021). Em experimentos de campo são esperados altos valores de $CV_e\%$, sendo considerados adequados aqueles entre 10% a 20% (Pimentel-Gomes, 2009). Nessas condições, podem ser considerados adequados os $CV_e\%$ para altura e DAP, e os altos valores de $CV_e\%$ para o volume podem estar associados à estimação indireta deste, acumulando os resíduos das variáveis que fazem parte de seu cálculo.

Os valores do coeficiente de variação relativo foram todos inferiores a 1, devido a maior magnitude do $CV_e\%$ em relação ao $CV_{gi}\%$, indicando uma maior variação devido ao ambiente do que a variação estimada devido ao componente genético. Esse cenário parece ser comumente encontrado em experimentos genéticos com espécies nativas, conforme observado em *Tachigali vulgaris* (Cruz et al., 2020), *Dipteryx alata* (Andrade et al., 2020) e *E. erythropappus* (Avelar et al., 2021). Esse cenário não é o mais favorável para a seleção (Massaro et al., 2010), contudo, Resende & Duarte (2007) afirmam que embora com o CV_r abaixo de 1, elevada acurácia e precisão podem ser alcançadas, caso o número de repetições seja superior a cinco. Portanto, mesmo com os baixos valores de coeficiente de variação relativo, ainda é possível realizar seleção com boa acurácia devido ao uso de sete blocos no delineamento experimental.

Conforme relatado, a *E. erythropappus* possui um crescimento lento, estando sujeita a uma intensa variação ambiental devido aos fatores inerentes ao seu cultivo, como a elevada

demanda e duração de medidas de controle de competição com plantas daninhas, ou mesmo pela falta de protocolos adequados para a sua silvicultura, como por exemplo, a carência de informações acerca de protocolos de correção do solo e adubação. Esses fatores afetam a qualidade das estimativas dos parâmetros genéticos para a espécie, conforme relatado por Avelar et al. (2021), e observados neste trabalho. Mudanças no delineamento dos testes genéticos com a espécie devem ser considerados, como a redução do número de plantas por parcela e o aumento do número de repetições, ajustes que poderiam reduzir o c_{parc}^2 e $CV_e\%$ e aumentar a precisão das estimativas de herdabilidade.

Há uma alta correlação positiva, tanto fenotípica (0,96), quanto genotípica (0,98) entre as variáveis DAP e o volume (Tabela 4). Correlações moderadas foram observadas entre a altura e o DAP, 0,70 e 0,71 para as correlações fenotípicas e genotípicas, respectivamente. As correlações fenotípicas e genotípicas entre a altura e o volume foram coincidentes para ambas, 0,72, sendo consideradas moderadas. O fato de todas as correlações serem positivas e moderadas a forte é benéfica para o programa de melhoramento da espécie, uma vez que há possibilidade de ganhos com a seleção indireta. As altas correlações fenotípicas e genotípicas podem ser explicadas pela ligação gênica ou pela pleiotropia (Falconer e Mackay, 1996).

Tabela 4- Correlações entre a altura, o diâmetro à altura do peito (DAP) e o volume em procedências e progênies de *Eremanthus erythropappus* aos 11 anos, em Baependi, MG.

Características	Altura	DAP	Volume
Altura	1	0,71	0,72
DAP	0,70	1	0,98
Volume	0,72	0,96	1

Acima da diagonal encontram-se as correlações genotípicas e abaixo da diagonal, as correlações fenotípicas.

É possível notar o melhor desempenho da procedência de Itabirito para o crescimento em DAP e volume, sendo esta a procedência que apresentou os maiores efeitos genotípicos para essas características (Tabela 5). As procedências de Carrancas e Baependi apresentaram efeitos genotípicos negativos para o DAP e volume. Logo, o uso de sementes da procedência Carrancas para futuros plantios, reduzirá o DAP médio em 0,09 cm, enquanto o uso de sementes da procedência Baependi, reduzirá o DAP médio em 0,19 cm.

Tabela 5- Estimativas dos efeitos genotípicos (g), valor genético (u + g), ganho genético e nova média com a seleção das procedências de *Eremanthus erythropappus* para o diâmetro à altura do peito (DAP), volume e sobrevivência aos 11 anos, em Baependi, MG.

	Ordem	Procedências	g	u + g	Ganho	Nova Média
(DAP) (cm)	1	Itabirito	0,146	4,453	0,146	4,453
	2	Delfim Moreira	0,065	4,371	0,105	4,412
	3	Morro do Pilar	0,062	4,369	0,091	4,398
	4	Carrancas	-0,086	4,221	0,047	4,354
	5	Baependi	-0,186	4,121	0,000	4,307
	Ordem	Procedências	g	u + g	Ganho	Nova Média
Volume (m ³)	1	Itabirito	0,0003	0,0054	0,0003	0,0054
	2	Morro do Pilar	0,0002	0,0053	0,0003	0,0054
	3	Delfim Moreira	0,0001	0,0051	0,0002	0,0053
	4	Carrancas	-0,0002	0,0048	0,0001	0,0052
	5	Baependi	-0,0004	0,0047	0,0000	0,0051
	Ordem	Procedências	g	u + g	Ganho	Nova Média
Sobrevivência (%)	1	Carrancas	6,6%	80,4%	6,6%	80,4%
	2	Baependi	6,2%	80,1%	6,4%	80,2%
	3	Itabirito	1,9%	75,7%	4,9%	78,7%
	4	Delfim Moreira	0,5%	74,3%	3,8%	77,6%
	5	Morro do Pilar	-15,2%	58,6%	0,0%	73,8%

Maiores valores de sobrevivência foram encontrados nas procedências Carrancas e Baependi, indicando que estas possuem alelos interessantes de adaptabilidade aos fatores edafoclimáticos da região de plantio. É importante salientar que a menor sobrevivência da procedência Morro do Pilar pode ter mascarado os valores de crescimento da mesma, uma vez que a competição dentro e entre as parcelas ditam o crescimento dos indivíduos, logo é possível que o DAP e o volume individual da procedência de Morro do Pilar estejam superestimados.

As variáveis ambientais das regiões originais das procedências e os aspectos silviculturais observados no plantio em Baependi apresentam uma correlação moderada entre a latitude e o desempenho em altura, volume e sobrevivência (Tabela 6). Para a sobrevivência, a correlação foi positiva, significando que quanto maior a latitude ou longitude do local de origem do material, maior será a sobrevivência. A altura e o volume apresentam correlações negativas com a latitude e a longitude. O DAP apresentou uma fraca correlação entre todas as variáveis analisadas, não havendo correlação com a altitude. Não houve correlações significativas para a temperatura média anual (°C) com a altura e o volume de *E. erythropappus*.

