



SANTA HELENA CARLITOS RABECA SUAGIBA

VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE DE PROGÊNIES DE
Eucalyptus dunnii MAIDEN

LAVRAS – MG

2023

SANTA HELENA CARLITOS RABECA SUAGIBA

**VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE DE PROGÊNIES DE *Eucalyptus dunnii*
MAIDEN**

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

Profa. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves

Orientadora

LAVRAS-MG

2023

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

Suagiba, Santa Helena Carlitos Rabeca.

Viabilidade da seleção precoce de progênies de
Eucalyptus dunnii Maiden / Santa Helena Carlitos Rabeca Suagiba. -
2023.

46 p.

Orientador(a): Flávia Maria Avelar Gonçalves.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Melhoramento Floresta. 2. Correlações Genotípicas e
Fenotípicas. 3. Ganho Genético. I. Gonçalves, Flávia Maria Avelar.
II. Título.

SANTA HELENA CARLITOS RABECA SUAGIBA

**VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE DE PROGÊNIES DE *Eucalyptus dunnii*
MAIDEN**

VIABILITY OF EARLY SELECTION OF *Eucalyptus dunnii* MAIDEN PROGENIES

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

APROVADA em 17 de julho de 2023.

Prof. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves UFLA

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho UFLA

Prof. Dr. Regiane Abjaud Estopa Klabin


Prof. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

LAVRAS-MG

2023

Aos meus pais, Carlitos e Clarice, por ser a minha base, obrigada, por todo amor e dedicação. Aos meus irmãos, Mouzinho, Telma, Becas, Helder, Clara, Calide, Esmeralda e Rubina, pelo amor, união, todo carinho e ajuda. E à minha amada filha Líria, pela paciência, apoio e amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela força, amor, proteção, sabedoria e por guiar meus passos nesta trajetória. Aos meus pais Carlitos e Clarice, pela força e amor incondicional. Aos meus irmãos, Mouzinho, Telma, Becas, Helder, Clara, Kalide, Esmeralda e Rubina e a minha amada filha Líria, pela paciência, apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Biologia, ao Programa de Genética e Melhoramento de Plantas e a todos os professores, técnicos e funcionários, por toda estrutura, oportunidade de estudo, aprendizado e crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo. À empresa Klabin S.A. por disponibilizar os dados para a realização deste estudo. À Professora Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves, pela excelente orientação e por ser um exemplo de profissional. Pela dedicação, paciência, ensinamentos, incentivo e, principalmente, por ter acreditado no meu trabalho. Me orgulho de ter sido sua orientada.

Ao Coordenador do programa, Jose Airton Rodrigues Nunes, à secretária do programa.

Aos colegas do Grupo de Perene, especialmente ao Luís Carlos da Silva Soares e Heloisa Guimaraes Santos, pelo apoio.

Aos membros da banca, professor Magno Antonio Patto Ramalho e Regiane Abjaud Estopa.

Às amigas que fiz ao longo do mestrado, em especial a Mercês da Graça Sampo, Jose Dique, Alcides Charimba, Domingos Jeque.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e para que eu chegasse até esta etapa da minha vida, muito obrigada!

*“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso!
Não se apavore nem desanime, pois, o senhor, o seu
Deus, estará com você por onde você andar ”*

(Josué 1:9)

RESUMO

O gênero *Eucalyptus* apresenta grande importância comercial no setor florestal em todo o mundo. O Brasil se destaca mundialmente como um dos maiores produtores de celulose, sendo este, o principal setor consumidor de madeira advinda de áreas plantadas. O tempo é um fator crítico nos programas de melhoramento genético de espécies florestais. Uma alternativa para reduzir o tempo seria a utilização de seleção precoce. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência da seleção precoce de progênies de *Eucalyptus dunnii*. Para isso, foram utilizados dados de experimentos de testes de progênie, implantados em dois locais (Local 1 e Local 2), no município de Curitiba no estado de Santa Catarina, em blocos completos casualizados, utilizando progênies de meios-irmãos. No local 1 foram avaliadas 21 progênies com 20 repetições e parcela de uma única planta, e no LOCAL 2 foram avaliadas 33 progênies com 10 repetições e parcela linear de cinco plantas. Para os dois experimentos foram mensurados os caracteres, diâmetro da altura do peito (DAP) e altura total da árvore e estimado o incremento médio anual (IMA) em volume. Em cada experimento os caracteres foram avaliados na idade juvenil (Local 1: 39 meses e Local 2: 30 meses) e na idade de rotação (Local 1: 61 meses e Local 2: 50 meses). Os componentes de variância foram obtidos por meio do método de máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viesada. Além disso, foram estimadas as covariâncias, obtendo-se as correlações fenotípicas (\hat{r}_F) e genotípicas (\hat{r}_G) e as respostas correlacionadas (RC) entre as progênies e caráter para as idades juvenis e de rotação. Para apurar a viabilidade da aplicação da seleção foi simulada a seleção de 30% das progênies em cada idade, para cada caráter, obtendo-se as estimativas de ganhos genéticos com a seleção direta e indireta. Os resultados revelaram que as estimativas das \hat{r}_G foram de magnitude superior que a \hat{r}_F em ambos os experimentos. Para os dois experimentos, as estimativas de eficiência de RC_{ij} foram altas para diâmetro da altura do peito (Local 1: 95% e Local 2: 97,19%) e incremento médio anual (Local 1: 93,15% e Local 2: 93,15%) em relação a respostas em altura total (Local 1: 83% e Local 2: 85,28) no ganho direto. As RC_{ij} dos ganhos indiretos foram similares aos ganhos diretos para DAP e IMA e inferiores para altura. Ficou evidenciado que a seleção precoce foi eficiente na seleção de progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus dunnii*, nas duas metodologias aplicadas, independentemente do local. No entanto, a resposta correlacionada da altura pela seleção do DAP foi semelhante ao ganho direto para altura, tanto na mesma idade como idades diferentes, comprovando que não é necessário a obtenção da altura das plantas, que é um caráter de mais difícil obtenção dos dados e associado a erros mais elevados.

Palavras-chave: Melhoramento Florestal. Correlações Genotípicas e Fenotípicas. Ganho Genético.

ABSTRACT

The Eucalyptus genus has great commercial importance in the forestry sector worldwide. Brazil stands out worldwide as one of the largest pulp producers, being this the main consumer in the sector of wood planted. The rotation time is one of critical factors in genetic breeding programs for forestry species. An alternative to reduce the rotation time would be using the early selection. Thus, this study aims to evaluate the efficiency of the early selection of Eucalyptus dunnii progenies. We used data from experiments of progeny test, implanted in two locations (Site 1 e Site 2) relied in complete randomized blocks, using progenies of half-sibs. In site 1, 21 progenies were evaluated with 20 repetitions and a plot of a single plant, and in site 2, 33 progenies were evaluated with 10 repetitions and a linear plot of five plants. For both experiments, the traits, diameter at breast height and total tree height were measured and the mean annual increment in volume was estimated. For each experiment all traits were evaluated at juvenile age (Site 1: 39 months and Site 2: 30 months) and at rotational age (Site 1: 61 months and Site 2: 50 months). The variance components were obtained using the restricted maximum likelihood method and best unbiased linear prediction. In addition, covariances were estimated, to obtain the phenotypic (\hat{r}_F) and genotypic (\hat{r}_G) correlations and correlated responses (RC) between progenies and trait for juvenile and rotation ages. To determine the viability of applying selection, the selection of 30% of the progenies at each age, for each trait, was simulated, obtaining estimates of genetic gains through direct and indirect selection. The results revealed that the (\hat{r}_G) estimates were of a higher magnitude than the (\hat{r}_F) for both experiments. For both experiments, the RC_{ij} responses efficiency estimates were high for diameter at breast height (Site 1: 95% and Site 2: 97.19%) and mean annual increment (Site 1: 93.15% and Site 2: 93.15%) in relation to in total height (Site 1: 83% and Site 2: 85.28) in direct gain. The RC_{ij} of indirect gains were similar to direct gains for diameter at breast height and mean annual increment and lower for height. It was evident that the precocious selection was efficient in the selection of Eucalyptus dunnii half-sib progenies, in both applied methodologies, regardless of the location. However, the correlated response of height based on diameter at breast height selection was similar to the direct gain for height, both at the same age and at different ages, showing that it is not necessary to obtain plant height, which is a trait that is more difficult to obtain data from and associated with higher errors.

Keywords: Forest Tree Breeding. Genotypic and Phenotypic Correlations. Genetic Gain.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Relação das médias BLUP dos caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm); altura total das árvores (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$) das progênies *Eucalyptus dunnii*, avaliadas aos 39 e 61 meses de idade, do experimento conduzido na LOCAL 1 no município de Otacílio Costa, SC..... 30
- Figura 2** - Relação das médias BLUP dos caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm); altura total das árvores (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$) das progênies *Eucalyptus dunnii*, avaliadas aos 30 e 50 meses de idade, do experimento conduzido na Local 2 no município de Curitibaanos, SC. 31

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), obtidas na avaliação de progênies de *Eucalyptus dunnii* para as idades de 39 e 61 meses no experimento conduzido no Local 1, no município de Otacílio Costa, SC.28
- Tabela 2** - Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), obtidas na avaliação de progênies de *Eucalyptus dunnii* para as idades de 30 e 50 meses no experimento conduzido no LOCAL 2 no município de Curitibaanos, SC.28
- Tabela 3** - Estimativas das correlações fenotípicas (rF), acima da diagonal, e genotípica (rG), abaixo da diagonal, entre os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), das idades de 39 e 61 meses das progênies de *Eucalyptus dunnii*, avaliadas no experimento conduzido no LOCAL 1 no município de Otacílio Costa, SC.33
- Tabela 4** - Estimativas das correlações fenotípicas (rF), acima da diagonal, e genotípica (rG), abaixo da diagonal, entre os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), e das idades de 30 e 50 meses das progênies de *Eucalyptus dunnii*, avaliadas no experimento conduzido no LOCAL 2 no município de Curitibaanos, SC.34
- Tabela 5** - Média geral das progênies (M_o), média das seis melhores progênies (M_s) e estimativa da resposta correlacionada (RC) e em porcentagem (RC, %) e eficiência da seleção precoce (EF, %) para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m), e incremento médio anual (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), das progênies de *Eucalyptus dunnii*, avaliadas no experimento conduzido no LOCAL 1, no município de Otacílio Costa, SC, nas idades de 39 e 61 meses.36
- Tabela 6** - Média geral das progênies (M_o), média das dez melhores progênies (M_s) e estimativa da resposta correlacionada (RC) e em porcentagem (RC, %) e a eficiência da seleção precoce (EF, %) para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m), e incremento médio anual (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), das progênies de *Eucalyptus dunnii*, avaliadas no experimento conduzido na LOCAL 2 no município de Otacílio Costa, SC, nas idades de 30 e 50 meses.37
- Tabela 7** - Índice de coincidência (%) das progênies *Eucalyptus dunnii* selecionadas. No experimento do Local 1 selecionou-se seis progênies e no LOCAL 2 dez, para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. Evolução do melhoramento do eucalipto no Brasil	14
2.2. <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	15
2.3. Melhoramento genético de <i>Eucalyptus</i>	16
2.4. Métodos de seleção	17
2.5. Seleção direta	19
2.6. Seleção precoce	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5. CONCLUSÕES	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de árvores plantadas é uma referência mundial por sua atuação ser pautada principalmente pela sustentabilidade, competitividade e inovação. No Brasil, em 2021, a área total plantada com espécies florestais foi de 9,93 milhões de hectares, dos quais 75,8% é composta pelo gênero *Eucalyptus*. Quanto à produtividade dos plantios florestais, o Brasil se destaca mundialmente com $38,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (IBÁ, 2022). Não obstante, o *Eucalyptus dunnii* apresenta uma produtividade variando de $30\text{-}50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (GALLO et al., 2018; PEREYRA, 1994).