Tabela 6- Correlação de Person entre o valor genético para a altura, o diâmetro à altura do peito (DAP), o volume e a sobrevivência e as variáveis ambientais das procedências de *Eremanthus erythropappus* aos 11 anos, em Baependi, MG.

Características ambientais	Altura	DAP	Volume	Sobrevivência
Latitude*	-0,70	-0,45	-0,65	0,74
Longitude*	-0,71	-0,49	-0,68	0,70
Altitude (m)	-0,43	-0,09	-0,36	0,50
Temperatura média anual (°C)	0,08	-0,20	-0,06	-0,54

*O módulo da latitude e longitude foram utilizados para os cálculos de correlação

As moderadas correlações entre a latitude e longitude com as variáveis de altura e sobrevivência podem indicar uma variação clinal, ou seja, um contínuo gradiente genético associado a uma variação ambiental. Contudo, é necessário testar mais procedências para ter um padrão de distribuição mais abrangente. Esse comportamento evidencia que eventos de seleção natural proporcionaram a manutenção de indivíduos melhores adaptados ao gradiente ambiental, sendo uma pressão de seleção que causou mudanças nas frequências alélicas de uma forma contínua, principalmente sobre *loci* que controlam características voltadas para a adaptação (White et al., 2007).

Estudos do comportamento das populações e das variáveis ambientais são importantes ferramentas para direcionar a prospecção de coleta de sementes, indicação de locais de plantio e, sobretudo, para estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas. Procedências de *Eucalyptus tereticornis*, por exemplo, apresentaram uma alta correlação entre as variáveis de crescimento e a temperatura média anual (Booth, 2019), chamando a atenção para futuras seleções dentro da espécie em um cenário de aumento da temperatura média anual, devido aos efeitos das mudanças climáticas. Neste cenário, embora de moderada magnitude, há uma correlação negativa (-0,54) entre a sobrevivência de *Eremanthus erythropappus* e o aumento da temperatura média anual, podendo haver danos na conservação e produção desta espécie devido ao aumento progressivo nesta característica ambiental.

Essas observações corroboram com as simulações de Carvalho et al. (2019), em estudo que demonstrou que a precipitação do trimestre mais úmido, a temperatura do trimestre mais frio e a temperatura média anual foram as variáveis que mais influenciaram os modelos de nicho ecológico para a conservação de *Eremanthus erythropappus*. Os mesmos autores também reforçam que a altitude é uma variável importante na conservação da espécie, sendo mais provável encontrar populações de *Eremanthus erythropappus* em maiores altitudes, o que

corroborar com a correlação positiva (0,5) desta característica ambiental com a sobrevivência (Tabela 6).

Mais da metade das famílias de *Eremanthus erythropappus* podem ser consideradas ruins do ponto de vista silvicultural, pois são famílias que apresentam BLUP negativo e que, por consequência, reduziriam a média populacional da altura, do DAP e do volume (Figura 2). Quanto à sobrevivência, há um maior número de famílias boas dentro das progênes analisadas. Há a possibilidade de explorar os ganhos com as seleções das melhores famílias, contudo deve-se tomar cuidado na seleção para altura e volume, devido a menor proporção de famílias com bons valores genotípicos.

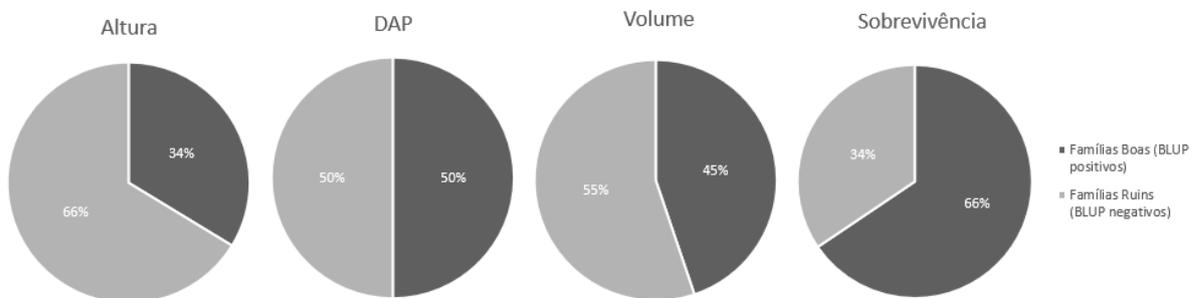


Figura 2- Porcentagem de progênes boas (BLUP positivo) e progênes ruins (BLUP negativo) de *Eremanthus erythropappus* para a altura, diâmetro a altura do peito (DAP), volume e sobrevivência aos 11 anos, em Baependi, MG.

É possível notar que há uma elevada coincidência entre as melhores famílias para altura, DAP e volume, destacando as famílias 4, 6, 37, 118 e 124 por aparecerem entre as dez melhores famílias para todas as características mencionadas (Tabela 7). O padrão de coincidência continua entre essas características, caso haja a seleção de um maior número de famílias selecionadas (Tabela 8), dando destaque para a total coincidência entre as 20 melhores famílias para DAP e volume. Essa elevada coincidência é fruto da forte correlação fenotípica e genotípica entre essas características, apresentada na tabela 4, comprovando que a seleção direta para o DAP, variável de fácil mensuração em campo, gera ganhos indiretos consideráveis para o volume.

A sobrevivência aparenta não haver correlação com as características de crescimento, pois não há a presença de coincidência entre as dez famílias selecionadas (Tabela 7) e há um coeficiente negativo de coincidência nas diferentes intensidades de seleção (Tabela 8). Contudo, devido à elevada presença de boas famílias, 66%, pode-se esperar ganhos modestos para essa característica.

Tabela 7- Ordenamento das dez melhores progênies de *Eremanthus erythropappus* para a altura, diâmetro à altura do peito (DAP), volume e sobrevivência aos 11 anos e seus respectivos ganhos com a seleção, em Baependi, MG.

Ordem	Famílias			
	Altura	DAP	Volume	Sobrevivência
1	4	37	7	76
2	6	109	109	81
3	37	118	37	53
4	8	14	118	95
5	11	124	101	63
6	118	6	124	74
7	57	7	6	97
8	124	4	4	92
9	17	36	14	93
10	3	115	3	112
Ganho (%)	9,24	17,50	33,33	14,54

Em negrito as famílias coincidentes para as características de altura, DAP e volume.

Tabela 8- Índice de coincidência na seleção de progênies de *Eremanthus erythropappus* para as combinações de altura (H), diâmetro à altura do peito (DAP), volume (Vol) e sobrevivência (Sob) em diferentes intensidades de seleção aos 11 anos, em Baependi, MG.