Algumas espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam excelente adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, o que faz com que as empresas aproveitem dessa característica, plantando-as nas mais diversas condições (REIS; SANTOS; PACHECO, 2021). Esse fato, aliado ao manejo e ao melhoramento genético, consolidou o Brasil como o segundo no ranking de produção de celulose total (22,5 milhões de toneladas), o primeiro em celulose de fibra curta (19,5 milhões de toneladas) e o décimo na produção de papel (10,7 milhões de toneladas) (IBÁ, 2022).

O *E. dunnii* destaca-se no sul do país, sobretudo pela possível tolerância à geada. Embora tenha sido introduzida há bastante tempo, foi pouco trabalhada em termos de melhoramento genético quando comparada com outras espécies do mesmo gênero, principalmente devido a algumas dificuldades, como a produção tardia de sementes e dificuldade de clonagem (BILLARD; LALLANA, 1999; HIGA et al., 2001; SILVA et al., 2018). Assim, é imprescindível a utilização de seleção recorrente (SR), visando selecionar genótipos com maior adaptação às condições prevalentes no sul do Brasil. Na condução de qualquer programa de SR, o que se procura sempre é a redução do tempo na condução de cada ciclo para aumentar a eficiência do programa. Deste modo, diversas estratégias têm sido exploradas para acelerar o processo, incluindo a indução do florescimento precoce e a ampliação na possibilidade de clonagem. Outra estratégia é a utilização da seleção precoce. A maioria dos estudos de melhoramento genético, realizada especialmente na década de noventa, envolvendo outras espécies de eucaliptos, mostraram que a seleção precoce aos dois ou três anos é eficiente (MARQUES JUNIOR, 1995; PEREIRA et al. 1997; RESENDE et al. 1994).

A produtividade de madeira do eucalipto é quantificada por meio do incremento média anual de madeira (IMA - $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), que é obtida envolvendo caracteres como diâmetro, altura do peito (DAP- cm) e altura total da árvore (ALT - m). Há relatos que ALT e DAP estejam correlacionados genética e fenotipicamente (ZIMBACK et al., 2011). Contudo, para a espécie

E. dunnii, não foram encontradas na literatura informações das estimativas de correlações genética e fenotípica e a eficiência da seleção precoce, exceto estudo realizado por de Moraes et al. (2014).

Considerando o potencial do *E. dunnii* para região sul do Brasil, para se ter o programa de seleção recorrente mais eficiente, é preciso acumular informações de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos, sobretudo, aquelas que contribuem para mostrar a viabilidade ou não da seleção precoce. Isto posto, este trabalho foi realizado a partir de dados da avaliação de progênies de meios-irmãos da espécie *E. dunnii* em dois locais no município de Curitibanos, no estado de Santa Catarina, visando a estimativa de correlações entre os caracteres avaliados e as implicações dessas correlações na eficiência da seleção precoce, utilizando algumas estratégias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Evolução do melhoramento do eucalipto no Brasil

O gênero *Eucalyptus* tem origem na Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania. O gênero apresenta grande importância, pela variabilidade genética e adaptabilidade em diferentes regiões, contando com mais de 800 espécies (FLORES et al., 2016). O *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e é subdividido em oito subgêneros. As espécies têm diferentes exigências, ocorrendo em diferentes condições ambientais que vão desde áreas pantanosas até muito secas, solos de baixa e alta fertilidade, solos arenosos e de regiões de geadas e de secas (FREITAS JUNIOR, 2014).

As primeiras mudas de eucalipto chegaram no Brasil, em 1825, foram plantadas no Jardim Botânico de São Paulo. Em 1904, Edmundo Navarro de Andrade iniciou os testes de progênies/procedências com o eucalipto, no Horto Florestal de Jundiaí, em São Paulo. Algum tempo depois, outras introduções foram feitas, pelo IPEF e por empresas florestais (CASTRO et al., 2016; SILVA; PAULA; MORAES, 2018). Entretanto, o plantio do eucalipto em escala comercial no país se deu nas primeiras décadas do século XX (SARTÓRIO, 2014). Muitos anos se passaram depois da sua introdução em terras brasileiras, o seu uso econômico se ampliou, primeiramente ao uso energético, como lenha de locomotivas e de indústrias, sobretudo siderúrgicas. Atualmente, tem sido muito utilizado no setor de papel e celulose e de processamento de toras em compensados, lâminas e chapas (RODRIGUES et al., 2021).

Segundo Castro et al., (2016), Navarro de Andrade e Carlos Arnaldo Krug iniciaram um programa de melhoramento genético do *Eucalyptus*, em 1941, cujo objetivo era melhorar a uniformidade das plantações além de reduzir o número de falhas e melhorar a forma do tronco, as características dos ramos, o crescimento em altura e diâmetro das árvores, melhorar capacidade de brotação e aumentar a produtividade da madeira por unidade de área. Para alcançar esses objetivos, o programa de melhoramento do Instituto Agrônomo de Campinas baseava-se na seleção de árvores superiores, áreas para produção de sementes, hibridação interespecífica e a seleção de mudas nos viveiros (FERREIRA; SANTOS, 1997). A partir dos anos 1960, o melhoramento recebeu maior atenção e passou a ser realizado sistematicamente em algumas empresas privadas e no setor público (VENCOVSKY; RAMALHO, 2000).

Em 1967, a Aracruz Celulose S.A. (atualmente Suzano S.A.) deu início ao plantio de *Eucalyptus* no Espírito Santo. Durante esse período, foi constatado que a espécie que apresentava a maior produtividade de madeira era o *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, embora uma significativa proporção de indivíduos dessa espécie fosse suscetível ao cancro,

causado pelo *Cryphonectria cubensis*. Em virtude do aparecimento de fungo iniciaram os estudos com *E. urophylla* S.T. Blake, o qual associava alta resistência ao cancro e alta produtividade de madeira. Em 1974, constatou-se que o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* era uma combinação promissora para a obtenção de clones com alta produtividade de celulose (FERREIRA; SANTOS, 1997).

O primeiro plantio clonal comercial de *Eucalyptus* no Brasil foi implantado em 1979 pela Aracruz, cerca de doze anos após o início do seu cultivo pela empresa (FERREIRA; SANTOS, 1997). Isto facilitou aos melhoristas a seleção de árvores superiores, especialmente nos plantios comerciais, originando clones com alta uniformidade, o que possibilitou obter elevados ganhos em produtividade de madeira (CAMPINHOS; IKEMORI, 1983; CASTRO et al., 2016).

Os principais desafios dos programas de melhoramento estão associados ao aumento de produtividade (volume de madeira, celulose por unidade de área e tempo), a adaptação a ambientes estressantes (bióticos e abióticos) e a melhor qualidade da madeira para os diversos setores florestais. Apesar dos desafios, os programas de melhoramento genético do eucalipto no Brasil têm sido eficientes na geração de florestas superiores. Embora os progressos sejam significativos, há ainda espaço para avanços no melhoramento da qualidade da madeira para todos os segmentos industriais que utilizam a madeira do eucalipto como fonte de matéria-prima, ou como insumo energético (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2015).

2.2. *Eucalyptus dunnii* Maiden

A distribuição natural de *Eucalyptus dunnii* na região de origem é limitada, sendo encontrada apenas nas latitudes 28°S e 30°S na faixa litorânea dos estados de Queensland e Nova Gales do Sul, na Austrália, entre 100 e 900 m de altitude. Ocorre predominantemente no clima subtropical úmido e, em menor proporção, nos climas oceânico, temperado e clima subtropical de altitude, sendo que suas principais exigências climáticas variam em temperatura média anual entre 16 e 19°C e precipitação anual entre 900 e 1.600 mm (FLORES et al., 2016). Esta espécie cresce melhor em solos úmidos e altamente férteis, de origem basáltica, mas ocorre também em solos de origem sedimentar e bem drenados (FONSECA et al., 2010). No Brasil, o *Eucalyptus dunnii* se destaca na região Sul (estados de Santa Catarina e Paraná), devido a sua maior adaptabilidade a climas frios e tolerância a geadas. A sua propagação é viável pelo método de miniestaquia,

delineamentos de cruzamento, que vem sendo empregado com sucesso na produção de mudas (SOUZA JUNIOR; WENDLING, 2003).

Esta espécie apresenta um crescimento volumétrico favorável, tronco retilíneo com poucos nós, menos susceptível a fendas, alto rendimento em celulose (44,4–56,5%), alta densidade da madeira (455 - 618 kg m⁻³), baixo teor de lignina (DOBNER JR. et al., 2017; FONSECA et al., 2010; HIGA et al., 2000; SANTAROSA et al., 2014; SANTOS et al., 2020). A madeira desta espécie apresenta cor clara e resistência média, aproveitável para fins energéticos, estruturas leves, confecção de chapas e para celulose (GLENCROSS et al., 2011).

2.3. Melhoramento genético de *Eucalyptus*

No estabelecimento de um programa de melhoramento florestal de eucalipto, um aspecto importante a ser levado em consideração é a definição dos objetivos, ou seja, qual seria o destino da madeira produzida, atendendo ao desenvolvimento de um produto com características apropriadas para as demandas do mercado consumidor e do processo industrial. Esses objetivos vão definir os procedimentos a serem estabelecidos para o desenvolvimento do programa (GONÇALVES et al., 2017). Os programas de melhoramento genético de espécies florestais envolvem uma combinação estratégica de métodos de seleção e estrutura de populações. Nesse contexto, a implantação de testes de progênies e testes clonais desempenha um papel fundamental, uma vez que representa a etapa primordial do processo de melhoramento. É nessa fase que os indivíduos selecionados são cuidadosamente recombinados, visando assegurar a continuidade do programa de melhoramento ou a sua recomendação para plantios de produção (RESENDE; ALVES, 2021).

Em um programa de melhoramento de *Eucalyptus*, a seleção de indivíduos superiores, é baseada em características como volume de madeira, forma do tronco da árvore, qualidade da madeira para usos múltiplos, tolerância a estresses abióticos e resistência às doenças (GONÇALVES et al., 2017; GRATTAPAGLIA, 2008). As características genéticas das populações que estão sendo avaliadas no programa de melhoramento determinam os ganhos genéticos, isto é, conhecimento das características em questão, a escolha dos objetivos e estratégias que serão utilizadas (BURLEY & KANOWSKI, 2005).

Existem alguns fatores indispensáveis que contribuem na tomada de decisão de um melhorista tais como: método de seleção, estratégia, intensidade de seleção, delineamento de cruzamento, correlação genéticas e fenotípicas, utilização de índice de seleção, análises de interação entre genótipos e ambiente, estudos de adaptabilidade e estabilidade. A preocupação

que os melhoristas têm com as metodologias experimentais é quanto à disponibilidade de área, manejo e delineamento experimental, porque estas podem afetar a precisão experimental, a acurácia e a eficiência de seleção, tornando visível os ganhos genéticos preditos (GAIOTTO; BRAMUCCI; GRATTAPAGLIA, 1997).

2.4. Métodos de seleção

Em um programa de melhoramento para a realização da seleção é necessário escolher o melhor método, levando em consideração as magnitudes, e promover a maximização dos ganhos em unidade de tempo e ações em curto tempo para que haja sucesso. Na aplicação de qualquer método de seleção é importante definir as características desejadas e o grau de importância dessas características, porque elas indicam a estrutura genética da população estudada, facilitando a escolha do método de seleção mais adequado (RESENDE; ALVES, 2021; RESENDE; BARBOSA, 2005).

O método de seleção mais utilizado em perenes é a seleção recorrente, pois este é capaz de melhorar características quantitativas e é o mais indicado para espécies alógamas, utilizando a polinização cruzada. O princípio da seleção recorrente é o aumento contínuo dos alelos favoráveis, visto que é impossível acumular todos os alelos em apenas um ciclo seletivo, tendo como objetivo aumentar a média populacional sem exaurir a variabilidade genética, obtendo maior ganho possível em cada ciclo seletivo. Com o objetivo de fornecer alelos favoráveis para uma determinada característica, o melhorista precisa trabalhar com um germoplasma-base que tenha média alta e ampla variabilidade genética (RESENDE; ALVES, 2021; RESENDE; BARBOSA, 2005).

A seleção recorrente com base em famílias (meios-irmãos, irmãos germanos e endogâmicas) pode ter em vista formar população intrapopulacional ou interpopulacional. Nisso entende-se: A seleção dos indivíduos na população para obtenção das famílias; avaliação das famílias em ensaios com repetições dentro e entre ambientes e, por fim, recombinar as famílias ou indivíduos superiores para formar a população do próximo ciclo (RESENDE; ALVES, 2021).

Segundo Resende e Alves (2021), os procedimentos de recombinação em espécies florestal estão relacionados à eficiência seletiva, isto é, na maioria das vezes, a etapa de recombinação ocorre concomitantemente à obtenção da progênie para avaliação no próximo ciclo e, como certos delineamentos cruzados fornecem uma seleção mais precisa, esta etapa se correlaciona com a eficiência da seleção nos ciclos subsequentes. A recombinação pode ser

feita de forma desbalanceada, com maior ênfase em indivíduos de maior valor genético. Portanto, além de maximizar os ganhos com base no uso de métodos de seleção precisos, ganhos adicionais podem ser obtidos usando uma maior proporção de indivíduos elite em populações de produção e selecionando cruzamentos em populações de reprodução. Nos programas de melhoramento a eficiência é medida pelo ganho genético por unidade de tempo. Contudo, o intervalo entre gerações exerce um papel importante no melhoramento de espécies perenes, onde a seleção precoce deve ser uma meta constante.

Melhoramento e seleção dentro de população, melhoramento e seleção em populações sintéticas ou compostas e melhoramento do cruzamento ou híbrido entre populações são algumas estratégias que têm sido muito usadas para realizar a seleção e a recombinação genética, para o avanço das gerações em programas de melhoramento genético florestal.

O melhoramento e seleção dentro de população tem como objetivo melhorar o valor genético aditivo médio da população por meio de vários ciclos seletivos via seleção recorrente intrapopulacional (SRI), melhorando também de uma forma indireta o valor genotípico médio da população. Os indivíduos superiores são recombinados para gerar famílias híbridas de um novo ciclo seletivo. De referir que os indivíduos intercruzados (recombinados), não são apenas daquele determinado ciclo seletivo, mas também indivíduos de diferentes gerações. O melhoramento e seleção dentro de população é uma estratégia, geralmente adotada em estágios iniciais do melhoramento de espécies florestais e com sistema reprodutivo misto, tendo com o objetivo de explorar o valor genético aditivo médio (plantios via sementes) ou explorar o valor genotípico (clonagem) (RESENDE et al., 2005; RESENDE; ALVES, 2021).

Melhoramento e seleção em populações sintéticas ou compostas é uma estratégia que tem como objetivo explorar valor genético aditivo e valor genotípico via SRI, para formação de uma nova população. Porém, o cruzamento entre diferentes populações e linhagens origina a população sintética, conduzindo a uma maior variabilidade e heterozigose na população. Quanto maior variabilidade em populações sintéticas, mais chance de obtenção e seleção de indivíduos segregantes transgressivo, em termos de valor genético aditivo. Já quando a heterozigose é maior, proporciona um aumento do efeito de dominância ou contribuição do *locus* em heterozigose, conseqüentemente, haverá um aumento no valor genotípico dos indivíduos (RESENDE et al., 2005; RESENDE; ALVES, 2021);

O melhoramento do cruzamento ou híbrido entre populações tem como objetivo melhorar a média do cruzamento entre duas ou mais populações divergentes, e isso implica melhorar a média do valor genético aditivo interpopulacional das duas populações, e a heterose

do cruzamento entre as populações. O melhoramento da média do cruzamento e da heterose é feito principalmente pelo processo de seleção recorrente recíproca (SRR) ou interpopulacional e esta é eficiente quando as espécies apresentam elevada heterose nas características de importância econômica (COMSTOCK et al. 1949; RESENDE; ALVES, 2021).

2.5. Seleção direta

O termo seleção é definido por Resende (2002) como seleção natural ou sob influência humana, com base em critérios estabelecidos pelo melhorista. A seleção é dificultada pela complexidade da base genética do material experimental, bem como a influência ambiental proveniente da interação. Portanto, os programas de melhoramento precisam escolher os genitores para composição da população, selecionar os indivíduos superiores, avaliar estes indivíduos com o objetivo de selecionar os genótipos que apresentem alta produtividade e que sejam recomendados comercialmente (CARRIJO et al., 2008).

A seleção baseia-se em indivíduos com média da população elevada e ampla variabilidade genética que resultarão em ganhos genéticos no decorrer das gerações (RESENDE, 1999). Outro fator importante a ser considerado é o tamanho efetivo da população de melhoramento. Segundo Pinto Júnior (2004), o tamanho efetivo populacional não se refere ao número de indivíduos em uma população e, sim, à sua dimensão quanto a parte reprodutiva. Os ganhos com a seleção provêm da variação genética herdável existente nas populações, bem como do controle genético dos caracteres que se deseja melhorar além da acurácia seletiva (RESENDE, 1999). A plena exploração do potencial de melhoramento de uma população depende da manutenção de adequado tamanho efetivo ao final de cada ciclo seletivo, como forma de evitar a perda de alelos favoráveis ao longo dos ciclos de melhoramento (PEIXOTO, 2013).

A resposta esperada com a seleção ou ganho genético estimado é produto da herdabilidade e diferencial de seleção, este, por sua vez, é a diferença entre a média dos genótipos selecionados e a média da população inicial (RAMALHO et al., 2012; CRUZ et al., 2014). Desta forma, para os caracteres que apresentam alto coeficiente de herdabilidade restrita, associados a um diferencial de seleção elevado, espera-se maior ganho com seleção (BORÉM, 1998). Porém, quanto maior a pressão de seleção, maior será o diferencial de seleção. Contudo, uma pressão de seleção alta pode provocar um risco de redução drástica da variabilidade genética (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Portanto, é importante estimar a variabilidade de caracteres da população de *Eucalyptus*, a fim de prever os ganhos genéticos. Vários estudos foram levantados a respeito da variabilidade e do ganho de seleção em *Eucalyptus* baseando-se no método de seleção direta. Na seleção direta o melhorista está, em princípio, interessado em obter ganhos em um único caráter sobre o qual ele praticará a seleção (COSTA et al., 2013; MARTINS, 2002).

2.6. Seleção precoce

O sucesso de um programa de melhoramento é ditado pela estratégia adequada de melhoramento (método de seleção recorrente e delineamento de cruzamento), eficiência no processo seletivo (método de seleção) e curtas gerações de melhoramento (RESENDE et al., 2005). Nos programas de melhoramento genético de espécies florestais o tempo é um fator limitante porque envolvem espécies de ciclos longos e isso demanda recurso; por esta razão deve ser o mais eficiente possível. Uma limitação no desenvolvimento do programa de melhoramento genético de eucalipto é o número de anos para se completar um ciclo de seleção. A idade de rotação em regiões de clima temperado chega até 50 anos, já para as regiões de clima subtropical esta vai até aos 30 anos. No Brasil, a idade de rotação do eucalipto dura em média de sete a dez anos (MARQUES JÚNIOR, 1995; PEREIRA et al., 1997; PIRES et al., 1996).

A utilização de seleção precoce nos programas de melhoramento de eucalipto tem sido um procedimento para a redução do ciclo de seleção de indivíduos superiores, trazendo resultados satisfatórios em curto prazo e proporcionando experimentos menos duradouros (CONDÉ, 2019; COUTINHO et al., 2017; DIAO et al., 2016; TAMBARUSSI et al., 2017; TAMBARUSSI et al., 2018).

A eficácia na seleção precoce está ligada à existência de correlações genéticas das características dos indivíduos juvenis com aquelas manifestadas nos adultos, mais eficientes em idades mais próximas à da rotação (idade do corte). Esta tem contribuído, assim, para aumento da eficiência de seleção, tanto para testes de progênies de famílias de meios-irmãos, quanto para seleção em testes clonais de híbridos (AGUIAR et al., 2015; MARQUES JUNIOR, 1995; QUEIROZ et al., 2019).