Número de selecionados	Intensidad e de seleção	Número de selecionados ao acaso (C)	Índice de coincidência (%)					
			DAP -H	DAP- Sob	DAP- Vol	H- Sob	H- Vol	Sob- Vol
10	8,62	0,74	46,0	-8,0	78,4	-8,0	56,8	-8,0
20	17,24	2,97	53,0	-17,4	100,0	-11,6	53,0	-17,4
30	25,86	6,68	52,8	-24,4	82,8	-11,5	52,8	-20,1
40	34,48	11,88	64,4	-13,8	92,9	-6,7	64,4	-10,2
50	43,1	18,57	71,4	-1,8	90,5	-1,8	74,5	-8,2

Os parâmetros encontrados apresentam importantes avanços para o gerenciamento do programa de melhoramento de *Eremanthus erythropappus*. A baixa variabilidade genética entre

as diferentes procedências estudadas para características de crescimento e adaptação revelam que um maior esforço deve ser dado na seleção de progênies.

A positiva e alta correlação entre a altura e o diâmetro à altura do peito nas progênies apresenta uma oportunidade de fazer uma seleção indireta com ganhos consideráveis, otimizando assim o processo de fenotipagem dos indivíduos, uma vez que somente a medida mais fácil seria realizada, geralmente o DAP. A possibilidade da seleção indireta pouparia tempo e recursos nas avaliações, sem representar perdas de ganho com a seleção.

O teste de procedências e progênies pode ser desbastado, mantendo de um a dois indivíduos das melhores famílias, por parcela, usando uma intensidade moderada de 40%. As sementes de polinização aberta, coletadas após o desbaste, podem ser usadas para implantar novos testes de progênies. Outro desbaste, mais severo, pode ser realizado após a cólera de sementes descrita anteriormente, mantendo somente as dez melhores famílias, com a finalidade de converter o experimento em um pomar de sementes melhoradas.

CONCLUSÃO

As procedências e progênies de *Eremanthus erythropappus* apresentaram diversidade genética favorável para a seleção em altura, diâmetro à altura do peito, volume e sobrevivência, contudo, os parâmetros de herdabilidade apresentaram-se baixos. Pouca variação genética está contida entre as procedências, estando mais presente dentro das progênies.

As procedências Itabirito e Delfim Moreira se destacaram no DAP e volume, enquanto as procedências de Carrancas e Baependi se destacaram na sobrevivência. As progênies 4, 6, 37, 118 e 124 se destacam entre as dez melhores para a altura, o DAP e o volume de *Eremanthus erythropappus*, quando avaliadas aos 11 anos.

REFERÊNCIAS

Andrade, H. S. F., Baroni, G. R., Brancalion, P. H. S., Moraes, M. L. T., & Silva, P. H. M. (2020). Parâmetros genéticos de crescimento inicial e frutificação de *Dipteryx alata* Vogel em teste de progênie e espaçamento. *Scientia Forestalis*, 48(126), e3074. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.17>

Araújo, E. J. G. D., Péllico Netto, S., Scolforo, J. R. S., Machado, S. D. A., Morais, V. A., & David, H. C. (2018). Sustainable Management of *Eremanthus erythropappus* in Minas Gerais, Brazil—A Review. *Floresta e Ambiente*, 25. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.051616>

- Avelar, M. L. M., Silva Júnior, V. P. D., Rosado, L. R., Gonçalves, F. M. A., Pavan, A. J., & Melo, L. A. D. (2021). Caracterização genética no crescimento inicial de progênies de *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish em Aiuruoca, MG, Brasil. *Hoehnea*, 48. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-14/2020>
- Booth, T. H. (2019). Assessing the thermal adaptability of tree provenances: an example using *Eucalyptus tereticornis*. *Australian Forestry*, 82(4), 176-180. <https://doi.org/10.1080/00049158.2019.1680594>
- Carvalho, M. C., Gomide, L. R., Acerbi, F. W., & Tng, D. (2019). Potential and future geographical distribution of *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish: a tree threatened by climate change. *Floresta e Ambiente*, 26. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.045518>
- Cruz, S. L., Pedrozo, C. Â., Oliveira, V. X. A., Silva, A. M. D., Resende, M. D. V. D., & Gonçalves, D. D. A. (2020). Parâmetros genéticos e seleção inicial de procedências e progênies de taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) em Roraima. *Ciência Florestal*, 30, 258-269. <https://doi.org/10.5902/1980509831631>
- de Pádua, J. A. R., Rocha, L. F., Brandão, M. M., de Almeida Vieira, F., & de Carvalho, D. (2021). Priority areas for genetic conservation of *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish in Brazil. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(6), 2483-2494. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01144-1>
- Donadelli, F. M. D. M. (2012). Motivações e resultados da certificação florestal: um estudo de caso cadeia de valor da candeia. *Ambiente & Sociedade*, 15, 97-121. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300007>.
- Falconer, D. S., & Mackay, T. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed., 480 p.). London: Pearson.
- HAMBLIN, J. E., & ZIMMERMANN, M. J. O. (1986). Breeding common bean for yield in mixtures. *Plant Breeding Reviews*, 4, 245-272.
- Hodge, G. R., & Dvorak, W. S. (2015). Provenance variation and within-provenance genetic parameters in *Eucalyptus urophylla* across 125 test sites in Brazil, Colombia, Mexico, South

Africa and Venezuela. *Tree Genetics & Genomes*, 11(3), 1-18.
<https://doi.org/10.1007/s11295-015-0889-3>

Kageyama, P.Y.; Vencovsky, R. (1983) Variação genética em uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 24:9-26.

Kubota, T. Y. K., Moraes, M. A., Silva, E. C. B., Pupin, S., Aguiar, A. V., de Moraes, M. L. T., Freitas, M. L. M., Sato, A. S., Machado, J. A. R., & Sebbenn, A. M. (2015). Variabilidade genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Balfourodendron riedelianum* (Engler). *Scientia Forestalis*, 43(106), 407-415.

Massaro, R. A. M., Bonine, C. A. V., Scarpinati, E. A., & Paula, R. C. (2010). Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. *Ciência Florestal*, 20(4), 597-609. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982418>.

Pimentel-Gomes, F. (2009). *Curso de estatística experimental* (15. ed.). Piracicaba: FEALQ.

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

Resende, M. D. V. D. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16, 330-339.

Resende, M. D. V., & Duarte, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37(3), 182-194.

Santos, H. G., Rosado, L. R., Rosado, S. C. S., Melo, L. A., & Gonçalves, F. M. A. (2021). Parâmetros genéticos para caracteres silviculturais em cedro australiano. *Scientia Forestalis*, 49(130), e3467. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.05>

White, T. L., Adams, W. T., & Neale, D. B. (Eds.). (2007). *Forest genetics*. Cabi.