A seleção precoce prevê o comportamento de uma espécie possível de aplicar seleção direta em um caráter, sem comprometer significativamente o ganho em outros, uma vez que os programas são direcionados aos caracteres de crescimento (diâmetro altura do peito, altura total, volume), no qual a mensuração do diâmetro a altura do peito (DAP) pode ser utilizada como

referência na aplicação dos métodos de seleção, por ser um caráter fácil de mensurar e estar associado ao menor erro (MOREIRA et al., 2014). Em vista disso, os melhoristas de espécies florestais têm procurado identificar características de árvores em idade juvenil relacionadas àquelas de interesse econômico na fase adulta, de modo a prever precocemente o desempenho de um clone/progênie adulto, diminuindo o tempo para se completar um ciclo de seleção e antecipando o ganho genético (MORAES et al., 2014).

O conhecimento das correlações é de extrema importância para o melhoramento, pois permite estudar os caracteres de forma conjunta, possibilitando assim, fazer a seleção de forma adequada, evitando-se que o melhoramento para um dado caráter, crie alterações indesejáveis nos outros caracteres (QUEIROZ, 1969; TOLFO et al., 2005). Segundo Falconer e Mackay, (1996), correlação genética é definida como sendo a correlação existente entre os valores genéticos das características, sendo a medida da magnitude da associação genética entre caracteres de um indivíduo, enquanto que a correlação fenotípica entre caracteres é a medida da magnitude da associação fenotípica entre caracteres de um indivíduo. As correlações podem ser negativas ou positivas, entre os valores -1 e +1. Correlação positiva é quando uma das variáveis aumenta e a outra também aumenta e vice-versa, já a correlação negativa é quando uma variável aumenta e a outra diminui.

Para espécie do *Eucalyptus* as correlações para seleção precoce têm sido altas a partir de dois anos de idade (KAGEYAMA, 1983). Trabalhos realizados por Moraes et al. (2014), Pinto et al. (2014) e Henriques et al. (2016) com clones *E. urophylla* verificaram alta correlação da seleção a partir dos três anos de idade, indicando que é possível obter ganhos elevados com seleção a partir dessa idade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados dos testes de progênies meios-irmãos de *Eucalyptus dunnii* utilizados neste trabalho foram gentilmente cedidos pela empresa Klabin S.A. Foram utilizados dois experimentos implantados no município de Curitiba em Santa Catarina, sendo o LOCAL 1 Nitossolo, textura muito argilosa e relevo suave ondulado e, o LOCAL 2 Latossolo Bruno, textura argilosa, relevo suave ondulado.

O experimento da LOCAL 1 foi implantado no delineamento estatístico de blocos completos casualizados (DBC) com 21 progênies de meios-irmãos, 20 repetições, parcela de uma única planta (STP) e espaçamento de 3,3x1,82. O do LOCAL 2 também foi implantado em DBC com 33 progênies de meios-irmãos, 10 repetições, parcela linear de cinco plantas e espaçamento de 3,3 X 1,82m.

Para os dois experimentos foram mensurados os caracteres diâmetro da altura do peito (DAP – centímetro) e altura total da árvore (ALT - metro), sendo o experimento LOCAL 1 avaliado aos 39 e 61 meses de idade e o LOCAL 2 aos 30 e 50 meses de idade. A partir das medidas de DAP e ALT foi estimado o volume (V) em metros cúbicos da árvore, para cada experimento, por meio do estimador utilizado pela empresa:

$$V = \frac{\pi DAP^2}{40000} \times ALT \times f \quad (1)$$

Em que: f é o fator de forma utilizado pela empresa (0,45) e a divisão por 40000 é realizada para chegar no volume por hectare.

O incremento médio anual da madeira (IMA - $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) foi estimado multiplicando V pelo número de árvores por hectare e dividindo pela idade em anos para cada experimento.

As análises estatísticas dos dados das características DAP, ALT e IMA em cada época de avaliação, para cada experimento, foram realizadas por modelos mistos e os componentes de variância por meio do método de máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viesada (REML/BLUP) (RESENDE, 2002). O modelo estatístico do experimento do LOCAL 1, considerando progênies de meios-irmãos e parcela de uma única planta, foi dada pela expressão:

$$y = Xr + Za + e \quad (2)$$

Em que: y é o vetor de dados; r é o vetor dos efeitos de repetições (fixos) somados à média geral; a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios); e o e , o vetor de erros ou resíduos (aleatórios); X e Z representam as matrizes de incidência do efeito fixo de bloco e

de progênies. O modelo estatístico utilizado para o experimento do LOCAL 2, considerando progênies de meios-irmãos e parcela linear foi:

$$y = Xr + Za + Wp + e \quad (3)$$

Em que: y é o vetor dos dados; r é o vetor dos efeitos de repetições (fixos) somados à média geral; a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios); p é o vetor de efeitos de parcelas; e o e , o vetor de erros ou resíduos (aleatórios); X , Z e W representam as matrizes de incidência para o efeito fixo de bloco, de progênies e parcelas respectivamente.

A significância do efeito das progênies foi realizada pelo teste da razão de verossimilhança (LRT), que é obtido pela diferença entre os desvios para modelos sem e com o efeito a ser testado.

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos foram obtidas a partir dos componentes do modelo:

a) Herdabilidades para a seleção na média de progênie de meios irmãos (h_{mp}^2):

Para o experimento LOCAL 1 em que se utilizou parcela de uma única planta a expressão utilizada foi:

$$h_{mp}^2 = \frac{(1/4)\hat{\sigma}_A^2}{(1/4)\hat{\sigma}_A^2 + \left(\frac{3/4\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_e^2}{r}\right)} \quad (4)$$

Em que: $\hat{\sigma}_A^2$ é a estimativa da variância genética; $\hat{\sigma}_e^2$ é a estimativa da variância ambiental; r é o número de repetições ($r=20$).

É importante salientar que nessa expressão desconsiderou-se o efeito de dominância. Para o experimento do LOCAL 2, em que a parcela é linear com cinco plantas, utilizou-se a expressão:

$$h_{mp}^2 = \frac{(1/4)\hat{\sigma}_A^2}{(1/4)\hat{\sigma}_A^2 + \left(\frac{\hat{\sigma}_d^2}{rn}\right)} \quad (5)$$

Em que: $\hat{\sigma}_d^2$ é a variância ambiental dentro parcela; r é o número de repetições ($r=10$); n é o número de plantas por parcela ($n=5$).

b) Acurácia seletiva ($r_{\hat{g}g}$):

$$\hat{r}_{\hat{g}g} = \sqrt{\hat{h}_{mp}^2} \quad (6)$$

c) Coeficiente de variação experimental (CV):

$$CV = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{m} \times 100 \quad (7)$$

Em que: $\hat{\sigma}_E^2$ é a variância fenotípica dentro da parcela mais n vezes a variância do erro, que é a variância ambiental que recebeu o mesmo tratamento em repetições diferentes; m é a média do caráter sob avaliação.

d) Ganho esperado com a seleção (GS) para cada local, envolvendo um determinado caráter i na idade j , foi obtido pela expressão:

$$GS_{ij} = ds \times h_{mp}^2 \quad (8)$$

A herdabilidade varia com o local de realização do experimento.

e) As estimativas das correlações genéticas (\hat{r}_G) e fenotípicas (\hat{r}_F) nas idades j e j' para os caracteres i e i' foram obtidas pelo estimador:

$$\hat{r}_{G(jj')} = \frac{\widehat{COV}_{G_i(jj')}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{G(j)}^2 \times \hat{\sigma}_{G(j')}^2}} \quad (9)$$

$$\hat{r}_{F(jj')} = \frac{\widehat{COV}_{F_i(jj')}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{F(j)}^2 \times \hat{\sigma}_{F(j')}^2}} \quad (10)$$

Em que: $\widehat{COV}_{G_i(jj')}$ é a estimativa covariância genotípica entre as progênes considerando o caráter i para as idades j e j' ; $\hat{\sigma}_{G(j)}^2$ e $\hat{\sigma}_{G(j')}^2$ são as estimativas de variâncias genotípica entre as progênes no caráter i na idade j e j' respectivamente; $\widehat{COV}_{F_i(jj')}$ é a covariância fenotípica entre as progênes no caráter i para as idades j e j' ; $\hat{\sigma}_{F(j)}^2$ e $\hat{\sigma}_{F(j')}^2$ são as variâncias fenotípicas entre as progênes no caráter i na idade j e j' respectivamente.

A mesma expressão foi utilizada quando se considera um caráter i em uma idade j e o outro caráter i na idade j' .

f) Resposta correlacionada (RC) do caráter i nas idades j' , pela seleção realizada na mesma característica na idade j .

$$RC_{ij'(ij)} = \left[\frac{(1/4) \widehat{COV}_{(ij')(ij)}}{\hat{\sigma}_{F(ij)}^2} \right] ds_j \quad (11)$$

em que: $\widehat{COV}_{(ij')(ij)}$ é a estimativa da covariância entre o caráter i na idade j' pela seleção realizada na mesma característica na idade j .

Assim, a resposta correlacionada em porcentagem em relação ao ganho direto da seleção será:

$$RC_{ij'(ij)} (\%) = \left[\frac{RC_{ij'(ij)}}{GS_{ij}} \right] * 100 \quad (12)$$

g) Resposta correlacionada no caráter i' na idade j' pela seleção realizada no caráter i na idade j.

$$RC_{ij'(ij)} = \left[\frac{(1/4) \widehat{COV}_{(ij')(ij)}}{\hat{\sigma}_{F(ij)}^2} \right] ds_j \quad (13)$$

$\widehat{COV}_{(ij')(ij)}$ é estimativa da covariância entre o caráter i' na idade j' pela seleção realizada no caráter i na idade j.

Assim, a resposta correlacionada em porcentagem em relação ao ganho direto da seleção será:

$$RC_{ij'(ij)} (\%) = \left[\frac{RC_{ij'(ij)}}{GS_{ij}} \right] * 100 \quad (14)$$

h) Índice de coincidência (IC) para o caráter i nas idades j e j' ou do caráter i e i' nas idades j e j', conforme a expressão de Hamblin and Zimmermann (1986):

$$\left(\frac{A-C}{M-C} \right) \times 100 \quad (15)$$

Em que: C é o número de progênes selecionados nas duas idades, seleção ao acaso. A é o número de progênes selecionadas que são comuns nas duas idades; M é o número de progênes selecionadas em uma das idades.

i) A eficiência da seleção precoce (EF%), no LOCAL 1 e LOCAL 2 foi obtida pelo valor percentual do ganho indireto, em relação à estimativa de ganho promovido pela seleção direta do caráter i e i' na idade j e j', conforme a expressão:

$$EF(\%) = \frac{GS_{i(j)}}{GS_i} \times 100 \quad (13)$$

Em que: $GS_{i(j)}$ é o ganho de seleção, com base na seleção indireta; GS_i é o ganho de seleção com base na seleção direta.

Todas as análises foram realizadas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha dos dois locais para a realização dos experimentos, no município de Curitiba, ocorreu devido ao conhecimento de que algumas progênies de *E. dunnii* apresentavam maior tolerância a baixas temperaturas, o que normalmente ocorre nesta região. (SILVA et al, 2018; TEIXEIRA, 2019). A diferença básica entre os dois experimentos é que o conduzido no LOCAL 1 foi de parcela de uma única planta (STP) e 20 repetições e, o do LOCAL 2, com parcela linear com cinco plantas e 10 repetições.

A correlação entre o DAP e ALT das plantas em eucalipto normalmente é alta (MORAES et al., 2014; ZIMBACK et al., 2011). Evidentemente a associação entre o IMA e DAP e ALT também deve ser alta. Mesmo assim, os três caracteres foram incluídos nas estimativas para que se tenha informações das possíveis alterações que ocorreram em função das correlações fenotípicas e genotípicas com a idade de avaliação e, também, no contexto de parcela de uma planta e com várias plantas.

As estimativas da acurácia variaram entre os experimentos. Para o LOCAL 1 a variação foi de 0,90 a 0,92 e, para LOCAL 2, de 0,78 a 0,86 (TABELAS 1 e 2). Contudo, em ambos os experimentos a acurácia pode ser considerada de grande magnitude, indicando uma boa precisão na avaliação das progênies para os três caracteres nos dois experimentos (RESENDE e DUARTE, 2007; RESENDE e ALVES, 2022).

Deve-se enfatizar que, no LOCAL 1, a avaliação das progênies foi em STP (20 repetições) e, no LOCAL 2, parcela linear (10 repetições). Este fato confirma que os experimentos em STP são mais precisos que os conduzidos com várias plantas por parcela, sobretudo devido à possibilidade de utilizar em STP um maior número de repetições. Entretanto, neste caso, o LOCAL 2 teve menor número de repetições, mas avaliou um maior número de plantas (50). Vale a pena salientar que o uso de parcela linear também é importante para as avaliações de tolerância a geada, pois nesse modelo de parcela, avalia-se a tolerância média das famílias de espécies subtropicais de eucalipto.

As estimativas do coeficiente de variação experimental (CV) para o LOCAL 1, variaram de 6,62 para o caráter ALT aos 39 meses a 33,76 para IMA 61 meses (TABELA 1). Como se observa, as estimativas dos CV's não são muito coerentes em algumas situações com os valores da acurácia. Por estes resultados dos CV's pode-se inferir um fato já muito comentado na literatura, que essa estimativa é muito influenciada pela média (RESENDE; DUARTE, 2007). Deve-se destacar também que o CV do IMA em todas as condições foi bem superior aos demais. Como o IMA envolve o produto do DAP e da ALT, os erros nas estimativas destes dois

caracteres são acumulados nas estimativas do IMA. Depreende-se que as estimativas da acurácia são mais coerentes com o que se pretende com os experimentos de campo do que o CV, como apregoado por Resende e Duarte, (2007).

As estimativas da acurácia em princípio são bem coerentes com a significância detectada entre as progênes, principalmente no LOCAL 1, como era esperado (Tabela 1), pois neste experimento nas duas idades para os três caracteres, foi detectada diferença significativa entre as progênes. Já no LOCAL 2, principalmente para DAP, não foi detectada diferença significativa nas duas idades. Este fato pode ter contribuído para que a acurácia neste local, para os caracteres nas duas idades, fosse menor que em LOCAL 1.

Tabela 1 - Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, m³.ha⁻¹.ano⁻¹), obtidas na avaliação de progênes de *Eucalyptus dunnii* para as idades de 39 e 61 meses no experimento conduzido no LOCAL 1 do município de Curitibanos, SC.

Parâmetros	39 meses			61 meses		
	DAP	ALT	IMA	DAP	ALT	IMA
LRT	34,16*	38,00*	41,76*	38,76*	29,48*	38,28*
Média	10,02	11,90	26,00	15,44	21,69	72,87
\hat{r}_{gg}	0,91	0,92	0,92	0,92	0,90	0,91
CV%	13,97	6,62	18,73	13,24	12,64	33,76
$\hat{\sigma}_A^2$	5,91	2,92	145,42	23,78	19,61	1800,75
$\hat{\sigma}_e^2$	1,96	0,62	23,71	4,18	7,52	605,11
$\hat{\sigma}_F^2$	7,87	3,54	169,14	27,97	27,13	2405,86
\hat{h}_{mp}^2	0,82	0,84	0,85	0,84	0,82	0,82

LRT, teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; \hat{r}_{gg} acurácia seletiva; CV(%) coeficientes de variação experimental; $\hat{\sigma}_A^2$, $\hat{\sigma}_e^2$ e $\hat{\sigma}_F^2$ correspondem às variâncias genéticas aditivas, ambiental e fenotípicas respectivamente; \hat{h}_{mp}^2 é a herdabilidade média de progênie; ^{NS}Não Significativo *Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de qui-quadrado (5%=3,84).

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 2 - Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, m³.ha⁻¹.ano⁻¹), obtidas na avaliação de progênes de *Eucalyptus dunnii* para as idades de 30 e 50 meses no experimento conduzido no LOCAL 2, no município de Curitiba, SC.

Parâmetros	30 meses			50 meses		
	DAP	ALT	IMA	DAP	ALT	IMA
LRT	0,26 ^{NS}	14,63*	6,86*	0,0 ^{NS}	5,24 ^{NS}	0,90 ^{NS}
Média	11,09	14,54	45,81	13,26	18,92	54,02
\hat{r}_{gg}	0,78	0,86	0,79	0,85	0,86	0,85
CV%	11,71	8,46	26,85	13,83	10,93	29,23
$\hat{\sigma}_A^2$	1,02	1,75	102,46	3,42	4,66	254,41
$\hat{\sigma}_e^2$	6,95	3,54	483,18	13,53	12,50	903,41
$\hat{\sigma}_F^2$	8,12	5,83	624,90	17,09	18,24	1188,35
\hat{h}_{mp}^2	0,60	0,74	0,63	0,72	0,73	0,72

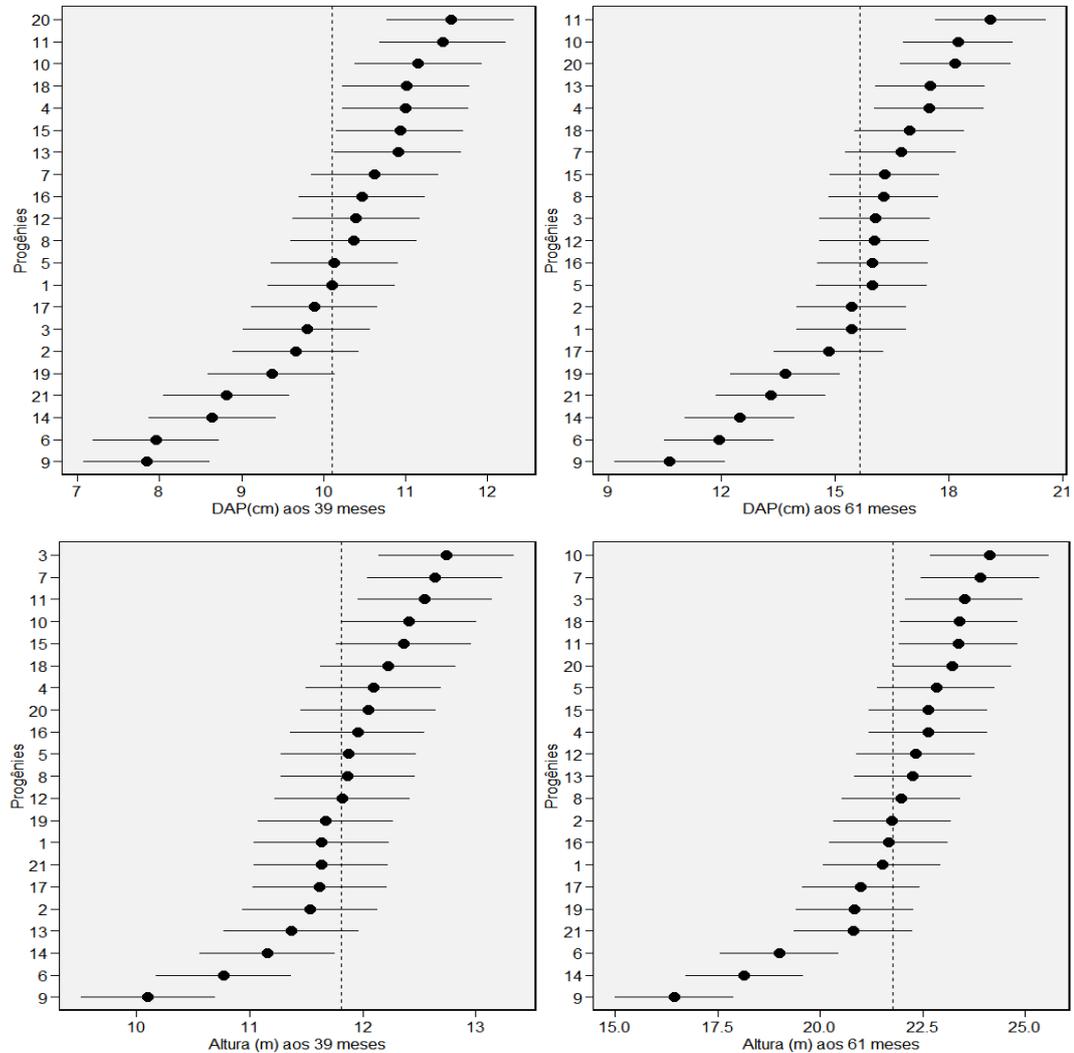
LRT, teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; \hat{r}_{gg} acurácia seletiva; CV(%) coeficientes de variação experimental; $\hat{\sigma}_A^2$, $\hat{\sigma}_e^2$ e $\hat{\sigma}_F^2$ correspondem às variâncias genéticas aditivas, ambiental e fenotípicas respectivamente; \hat{h}_{mp}^2 é a herdabilidade média de progênie; ^{NS}Não Significativo *Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de qui-quadrado (5%=3,84).