ARTIGO 2 – Eficiência da seleção precoce de *Eremanthus erythropappus* para características silviculturais

Efficiency of early selection of *Eremanthus erythropappus* for silvicultural traits

ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA SCIENTIA FORESTALIS

Resumo

A validação da seleção precoce corresponde a um avanço na eficiência do melhoramento genético, possibilitando a antecipação da seleção e o aumento do ganho em relação ao tempo. Essa técnica é especialmente importante em espécies cujo melhoramento é incipiente, como a *Eremanthus erythropappus*. O objetivo desse trabalho foi estimar a idade ótima de seleção para altura (H) e diâmetro à altura do peito (DAP) em progênies de *E. erythropappus*. O experimento foi implantado em Baependi-MG, com 116 famílias de meios irmãos, no delineamento de blocos casualizados, com parcelas lineares de seis plantas e sete repetições. Foram mensurados nas idades de 2; 2,5; 4; 4,5; 5,5 e 11 anos a H e o DAP. A estimação dos parâmetros genéticos, correlação genética e eficiência da seleção precoce entre as idades para H e DAP foram analisadas via *software* Selegen RELM/BLUP. Com a idade, de modo geral, há um acréscimo da variância genética aditiva e ambiental. A herdabilidade decresceu com a idade para H e aumentou para DAP. Há correlação genética positiva e moderada entre as idades para cada característica. A seleção precoce é eficiente para H e DAP em *E. erythropappus*. A idade ótima de seleção para H foi aos 4 anos e para o DAP foi aos 4,5 anos.

Palavras-chave: Candeia; Correlação entre idades; Herdabilidade; Ganho genético com seleção.

Abstract

The validation of early selection corresponds to an advance in the efficiency of genetic improvement, making it possible to anticipate selection and increase the gain over time. This technique is especially important in species whose improvement is incipient, such as *Eremanthus erythropappus*. The objective of this work was to estimate the optimal age of selection for height (H) and diameter at breast height (DBH) in *E. erythropappus* progenies. The test was implemented in Baependi-MG, with 116 half-sib families, in a complete randomized block design, with linear plots of six plants and seven replications. They were measured at ages 2; 2.5; 4; 4.5; 5.5 and 11 years at H and DAP. The estimation of genetic parameters, genetic correlation and efficiency of early selection between ages for H and DAP were analyzed using Selegen RELM/BLUP software. With age, in general, there is an increase in additive and environmental genetic variance. Heritability decreased with age for H and increased for DAP. There is a positive and moderate genetic correlation between ages for each trait. Early selection is efficient for H and DAP in *E. erythropappus*. The optimal age of selection for H was 4 years and for DAP it was 4.5 years.

Keywords: Candeia; Age-age correlation; heritability; selection gain.

1. INTRODUÇÃO

Espécies florestais possuem uma grande longevidade, podendo levar anos para florescer e produzir sementes, enquanto que a rotação da exploração comercial pode ocorrer, em condições tropicais, entre 5 a 30 anos, a depender da espécie e do produto final. Essas características tornam o melhoramento genético florestal uma atividade demorada e onerosa, uma vez que a maior precisão das avaliações ocorre no ano da colheita.

Visando o aumento da eficiência do melhoramento genético, Karki e Lee (1998) sugeriram duas abordagens. A primeira é o estudo do florescimento precoce, visando reduzir o tempo para realizar o cruzamento entre as matrizes, de forma natural ou artificial. A segunda, pela seleção indireta, considerando os parâmetros genéticos, a intensidade de seleção e a correlação entre as características juvenis e maduras, ou em idade precoce e de rotação, visando reduzir a idade de seleção.

A seleção precoce se destaca por aumentar o ganho genético por unidade de tempo (Li et al., 2021). A suposição subjacente é que a avaliação de características precoces guarda alta correlação com as características presentes ao final da rotação, principalmente as características de crescimento (Hallingbäck et al., 2018), sendo possível até propor uma idade ótima para a avaliação dos testes genéticos em campo, visando a maximização dos ganhos por unidade de tempo, por meio da análise dos dados de inventários recorrentes (Hallingbäck et al., 2018; Hiraoka et al., 2019).

Para avaliar a eficiência da seleção precoce e precisar a idade ótima de seleção, é fundamental o completo entendimento da herdabilidade e das correlações genéticas das características mensuradas em diferentes idades (Dong et al., 2019). A validação da seleção precoce para características de crescimento e produtividade já foi comprovada para diversas coníferas, como *Pinus elliottii* (Dieters et al., 1995), *Pinus taeda* (Xiang et al., 2003), *Pseudotsuga menziesii* (Ye e Jayawickrama, 2012), *Eucalyptus* ssp. e híbridos (Tambarussi et al., 2017), e *Ilex paraguariensis* (Wendling et al., 2018). Entretanto, não há dados sobre a seleção precoce em *Eremanthus erythropappus*.

Eremanthus erythropappus (DC.) MacLeish é uma espécie da família Asteraceae, apreciada pela extração de óleo essencial, com princípio ativo de α -bisabolol, utilizado pela indústria médica e cosmética (Donadelli, 2012), bem como pelo uso da madeira como mourão. É uma espécie pouco domesticada na qual o seu programa de melhoramento é incipiente. Nesse

contexto, o presente trabalho visou verificar a eficiência da seleção precoce e estimar uma idade ótima de seleção de progênies de polinização aberta de *Eremanthus erythropappus*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O teste genético foi instalado em janeiro de 2005 na zona rural de Baependi, Minas Gerais, Brasil (21°57'52.35"S; 44°45'45.88"O). A região apresenta clima Cwb (tropical de altitude) com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos, com temperatura média anual de 18,5°C e pluviosidade de 1400 mm. Sementes de polinização aberta foram coletadas de cinco procedências (Delfim Moreira, Baependi, Carrancas, Itabirito e Morro do Pilar), e dentro de cada procedência, foram coletadas sementes de 20 a 24 árvores matrizes, totalizando 116 progênies.

O experimento foi implantando no delineamento de blocos completos casualizados, com sete repetições e parcelas lineares de seis plantas. O preparo da área constou de sulcamento a 30 cm de profundidade, com o plantio sendo realizado em espaçamento de 2,5 m x 2,0 m, com adubação de plantio de 150 g de NPK (08:28:16) por planta. Ao longo do período experimental, foram realizados o controle de formigas cortadeiras, o controle de plantas daninhas e as prevenções a incêndios.