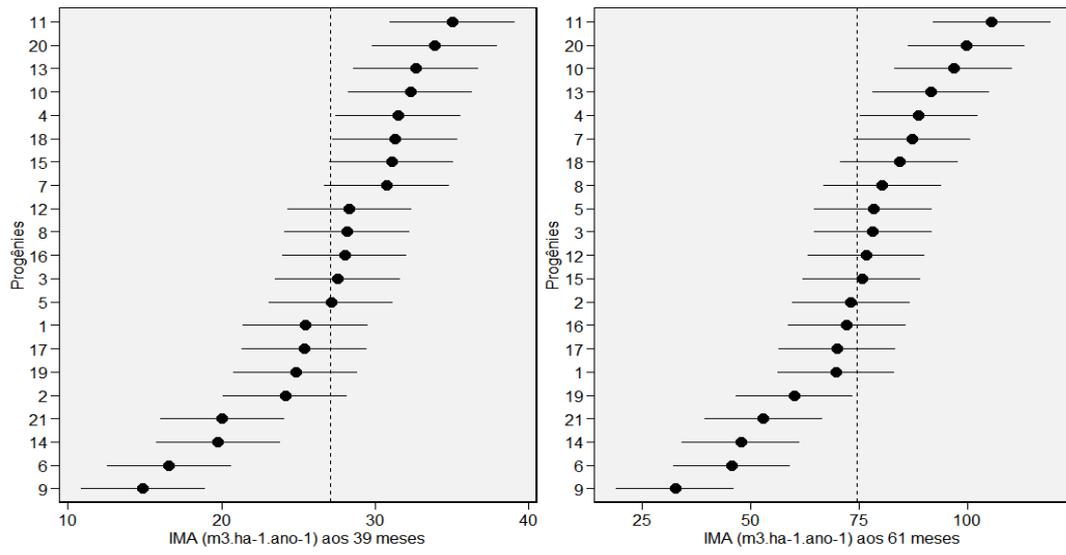
Fonte: Do autor (2023).

A existência de variação entre as progênes pode ser comprovada também por meio das estimativas das médias que estão apresentadas na Figura 1 para o LOCAL 1 e na Figura 2 para o LOCAL 2. Veja também que, para DAP, os erros associados às estimativas da média das progênes no LOCAL 2 são bem superiores aos observados no LOCAL 1. Esse fato é coerente com as estimativas da acurácia nos dois locais. Esses resultados apresentados nas Figura 1 e 2 confirmam também a existência de variação genética entre progênes para os diferentes caracteres nas diferentes idades, principalmente para o LOCAL 1.

A existência de variação genética pode também ser confirmada por meio das estimativas da herdabilidade do sentido restrito para seleção entre média de progênes que foram de alta magnitude, acima 0,82 no LOCAL 1 e de menor magnitude (0,60 a 0,73) no LOCAL 2 (Tabela 1 e 2). Aqui também os resultados são bem coerentes com todas as observações obtidas anteriormente, principalmente para acurácia, que não poderia ser diferente.

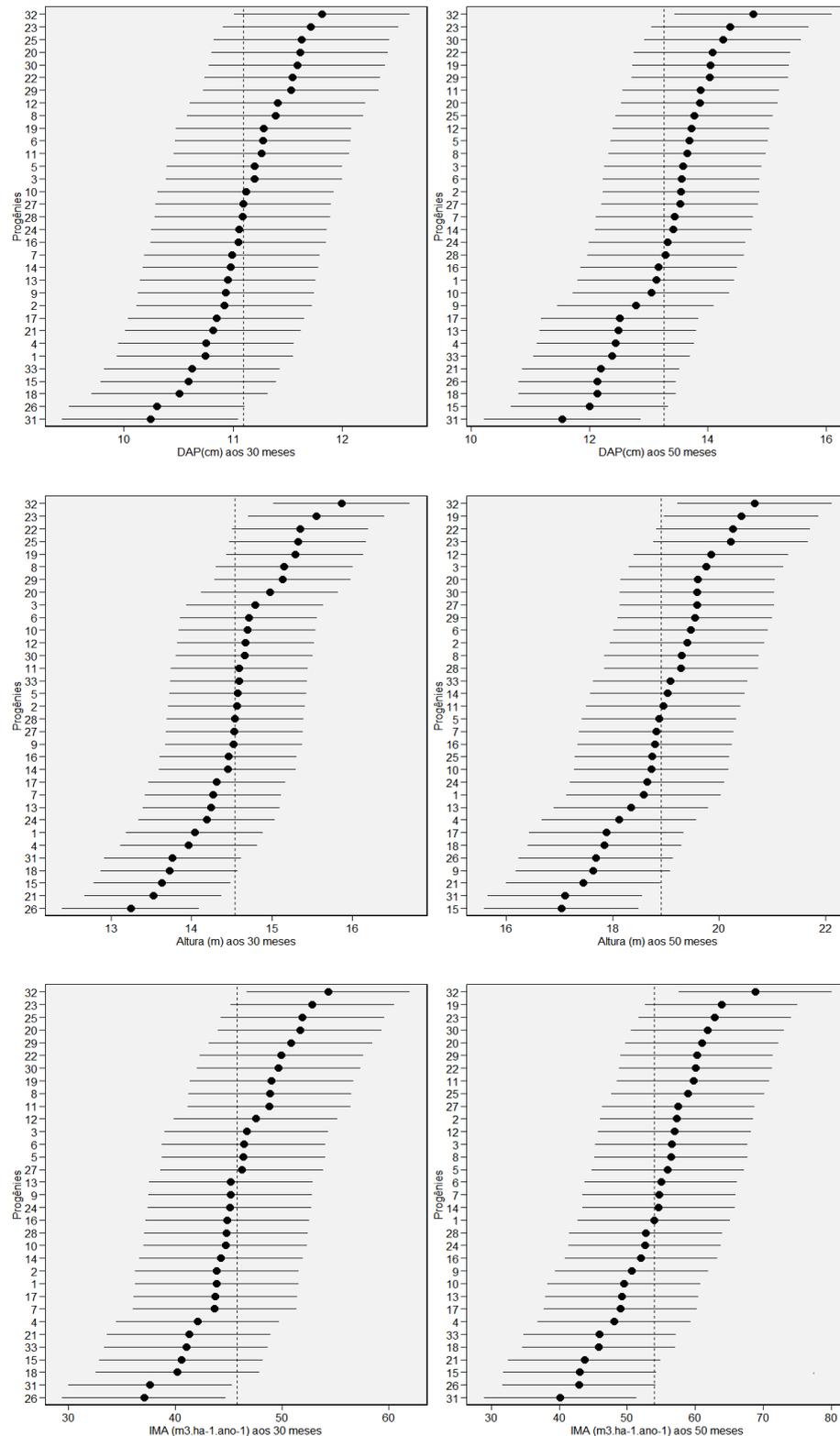
Figura 1 - Relação das médias BLUP dos caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm); altura total das árvores (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$) das progêneses *Eucalyptus dunnii*, avaliadas aos 39 e 61 meses de idade, do experimento conduzido no LOCAL 1 do município de Curitibaanos, SC.





Fonte: Do autor (2023).

Figura 2 - Relação das médias BLUP dos caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm); altura total das árvores (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$) das progêneses *Eucalyptus dunnii*, avaliadas aos 30 e 50 meses de idade, do experimento conduzido no LOCAL 2, no município de Curitibaanos, SC.



Fonte: Do autor (2023).

O objetivo principal desta pesquisa foi verificar se a seleção precoce é eficiente nas condições em que as progênies de *Eucalyptus dunnii* foram avaliadas. Para responder essa pergunta existe algumas possibilidades, uma delas são as estimativas de correlação genotípica (\hat{r}_G) ou fenotípica (\hat{r}_F) entre as idades para um dado caráter. Este tipo de procedimento é normalmente comum na literatura quando o objetivo é obter informações sobre seleção precoce em *Eucalyptus* (MASSARO et al., 2010; QUEIROZ et al., 2019).

Nas tabelas 3 e 4 estão apresentadas as estimativas de correlações \hat{r}_G e \hat{r}_F , obtidas para os dois experimentos. Chama a atenção que as estimativas das \hat{r}_G foram de magnitude superior a \hat{r}_F . Considerando que a \hat{r}_G é função da ocorrência de pleiotropia e/ou os genes envolvidos estejam no mesmo cromossomo (genes ligados), quando se considera as estimativas de um mesmo caráter em duas idades diferentes, era de se esperar que as correlações fossem bem próximas de 1,0, uma vez que é esperado que os genes presentes na idade j sejam os mesmos na idade j'. Para o experimento do LOCAL 1, as estimativas das correlações genotípicas entre DAP39 e DAP61 foi de 0,97, entre ALT39 e DAP61 de 0,93 e, entre IMA39 e IMA61, de 0,96, ou seja, valores bem próximos de 1,0 (Tabela 3). No experimento do LOCAL 2 a mesma tendência foi constatada (Tabela 4). Essas estimativas foram evidentemente altas, mas não necessariamente como esperado. Como os genes são os mesmos, uma explicação seria o erro associado às estimativas. Outra explicação pouco provável é que, embora os genes fossem os mesmos nas duas idades, eles podem atuar em momentos diferentes. Deve ser salientado que um provável motivo para que a correlação genética seja diferente de um é a ocorrência de interação das progênies x idades. Contudo, a própria magnitude da correlação genética ser alta, implica que a interação genótipos por idades deve ser de pequena magnitude. Além do mais, nessa condição existe a possibilidade de ocorrer interação, a qual seria predominante simples, isto é, não afetando a classificação das progênies nas duas idades (CRUZ et al., 2014; PIRES et al., 2011; RAMALHO et al., 2012; RESENDE, 2015).

Outra consideração a respeito de se utilizar a correlação genética é ver o efeito da seleção precoce em um caráter e a resposta correlacionada em outro caráter, por essa razão foi estimado a associação dos caracteres dois a dois nas duas idades. No caso de DAP e ALT aos 39 meses, no LOCAL 1, foi 0,73 (\hat{r}_F) e 0,85 (\hat{r}_G) e, considerando DAP e IMA 0,97 (\hat{r}_F) e 0,98 (\hat{r}_G), essa mesma tendência foi observada para as duas idades e, também, para o experimento no LOCAL 2 (Tabelas 3 e 4). Pelo exposto, pode-se inferir que a associação entre os caracteres mostra que a eficiência da seleção precoce, em DAP, por exemplo, repercutiu nos demais. Além disso, essa informação tem um interesse prático muito grande, pois obter o dado de DAP é

muito mais fácil e normalmente com erro associado menor. Assim, obter o dado de ALT não seria necessário para medir a eficiência da seleção precoce.

Resultados semelhantes foram obtidos por Massaro et al. (2010), que no estudo com *Eucalyptus ssp*, obtiveram alta correlação juvenil x adulta para o caráter ALT, e sugeriram que o conjunto gênico que atua na idade jovem para este caráter deve ser o mesmo que atua na idade adulta. Zimback et al. (2011), quando estudaram *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden* encontraram correlações entre os caracteres de crescimento (DAP, ALT e VOL). Apresentaram valores elevados: 0,78 para correlação fenotípica no segundo ano e acima de 0,81 para a correlação genética aditiva no terceiro ano, revelando que a seleção para qualquer um dos caracteres pode resultar em resposta correlacionada no outro caráter mesmo na seleção precoce. Tambarussi et al. (2017), nos seus estudos de viabilidade da seleção precoce em clones de *Eucalyptus spp.*, também constataram que a correlações genéticas chegaram a 0,99 entre DAP e ALT aos três e cinco anos, concluindo que a seleção precoce sobre o caractere DAP, aos três anos de idade, é recomendável porque apresenta altos ganhos por unidade de tempo.

Tabela 3 - Estimativas das correlações fenotípicas (\hat{r}_F), acima da diagonal, e genotípica (\hat{r}_G), abaixo da diagonal, entre os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), e das idades de 39 e 61 meses das progênies de *Eucalyptus dunnii*, avaliadas no experimento conduzido no LOCAL 1, no município de Curitiba, SC.

	DAP39	ALT39	IMA39	DAP61	ALT61	IMA61
DAP39	-	0,73**	0,97**	0,92**	0,79**	0,87**
ALT39	0,86**	-	0,79**	0,70**	0,75**	0,67**
IMA39	0,98**	0,89**	-	0,89**	0,75**	0,89**
DAP61	0,97**	0,88**	0,97**	-	0,86**	0,97**
ALT61	0,87**	0,93**	0,87**	0,92**	-	0,82**
IMA61	0,95**	0,88**	0,96**	0,99**	0,91**	-

DAP39 e DAP61 – DAP aos 39 e 61 meses, respectivamente; ALT39 e ALT61 - ALT aos 39 e 61 meses, respectivamente e IMA39 e IMA61 – IMA aos 39 e 61 meses, respectivamente.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 4 -Estimativas das correlações fenotípicas (\hat{r}_F), acima da diagonal, e genotípica (\hat{r}_G), abaixo da diagonal, entre os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), e das idades de 30 e 50 meses das progênies de *Eucalyptus dunnii*, avaliadas no experimento conduzido no LOCAL 2 no município de Curitibanos, SC.

	DAP30	ALT30	IMA30	DAP50	ALT50	IMA50
DAP30	-	0,84**	0,97**	0,81**	0,77**	0,77**
ALT30	0,93**	-	0,82**	0,67**	0,73**	0,64**
IMA30	0,86**	0,94**	-	0,81**	0,71**	0,82**
DAP50	0,99**	0,91**	0,83**	-	0,86**	0,97**
ALT50	0,94**	0,97**	0,91**	0,94**	-	0,84**
IMA50	0,85**	0,90**	0,97**	0,86**	0,94**	-

DAP30 e DAP50 – DAP aos 30 e 50 meses, respectivamente; ALT30 e ALT50 - ALT aos 30 e 50 meses, respectivamente e IMA30 e IMA50 – IMA aos 30 e 50 meses, respectivamente.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Na condição da seleção de um caráter na idade j e a resposta no mesmo caráter na idade j' , o que interessa é a correlação entre o fenótipo do caráter na idade j , porque é o fenótipo que é considerado na seleção, e o genótipo evidentemente do mesmo caráter na idade j' . Essa

correlação é função de $r_{F_i G_j} = r_{G_i G_j} \sqrt{h_i^2}$, (BERNARDO, 2020; RAMALHO et al., 2012).

Como no caso da seleção precoce, a correlação genética do caráter i nas idades j e j' , como já foi comentado para uma planta perene como o eucalipto, em que a observação nas duas idades e obviamente realizada na mesma planta, é esperado que $r_{G_{jj}}$ seja um. Assim, a resposta na seleção precoce é em função apenas da magnitude da raiz quadrada da herdabilidade no momento da seleção, na idade j , ou seja, é função da acurácia na idade j . Pelos resultados já comentados para qualquer um dos caracteres, especialmente no LOCAL 1, a seleção precoce aos 39 meses é muito eficiente quando se considerou a idade 61 meses. Para o LOCAL 2, as estimativas da acurácia, como já comentado, não foram tão altas como no LOCAL 1. Mesmo assim, sua magnitude permite inferir que a seleção precoce também deve ser eficiente. Entretanto a eficiência da seleção precoce foi de alta magnitude no LOCAL 2, provavelmente em função do erro associado à estimativa da acurácia.

Para comprovar a eficiência da seleção precoce, outra alternativa é estimar a resposta correlacionada pela seleção para um dado caráter nas idades j e j' ($RC_{jj'}$). No caso do LOCAL 1, verifica-se na tabela 5, para o DAP, a resposta $RC_{jj'}$, sendo $j=39$ meses e $j'=61$ meses, estimativas da eficiência foi superior a 95% em relação ao ganho direto do DAP na idade de 39 meses. Para ALT em que a herdabilidade foi menor $RC_{jj'}$, a estimativa da eficiência foi

ligeiramente inferior (83%). Já para o IMA, a eficiência do RC_{ij} foi bem semelhante ao DAP (93,15%). No caso do LOCAL 2 (Tabela 6), os valores foram bem semelhantes para os relatos para o LOCAL 1. Depreende-se que a seleção precoce foi eficiente para os três caracteres no LOCAL 1 e LOCAL 2. Esses resultados são bem coerentes com os obtidos também em *E. dunnii* por Moraes et al., (2014) e por Massaro et al. (2010) quando estudou *Eucalyptus* spp.

Um aspecto que pode ser comentado ainda, e que repercute na eficiência da seleção precoce são as estimativas da resposta correlacionada ($RC_{(ij)(i'j')}$), lembrando que o *i* representa o caráter e *j* as idades. Ou seja, $RC_{(ij)(i'j')}$ é estimativa da seleção realizada em um dado caráter *i*, em uma determinada idade *j* e resposta em outro caráter *i'*, em idade mais avançada *j'*. Considerando que as estimativas de correlações genética e fenotípica foram todas altas entre DAP, ALT e IMA, a seleção realizada no DAP, na primeira avaliação, vai repercutir também nos resultados de ALT e IMA na segunda avaliação. Constatou-se que a resposta correlacionada, realizada na primeira avaliação para DAP e resposta na segunda avaliação para ALT e IMA, foi igual ou até mesmo superior à eficiência da seleção direta na ALT e no IMA na primeira avaliação e a obtida na segunda avaliação (Tabelas 5 e 6). Não foram encontrados relatos na literatura da eficiência da seleção precoce em um dado caráter em uma dada idade e em outro caráter em outra idade. Isto são estimativas $RC_{(ij)(i'j')}$ para *E. dunnii* ou qualquer espécie de *Eucalyptus*. Visualiza-se com as estimativas $RC_{(ij)(i'j')}$ obtidas neste trabalho, uma condição muito favorável para a realização da seleção precoce, tendo como referência, por exemplo, o DAP, que é de mais fácil mensuração e com menor erro, para ser utilizado como indicação da resposta ao IMA, que é o que interessa para empresa, no momento do abate das árvores.

Finalmente, o que se deseja é comparar a eficiência da seleção precoce e estimar o índice de coincidência (IC). Ou seja, comparar as progênies selecionadas na primeira avaliação e a resposta em avaliações avançadas, no nosso caso, primeira e segunda avaliação. Quando se avalia a coincidência do número de progênies deve-se ter em mente que algumas são esperadas, mas outras ocorrem inteiramente ao acaso. Por essa razão, nas estimativas das coincidências foi utilizada a expressão proposta por Hamblin e Zimmermann (1986), considerando que tenha coincidido por acaso o número correspondente à proporção de plantas selecionadas. No caso do LOCAL 1, o valor seria igual a $1,7 (21 * 0,2857) * 0,2857$ e, para o LOCAL 2, igual a 3. Pelo exposto, a estimativa do IC com os dados do LOCAL 1 para o DAP, aos 39 e 61 meses, foi de 86%, ou seja, das seis progênies selecionadas para DAP 39 meses, cinco também seriam selecionadas aos 61 meses, desconsiderando aquelas que coincidem apenas devido ao acaso. Já para o LOCAL 2, esse número é ligeiramente menor: 78% (DAP30 para DAP 50). Para altura

nas mesmas condições ele foi de 62% no LOCAL 1 e 78% para o LOCAL 2 e o IMA, 86% para o LOCAL 1 e 100% para o LOCAL 2 (Tabela 5). Esses resultados são semelhantes com os encontrados por Pinto et al. (2014) quando estudaram *Eucalyptus urophylla*, em que obtiveram o ranqueamento dos cinco melhores clones, selecionados na idade de três anos e que coincidiram aos seis anos.

Depreende-se novamente que os resultados foram coerentes com os apresentados, anteriormente, da resposta correlacionada (RC_{jj}), isto é, o ganho realizado na seleção na idade j e repostado na idade j' . Deve-se destacar que como o número de progênies avaliadas não foi grande, nesta pesquisa, considerou-se a proporção selecionada relativamente com alta-intensidade de seleção baixa, aproximadamente 30%. Essa estratégia foi necessária para tentar manter um tamanho efetivo (N_e) relativamente alto, para continuidade do sucesso da seleção recorrente. Quando se utiliza progênies de meios-irmãos tem-se que cada progênie corresponde a $N_e \cong 4$ (RESENDE, 2015). Assim, na presente situação tem-se $N_e = 24$ para LOCAL 1 e 40 para LOCAL 2. Valores esses que possibilitam resposta à seleção recorrente em longo prazo, como preconizado por Rawlings (1970) e Baker e Curnow (1969).

Tabela 5 Média geral das progênies (M_o), média das seis melhores progênies (M_s) e estimativa da resposta correlacionada (RC) e em porcentagem (RC, %) e eficiência da seleção precoce (EF, %) para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m), e incremento médio anual (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), das progênies de *Eucalyptus dunnii*, avaliadas no experimento conduzido no LOCAL 1 do município de Curitiba, SC, nas idades de 39 e 61 meses.

Seleção em	Resposta em	M_o	M_s	RC	RC %	EF (%)
DAP39	DAP39	10,34	11,36	0,84*	8,12*	100,00
	DAP61	15,81	18,47	2,24	14,14	95,39
	ALT61	21,91	23,35	1,18	5,39	82,70
	IMA61	66,16	87,23	17,28	26,11	96,32
ALT39	ALT39	12,10	12,79	0,58*	4,83*	100,00
	DAP61	15,81	17,44	1,37	8,65	68,34
	ALT61	21,91	23,74	1,50	6,86	83,02
	IMA61	66,16	78,89	10,44	15,79	72,09
IMA39	IMA39	15,81	18,38	2,16*	13,64*	100,00
	DAP61	21,91	23,56	1,36	6,19	93,26
	ALT61	66,16	87,23	17,28	26,12	83,58
	IMA61	15,81	18,38	2,16	13,64	93,15

DAP39 e DAP61 – DAP aos 39 e 61 meses, respectivamente; ALT39 e ALT61 - ALT aos 39 e 61 meses, respectivamente e IMA39 e IMA61 – IMA aos 39 e 61 meses, respectivamente. * Ganho esperado com a seleção.

Fonte: Do autor (2023).

Em função do que foi comentado anteriormente é preciso salientar que a herdabilidade/acurácia é o aspecto fundamental a ser observado pelos melhoristas ao conduzir a seleção precoce. Deste modo, antes de se proceder a seleção precoce deve-se estimar a acurácia seletiva. Em ocorrência das estimativas de acurácia seletiva, de média a baixa magnitude neste momento na seleção a ser efetuada precocemente, os melhoristas devem reduzir a intensidade da seleção, como ocorre em qualquer processo seletivo (RUTKOSKI, 2019).