Todas as progênies foram mensuradas quanto à altura total (H), com auxílio de vara graduada em metro nas idades de 2; 2,5; 4; 4,5; 5,5 e 11 anos, e o diâmetro à altura do peito (DAP), com auxílio de fita métrica e posterior conversão, nas idades de 2,5; 4; 4,5; 5,5 e 11 anos. A média do crescimento geral da população para ambas as características, considerando somente os vivos foi registrada a cada inventário.

Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo *software* Selegen REML/BLUP (Resende, 2016). As estimações dos componentes de variância e a predição dos valores genéticos, para cada idade e variável mensurada, foram realizadas utilizando o procedimento

de máxima verossimilhança residual e melhor preditor linear não viesado (REML/BLUP), seguindo o modelo estatístico:

$$y = Xr + Za + Wp + Ts + e \quad (1)$$

No qual 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 (assumidos como aleatórios), s é vetor dos efeitos de procedência (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas X , Z , W e T representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As significâncias dos efeitos aleatórios de genótipos, parcelas e procedências (populações) foram testadas pela razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio Test* – LRT) a 1% de probabilidade de erro, em uma análise de deviance para cada característica e idade.

A correlação genética aditiva entre as características de crescimento e as idades foi calculada segundo a equação:

$$rG = \frac{\sigma_{axy}}{\sqrt{\sigma_{ax}^2 \sigma_{ay}^2}} \quad (2)$$

Em que σ_{axy} é a covariância do valor genético aditivo de cada característica mensurada na idade x (ax) e na idade y (ay), em que $x < y$; σ_{ax}^2 e σ_{ay}^2 são as variâncias genéticas aditivas, respectivamente nas idades ax e ay . As correlações fenotípicas entre as características e as idades foram calculadas usando fórmula similar a equação 2.

Foram realizados dois cenários de seleção: uma seleção direta realizada em cada uma das idades para cada uma das características, segundo a equação 3; e uma seleção indireta usando como característica alvo a altura e o DAP, aos 11 anos, idade de corte da espécie, segundo a equação 4. Para ambas as seleções, foram consideradas a seleção dos 40% melhores genótipos ($i = 0,97$).

$$R = ih\sigma_G \quad (3)$$

$$R_y(x) = i_x h_x r_G \sigma_{G_y} \quad (4)$$

Em que: x refere-se à característica de crescimento (H ou DAP) na idade precoce (ax) e y refere-se a mesma característica na idade madura (ay = 11 anos); i refere-se à intensidade de seleção; h refere-se à raiz quadrada da herdabilidade da característica; σ_G refere-se ao desvio padrão genotípico; r_G é à correlação genética aditiva entre as idades ax e ay.

Para o estudo da eficiência de seleção precoce foram consideradas as características de crescimento (H e DAP) na idade de 11 anos como alvo. Mantendo as mesmas intensidades de seleção entre as idades precoce (ax) e idade madura (ay = 11 anos) a eficiência da seleção precoce foi quantificada segundo a equação:

$$E = r_{G_{xy}} \frac{h_x}{h_y} \quad (5)$$

Em que: x refere-se à característica de crescimento (H ou DAP) na idade precoce (ax) e y refere-se à mesma característica na idade madura (ay = 11 anos); $r_{G_{xy}}$ é a correlação genética aditiva entre as idades ax e ay; h_x e h_y são as raízes quadradas das herdabilidades da característica nas idades ax e ay.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das progênies em altura e DAP, aos 11 anos, foram de 4,26 m e 4,31 cm, respectivamente (Figura 1). Houve um incremento de 0,09 m ano⁻¹ e 0,16 cm ano⁻¹, em H e DAP, respectivamente, entre as idades de 5,5 e 11 anos. As médias de crescimento foram inferiores às apresentadas e estimadas por Araújo et al. (2012), nas quais em espaçamento 2,0 m x 1,5 m aos oito anos em Carrancas - MG apresentavam média de DAP de 6,57 cm e altura estimada superior a 5 m.

O baixo incremento anual entre as idades de 5,5 e 11 anos indica que o plantio estava próximo do limite de produção imposto pelo sítio. O local de plantio apresenta solo raso e com alta presença de rochas, embora as características edáficas sejam similares às encontradas pela

espécie nos maciços florestais naturais e nos plantios (Araújo et al., 2018), esse ambiente limita o crescimento potencial máximo da espécie, objetivo principal dos programas de melhoramento.

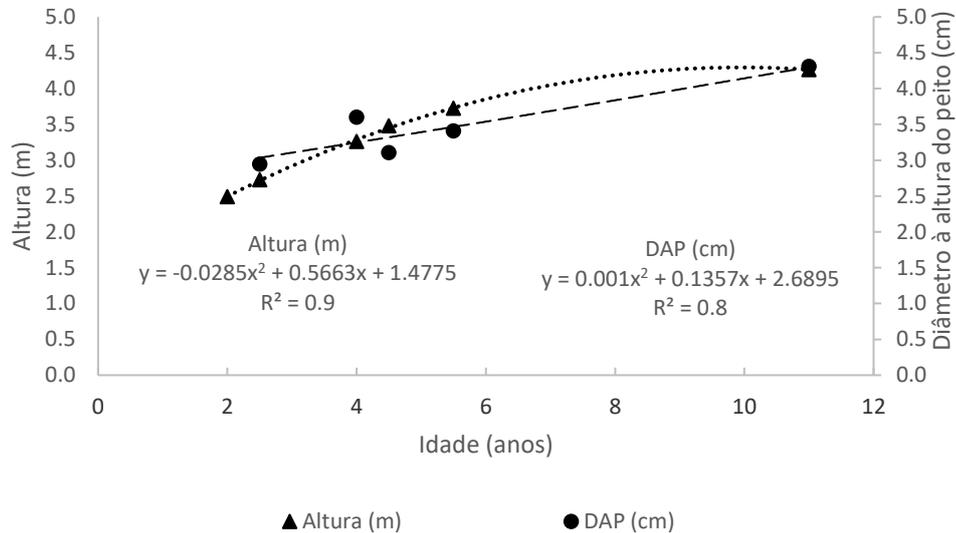


Figura 1- Crescimento médio em altura e diâmetro à altura do peito (DAP) de progênies de *Eremanthus erythropappus*, ao longo de 11 anos, em Baependi, MG.

Houve significância dos efeitos de genótipos pelo teste de razão de verossimilhança para H e DAP em todas as idades (Tabela 1). Pode-se inferir que há variabilidade genética para as características dentro das populações ao longo dos anos. O efeito de procedências em DAP não foi significativo até os 4,5 anos e tornou-se distinguível apenas na idade de 11 anos. Relação contrária à observada para a altura, em que, inicialmente, até os 5,5 anos se apresentou majoritariamente significativa e, aos 11 anos, não significativa.

Tabela 1- Análise de deviance (ANADEV) para altura (H) e diâmetro à altura do peito (DAP), de procedências e progênies de *Eremanthus erythropappus*, em diferentes idades, em Baependi, MG.

		2 anos		2,5 anos		4 anos		4,5 anos		5,5 anos		11 anos	
		DEV	LRT	DEV	LRT	DEV	LRT	DEV	LRT	DEV	LRT	DEV	LRT
H	Inteiro	-4118		-2939		-1487		-399		220		1760	
	(-) gen	-4017	100*	-2830	109*	-1409	77*	-344	55*	260	39*	1765	5,02*
	(-) parc	-3849	269*	-2667	272*	-1051	436*	35	435*	771	551*	2910	1150*
	(-) pop	-4100	18*	-2927	11*	-1484	3,01 ^{ns}	-395	4,36*	224	3,93*	1763	2,67 ^{ns}
DAP	Inteiro	-	-	118		384		2891		3528		5750	
	(-) gen	-	-	123	4,59*	387	3,33*	2924	33*	3549	20*	5766	15*
	(-) parc	-	-	146	28,3*	419	34,73*	3152	261*	3808	280*	5990	240*
	(-) pop	-	-	119	0,63 ^{ns}	384	0,47 ^{ns}	2892	1,44 ^{ns}	3531	3,02 ^{ns}	5755	5,37*

DEV – deviance; LRT - Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; * significativo/ ^{ns} não significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de qui-quadrado; (-) modelo sem o referido efeito; gen – genótipo; parc – parcela, pop – população.

É notável que a altura, nos primeiros anos, é pouco influenciada pelo meio, resultando em elevados valores estimados do componente genético e, por consequência, maiores herdabilidades (Tabela 2). Contudo, com o passar dos anos, o componente ambiental ganha relevância, reduzindo consideravelmente a herdabilidade aos 11 anos.

Diferente da altura, o DAP é significativamente influenciado pelo ambiente desde o início, porém possui uma crescente expressão do componente genético à medida que aumenta a idade, resultando em herdabilidades maiores com o passar do tempo (Tabela 2). Pode-se observar que não foi possível discriminar as procedências durante os anos, para ambas as características.

O aumento da variação fenotípica e genotípica ao longo do crescimento do indivíduo é um fenômeno recorrente em diferentes espécies, como em *Eucalyptus* ssp. (Lima et al., 2011), *Pinus koraiensis* (Li et al., 2021), *Larix principis-rupprechtii* (Dong et al., 2019) e está atrelado ao crescimento direto dos indivíduos, sendo proposto que o crescimento da variância fenotípica

seja diretamente relacionado ao crescimento da planta e o aumento da variância genotípica seja proporcional à média da característica (Lima et al., 2011).

Tabela 2- Estimativas dos parâmetros genéticos para altura e diâmetro à altura do peito (DAP) das procedências e progênes de *Eremanthus erythropappus* em diferentes idades, em Baependi, MG.

Característica	Parâmetros	2 anos	2,5 anos	4 anos	4,5 anos	5,5 anos	11 anos
Altura	σ_a^2	0,08	0,12	0,17	0,18	0,18	0,12
	σ_{parc}^2	0,03	0,04	0,08	0,11	0,15	0,43
	σ_{proc}^2	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
	σ_e^2	0,04	0,05	0,07	0,12	0,16	0,31
	σ_f^2	0,16	0,22	0,32	0,42	0,49	0,87
	h_r^2	0,52	0,56	0,52	0,43	0,36	0,14
	c_{parc}^2	0,18	0,19	0,26	0,27	0,30	0,49
	c_{proc}^2	0,06	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01
	$CV_{gi}\%$	11,62	12,78	12,49	12,11	11,36	8,23
	$CV_{gp}\%$	5,81	6,39	6,25	6,05	5,68	4,11
	$CV_e\%$	8,68	9,25	10,35	11,33	11,96	16,56
Média		2,49	2,73	3,26	3,48	3,72	4,26
Diâmetro	σ_a^2	-	0,04	0,04	0,23	0,21	0,36
	σ_{parc}^2	-	0,04	0,05	0,18	0,23	0,45
	σ_{proc}^2	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
	σ_e^2	-	0,31	0,36	0,46	0,59	1,19
	σ_f^2	-	0,39	0,46	0,87	1,04	2,02
	h_r^2	-	0,10	0,09	0,26	0,20	0,18
	c_{parc}^2	-	0,11	0,12	0,21	0,23	0,22
	c_{proc}^2	-	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
	$CV_{gi}\%$	-	6,90	5,64	15,38	13,44	13,92
	$CV_{gp}\%$	-	3,45	2,82	7,69	6,72	6,96
	$CV_e\%$	-	10,69	9,59	17,25	17,55	19,30
Média		-	2,94	3,60	3,11	3,41	4,31

σ_a^2 – variância genética aditiva; σ_{parc}^2 – variância ambiental entre parcelas; σ_{proc}^2 – variância genética entre procedências; σ_e^2 – variância residual; σ_f^2 – variância fenotípica individual; h_r^2 – herdabilidade individual no sentido restrito; c_{parc}^2 – coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; c_{proc}^2 – coeficiente de determinação dos efeitos de procedências; $CV_{gi}\%$ – coeficiente de

variação genética aditiva individual; $CV_{gp}\%$ - coeficiente de variação genotípica entre populações; $CV_e\%$ - coeficiente de variação residual.

O crescimento observado no plantio não atingiu o fechamento de copas, momento no qual o povoamento se encontra em franca competição pelos recursos, principalmente água, luz e nutrientes. Contudo, o sítio apresenta limitadores severos para o crescimento dos indivíduos, com solos rasos e pedregosos, resultando possivelmente na maior competição entre os sistemas radiculares dos indivíduos. Esse cenário auxilia a compreensão da discrepância entre a variância ambiental da altura e DAP. Comportamento similar foi observado por Li et al. (2021) em *Pinus koraiensis*.

A herdabilidade apresentou um comportamento distinto entre as características ao longo do tempo, sendo decrescente para a altura e crescente para o DAP (Tabela 2). Embora o fator ambiental seja preponderante, o crescimento da h^2 em DAP ressalta o aumento da variância genética aditiva para essa característica ao longo do tempo, variando de 0,09 a 0,26, tendo seu pico aos 4,5 anos. A falta de medidas intermediárias pode mascarar os efeitos da tendência para herdabilidade entre as demais idades (Dong et al., 2019).

Franklin (1979) propôs um modelo para a h^2 em coníferas norte americanas, em que há um elevado valor precoce e um decréscimo ao longo do tempo, chegando ao seu menor valor em idade madura, sendo marcante a redução no momento de fechamento da copa. O autor ainda sugere que sítios de pior qualidade demoram mais a expressar essas mudanças e que a competição entre as raízes é um efeito mais marcante, para os parâmetros genéticos, que o fechamento das copas, em especial para espécies com crescimento lento. A h^2 em altura de *Eremanthus erythropappus* seguiu o modelo de Franklin.

As correlações fenotípicas entre a altura nas diversas idades e aos 11 anos variaram entre 0,57 e 0,77 sendo muito similares às correlações genotípicas para as mesmas idades, que variaram de 0,60 a 0,79 (Tabela 3). O mesmo comportamento ocorreu para as correlações entre

o DAP nas diversas idades e o DAP aos 11 anos, variando entre 0,55 a 0,84, para correlações fenotípicas e de 0,58 a 0,89, para correlações genotípicas (Tabela 4).

Tabela 3- Correlações fenotípicas e genotípicas da altura (H) de procedências e progênes de *Eremanthus erythropappus* em diversas idades, em Baependi, MG.

Variável	H 2	H 2,5	H 4	H 4,5	H 5,5	H 11
H 2	1	0,98	0,92	0,90	0,88	0,60
H 2,5	0,94	1	0,95	0,94	0,92	0,64
H 4	0,84	0,89	1	0,97	0,96	0,71
H 4,5	0,78	0,84	0,89	1	0,97	0,75
H 5,5	0,78	0,85	0,91	0,91	1	0,79
H 11	0,57	0,63	0,70	0,70	0,77	1

Acima da diagonal encontram-se as correlações genotípicas e abaixo da diagonal, as correlações fenotípicas.

Tabela 4- Correlações fenotípicas e genotípicas do diâmetro à altura do peito (DAP) de procedências e progênes de *Eremanthus erythropappus* em diversas idades, em Baependi, MG.

Variável	DAP 2,5	DAP 4	DAP 4,5	DAP 5,5	DAP 11
DAP 2,5	1	0,97	0,66	0,66	0,58
DAP 4	0,96	1	0,68	0,68	0,60
DAP 4,5	0,67	0,70	1	0,98	0,87
DAP 5,5	0,69	0,72	0,94	1	0,89
DAP 11	0,55	0,57	0,79	0,84	1

Acima da diagonal encontram-se as correlações genotípicas e abaixo da diagonal, as correlações fenotípicas.

As correlações entre o DAP, em várias idades, e H aos 11 anos variou entre 0,36 e 0,63 para correlação fenotípica e correlação genotípica, e entre H, nas diversas idades, e DAP aos 11 anos variou entre 0,56 e 0,70 para correlação fenotípica e correlação genotípica (Tabela 5).

Tabela 5- Correlações fenotípicas e genotípicas da altura (H) e do diâmetro à altura do peito (DAP) de procedências e progênies de *Eremanthus erythropappus* aos 11 anos e idades precoces, em Baependi, MG.

	Correlação fenotípica		Correlação genotípica	
	H 11	DAP 11	H 11	DAP 11
H 2	0,57	0,56	0,60	0,56
H 2,5	0,63	0,61	0,64	0,61
DAP 2,5	0,36	0,55	0,36	0,58
H 4	0,70	0,68	0,71	0,68
DAP 4	0,36	0,57	0,36	0,60
H 4,5	0,70	0,67	0,75	0,67
DAP 4,5	0,61	0,79	0,61	0,87
H 5,5	0,77	0,73	0,79	0,73
DAP 5,5	0,63	0,84	0,63	0,89
H11	1,00	0,70	1,00	0,70

As correlações genéticas entre as idades se mantiveram positivas e majoritariamente altas. Esse parâmetro é amplamente utilizado nos programas de melhoramento genético para a validação da seleção precoce (Atwood et al., 2002). Boas correlações genéticas entre as idades precoces e madura revelam um potencial de seleção precoce em *Eremanthus erythropappus*.

O DAP apresentou uma maior correlação entre os pares de idade em comparação com a altura das árvores. A maior correlação genética pode ser resultado da pleiotropia, ou seja, a expressão do mesmo gene controla características fenotípicas distintas, ou pelo desequilíbrio de ligação, no qual a distância entre os genes responsáveis pela expressão fenotípica é pequena, resultando em uma segregação conjunta do mesmo (Kelleher et al., 2012). O mesmo comportamento foi observado em *Pinus taeda* (Gwaze e Bridgwater, 2002) e *Larix kaempferi* (Lai et al., 2014). Contudo, não existe clara explicação entre a diferença de magnitude entre as correlações genéticas de DAP e altura. Variações de espécies, fases de crescimento, amostra, sítios, pressões de competição e outros podem ser fatores que causam ruídos na comparação (Dong et al., 2019).

A resposta à seleção direta realizada aos 11 anos com intensidade de seleção de 40% ($i = 0,97$) foi, respectivamente, de 0,13 m e 0,25 cm para a altura e DAP (Tabela 6). A seleção indireta, nas idades precoces, resultou em ganhos em altura variando entre 0,15 a 0,17 m e em ganhos de 0,10 a 0,26 cm para o DAP. A seleção indireta foi mais eficiente em capturar os ganhos devido aos parâmetros genéticos estimados precocemente serem menos afetados pelo ambiente, resultando em maiores herdabilidades (h^2), especialmente para a altura.

Tabela 6- Seleção direta, indireta e eficiência de seleção em procedências e progênies de *Eremanthus erythropappus*, aos 11 anos e idades precoces, em Baependi, MG.

Idade	Seleção indireta		Eficiência de seleção	
	H (m)	DAP (cm)	H	DAP
2	0,15	-	1,14	-
2,5	0,16	0,11	1,28	0,44
4	0,17	0,10	1,36	0,43
4,5	0,17	0,26	1,30	1,05
5,5	0,16	0,23	1,27	0,95
Idade	Seleção direta		Eficiência de seleção	
11	0,13	0,25	1,00	1,00

A idade ótima de seleção é aquela na qual a eficiência da seleção precoce atinge seu ponto máximo (Kang, 1985). A eficiência de seleção indica haver um ganho de 36% na seleção precoce da altura aos 4 anos e um ganho de 5% na seleção precoce de DAP aos 4,5 anos (Tabela 6). A moderada herdabilidade das características e correlação genética entre as idades para as características corroboram para essa conclusão. Segundo White et al. (2007), a idade ótima de seleção de espécies florestais, normalmente, se concentra entre o primeiro terço, até a metade da rotação. A idade ótima de seleção para *E. erythropappus* se encontra de 36% a 41% da idade de rotação da cultura, corroborando com as observações de White et al. (2007).

Do ponto de vista do manejo do programa de melhoramento de *E. erythropappus*, a seleção precoce aos 4 e 4,5 anos permite o avanço da população por meio da seleção de progênies e a conversão do teste original em um pomar de produção de sementes melhoradas,

uma vez que árvores da espécie começam a florir, aproximadamente, na mesma idade, conforme já observado em plantios realizados na região sul de Minas Gerais.

A viabilidade da seleção precoce representa outro importante avanço no manejo do programa de melhoramento da espécie. A seleção entre os quatro anos e quatro anos e meio representa a possibilidade de se realizar ciclos de melhoramento mais curtos, podendo conduzir o teste original, assim como outro, utilizando sementes das melhores progênies selecionadas precocemente. Outra possibilidade seria a seleção e desbaste das piores progênies, identificadas precocemente, a fim de melhorar as sementes coletadas dentro do teste de progênies.

4. CONCLUSÃO

A correlação genética das características nas idades precoces e madura e suas herdabilidades possibilitam a seleção precoce de *Eremanthus erythropappus* para altura e diâmetro à altura do peito.

A idade ótima de seleção de progênies de meios-irmãos de *Eremanthus erythropappus* para altura é 4 anos e 4,5 anos para o diâmetro à altura do peito.

REFERÊNCIAS

Atwood, R. A., White, T. L., & Huber, D. A. (2002) Genetic parameters and gains for growth and wood properties in Florida source loblolly pine in the southeastern United States. *Can J For Res* 32(6):1025–1038 *Canadian Journal of Forest Research*, 32(6), 1025-1038. DOI: <https://doi.org/10.1139/x02-025>

Araújo, E. J. G., Pelissari, A. L., David, H. C., Scolforo, J. R. S., Netto, S. P., & Morais, V. A. (2012). Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(71), 257-268. DOI: <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.257>

Araújo, E. J. G., Péllico Netto, S., Scolforo, J. R. S., Machado, S. D. A., Morais, V. A., & David, H. C. (2018). Sustainable Management of *Eremanthus erythropappus* in Minas Gerais, Brazil—A Review. *Floresta e Ambiente*, 25(3). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.051616>

Dieters, M. J., White, T. L., & Hodge, G. R. (1995). Genetic parameter estimates for volume from full-sib tests of slash pine (*Pinus elliottii*). *Canadian journal of forest research*, 25(8), 1397-1408. DOI: <https://doi.org/10.1139/x95-152>

Donadelli, F. M. D. M. (2012). Motivações e resultados da certificação florestal: um estudo de caso cadeia de valor da candeia. *Ambiente & Sociedade*, 15, 97-121. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300007>.

Dong, M., Fan, Y., Wu, Z., Lv, F., & Zhang, J. (2019). Age-age correlations and early selection for growth traits in 40 half-sib families of *Larix principis-rupprechtii*. *Journal of Forestry Research*, 30(6), 2111-2117. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0706-6>

Franklin, E. C. (1979). Model relating levels of genetic variance to stand development of four North American conifers. *Silvae genetica*, 28(5-6), 207-212.

Gwaze, D. P., & Bridgwater, F. E. (2002). Determining the optimum selection age for diameter and height in loblolly pine. *Forest genetics*, 9(2), 159-165.

Hallingbäck, H. R., Högberg, K. A., Säll, H., Lindeberg, J., Johansson, M., & Jansson, G. (2018). Optimal timing of early genetic selection for sawn timber traits in *Picea abies*. *European Journal of Forest Research*, 137(4), 553-564. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1123-2>

Hiraoka, Y., Miura, M., Fukatsu, E., Iki, T., Yamanobe, T., Kurita, M., Isoda K., Kubota, M., & Takahashi, M. (2019). Time trends of genetic parameters and genetic gains and optimum selection age for growth traits in sugi (*Cryptomeria japonica*) based on progeny tests conducted throughout Japan. *Journal of Forest Research*, 24(5), 303-312. DOI: <https://doi.org/10.1080/13416979.2019.1661068>

Kang, H. (1985). Juvenile selection in tree breeding: some mathematical models. *Silvae Genet*, 34(2-3), 75-84.

Karki, D., & Lee, S. J. (1998). Early selection in tree breeding programme: a review. *Banko Janakari*, 8(1), 33-38.

Kelleher, C. T., Wilkin, J., Zhuang, J., Cortés, A. J., Quintero, Á. L. P., Gallagher, T. F., ... & Ritland, K. (2012). SNP discovery, gene diversity, and linkage disequilibrium in wild populations of *Populus tremuloides*. *Tree Genetics & Genomes*, 8(4), 821-829. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-012-0467-x>

Lai, M., Sun, X., Chen, D., Xie, Y., & Zhang, S. (2014). Age-related trends in genetic parameters for *Larix kaempferi* and their implications for early selection. *BMC genetics*, 15(1), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2156-15-S1-S10>

Li, S., Zhang, H., Fan, Z., Liang, D., Sun, H., Li, Y., & Zhao, X. (2021). Genetic test and early selection in full-sib families of *Pinus koraiensis*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 36(4), 221-229. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1919752>

Lima, J. L., Souza, J. C. D., Ramalho, M. A. P., Andrade, H. B., & Sousa, L. C. D. (2011). Early selection of parents and trees in Eucalyptus full-sib progeny tests. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11, 10-16. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-70332011000100002>

Resende, M. D. V. D. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *16*, 330-339.

Tambarussi, E. V., De Lima, B. M., Da Costa Queiroz, R., Peres, F. S. B., Da Costa Dias, D., Pagliarini, M. K., Pereira, B. F., Rosa, J. R. B. F., & Peçanha Rezende, G. D. S. (2017). Estimativas de parâmetros genéticos para a seleção precoce em clones de *Eucalyptus* spp. *Scientia Forestalis* *45*(115), 507-517. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n115.08>

Wendling, I., Sturion, J. A., Stuepp, C. A., Reis, C. A. F., Ramalho, M. A. P., & Resende, M. D. V. D. (2018). Early selection and classification of yerba mate progênies. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *53*, 279-286. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000300002>

White, T. L., Adams, W. T., & Neale, D. B. (Eds.). (2007). *Forest genetics*. Cabi.

Xiang, B., Li, B., & McKeand, S. (2003). Genetic gain and selection efficiency of loblolly pine in three geographic regions. *Forest science*, *49*(2), 196-208. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestsience/49.2.196>

Ye, T. Z., & Jayawickrama, K. J. S. (2012). Early selection for improving volume growth in coastal Douglas-fir breeding programs. *Silvae Genetica*, *61*(4-5). DOI: <https://doi.org/10.1515/sg-2012-0024>