Tabela 6 - Média geral das progênies (M_o), média das dez melhores progênies (M_s) e estimativa da resposta correlacionada (RC) e em porcentagem (RC, %) e a eficiência da seleção precoce (EF, %) para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m), e incremento médio anual (IMA, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), das progênies de *Eucalyptus dunnii*, avaliadas no experimento conduzido no LOCAL 2 no município de Curitiba, SC, nas idades de 30 e 50 meses.

Seleção em	Resposta em	M_o	M_s	RC	RC %	EF %
DAP30	DAP30	11,09	11,99	0,54*	4,88*	100,00
	DAP50	13,26	14,88	1,16	8,76	97,19
	ALT50	18,92	20,60	1,23	6,50	86,91
	IMA50	54,02	68,68	10,53	19,49	94,59
ALT30	ALT30	14,54	15,84	0,96*	6,63*	100,00
	DAP50	13,26	14,77	1,08	8,18	86,95
	ALT50	18,92	20,93	1,47	7,78	85,28
	IMA50	54,02	67,80	9,90	18,33	85,15
IMA30	ALT30	45,81	55,44	6,06*	13,22*	100,00
	DAP50	13,26	14,84	1,14	8,56	99,23
	ALT50	18,92	20,55	1,20	6,32	78,52
	IMA50	54,02	68,84	10,65	19,71	98,41

DAP30 e DAP50 – DAP aos 30 e 50 meses, respectivamente; ALT30 e ALT50 - ALT aos 30 e 50 meses, respectivamente e IMA30 e IMA50 – IMA aos 30 e 50 meses, respectivamente. * Ganho esperado com a seleção.

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 7 - Índice de coincidência (%) das progênes *Eucalyptus dunnii* selecionadas. No experimento do LOCAL 1 selecionou-se seis progênes e no LOCAL 2 dez, para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total da árvore (ALT, m) e incremento médio anual de madeira (IMA, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$).

	LOCAL 1			LOCAL 2			
	DAP61	ALT61	IMA61	DAP50	ALT50	IMA50	
DAP39	86	74	74	DAP30	78	58	58
ALT39	62	62	62	ALT30	41	78	58
IMA39	86	62	86	IMA30	100	58	58

DAP39 e DAP61 – DAP aos 39 e 61 meses, respectivamente; ALT39 e ALT61 - ALT aos 39 e 61 meses, respectivamente e IMA39 e IMA61 – IMA aos 39 e 61 meses, respectivamente;

Fonte: Do autor (2023).

5. CONCLUSÕES

Sob as condições em que o estudo foi conduzido, a seleção precoce com *Eucalyptus dunnii* provou ser eficiente, independentemente do ambiente, seja com uma ou mais árvores por parcela. Todas as estratégias utilizadas para avaliar a eficiência da seleção precoce forneceram resultados coincidentes.

A resposta correlacionada na altura pela seleção efetuada no DAP foi semelhante ao ganho direto para altura, tanto na mesma idade como em idades diferentes, evidenciando que não é necessária a obtenção da altura das plantas, que é um caráter de obtenção mais difícil dos dados e associado a erros mais elevados.

6. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V. et al. Ferramentas aplicadas no melhoramento genético de *Pinus* para otimizar o ganho esperado. **Série Técnica IPEF**. Piracicaba. v. 19, n. 40, p. 40, 2015.
- ASSIS, T. F. De; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. **Melhoramento Genético do Eucalipto**. 2015.
- BAKER, L.H.; CURNOW, R.N. Choice of population size and use of variation between replicate populations in plant breeding selection programs. **Crop Science**. v. 19, n.4. p. 566-566. 1969.
- BERNARDO, R. **Reinventing quantitative genetics for plant breeding: something old, something new, something borrowed, something BLUE**. *Heredity*. v. 125, n. 6, p. 375–385. 2020.
- BILLARD, C. E.; LALLANA, V. H. Multiplicación in vitro de *Eucalyptus* (*E. tereticornis* Sm. x *E. camaldulensis* Dehn. Southern Form). **Silvae Genetica**. Erechim, v. 48, n.2, p. 104-108, 1999.
- BURLEY, J.; KANOWSKI, P. Breeding strategies for temperate hardwoods. **Forestry**. v. 78, n. 2, p.199-208, 2005.
- CAMPINHOS, E.; IKEMORI, Y.K. **Introdução de novas técnicas na produção de mudas de essências florestais**. *Silvicultura*. v.8, n. 28, p. 226-228, 1983.
- CARRIJO, P. R. M.; BOTREL, M. C. G.; FAGUNDES, R. S. **Avaliação da distribuição da normalidade dos dados do diâmetro à altura do peito em florestas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na região de Cascavel – PR**. *Cultivando o Saber Cascavel*. v.1, n.1, p.95-106, 2008.
- CASTRO, C. A. O. et al. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Forestry Science**. v.46, n. 9, p.1585-1593, 2016.
- COMSTOCK, R.; ROBINSON, H. F.; HARVEY, P. H. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. **Agronomy Journal**. v. 41, p. 360-367, 1949.
- CONDÉ, S. A. **Biomarcadores fenotípicos para seleção precoce de clones de eucalipto tolerantes à seca de ponteiros associada ao déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa-MG. 2019.
- COUTINHO, R. T. et al. Viabilidade da seleção precoce de *Pinus taeda* L. em diâmetro a altura do peito em programa de melhoramento genético. **Scientia Forestalis**. v. 45, n. 113, p. 205-219, 2017.
- CRUZ, C. D., CARNEIRO, P. C. S., REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa, Brasil: UFV - Universidade Federal de Viçosa, 3a ed. 2014.
- DIAO, S. et al. Age trends of genetic parameters, early selection and family by site interactions for growth traits in *Larix kaempferi* open-pollinated families. **BMC genetics**, Londres, v. 17, n. 1, p. 1-12, 2016.

DOBNER JR, M. et al. Crescimento e desempenho econômico de *Eucalyptus dunnii* em diferentes sítios no planalto sul do Brasil. **Floresta**. v. 47, n. 4, p. 397 - 406, out/dez. 2017.

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

FERREIRA, M.; SANTOS, P.T.E. dos. **Melhoramento genético florestal dos Eucalyptus no Brasil: breve histórico e perspectivas**. Brazil-brief review and perspectives. Colombo: Embrapa/ CNPF. p. 14–34, 1997.

FLORES, T. B. et al. **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF. 448 p. 2016.

FONSECA, S. M. da. et al. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2010.

FREITAS JÚNIOR, G. de. **A História Ambiental dos Eucaliptos: Austrália, Brasil e Vale do Paraíba Paulista**. Universidade de Taubaté – UNITAU & Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC, São Paulo. 151p. 2014.

GAIOTTO, F. A; BRAMUCCI, M; GRATTAPAGLIA, D. Estimativa da taxa de cruzamento em uma população reprodutora de *Eucalyptus urophylla* st Blake com marcadores RAPD e AFLP dominantes. **Theor Appl Genet**. v. 95, p.842–849. 1997.

GALLO, R. Growth and wood quality traits in the genetic selection of potential *Eucalyptus dunnii* Maiden clones for pulp production. **Industrial Crops and Products**. v. 123. p. 434-441. 2018.

GLENCROSS, K. et al. Growth response to thinning in two subtropical hardwood species. Technical Report 217. **Cooperative Research Centre for Forestry**, Hobart. 2011.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forest: a Journal of Forest Science**. v. 79, n. 3, p. 1-15, 2017.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests**, v. 1, p. 1-15, 2017.

GRATTAPAGLIA, D. **Melhoramento de Eucalyptus: híbridos, clonagem e marcadores moleculares**. Palestra. Capturado em 20 de junho de 2008. Online. Disponível na internet em: http://ww.cenargen.embrapa.br/palestras/21102006/21102006_001.pdf.

HAMBLIN, J. E.; ZIMMERMANN, M. J. O. Breeding common bean for yield in mixtures. **Plant Breeding Reviews**. v. 4, p. 245-272. 1986.

HENRIQUES, E. P. et al. Estimativa de parâmetros genéticos para caracteres silviculturais e densidade do lenho em teste de progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**. v. 44, n. 109, p. 105-113, 2016.

HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; KODAMA, A. S. Efeito da poda de copa na produção de sementes de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. v. 25, n. 43, p. 99-106, 2001.

HIGA, R. C. V. et al. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**. n. 40, p. 67-76. 2000.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório anual IBÁ 2022**. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>.

KAGEYAMA, P. Y. **Seleção precoce a diferentes idades em progênies de *Eucalyptus grandis*** (Hill). Ex Maiden. Piracicaba, (Tese-Livre-Docência-ESALQ), 151p. 1983.

MARQUES JÚNIOR, O. G. **Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos e avaliação da eficiência da seleção precoce em *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.** Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

MASSARO, R. A. M. et al. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**. v. 20, p. 597-609, 2010.

MORAES, C. B. et al. Estimativas de parâmetro genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para regiões com ocorrência de geadas. **Scientia Forestalis**. v. 42, n. 102, p. 219 - 227, 2014.

MORAES, C. B.; et al. Genetic parameters of *Eucalyptus* clones for early selection in frost occurrence region. **Scientia Forestalis**. v. 42, n. 102, p. 219–227. 2004.

MOREIRA J. P. et al. Ganho esperado na seleção de progênies de *Pinus elliottii* var. elliottii em idade precoce para produção de madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 34, n. 78, p. 99-109. 2014.

QUEIROZ, M. A. et al. Early selection in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. progenies in Savanna, Brazil. **African Journal of Biotechnology**. v. 18, n. 16, p. 347-351, 2019.

PEIXOTO, L. D. A. **Redes Neurais Artificiais na predição do valor genético**. Universidade Federal de Viçosa. 2013.

PEREIRA, A. B. et al. Eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., avaliadas na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Cerne**. v. 3, n. 1, p. 67-81, 1997.

PEREYRA, O. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de peines compensados**. Dissertação de Mestrado. ESALQ. Piracicaba. 87p. 1994.

PINTO JÚNIOR, J. E. **REML / BLUP para a análise de múltiplos experimentos, no melhoramento genético de *Eucalyptus grandis***. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2004.

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

PIRES, I. E. et al. **Genética florestal**. Viçosa. p. 318. 2011.

PIRES, I. E.; CRUZ, C. D.; BORGES, R. C. G.; REGAZZI, A. J. Índice de seleção combinada aplicado ao melhoramento genético de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**. v. 20, n. 2, p.191-197, 1996.

QUEIROZ, M. A. **Correlações genéticas e fenotípicas em progênes de meios irmãos de milho (*Zea mays* L.) e suas implicações no melhoramento**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz e Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1969.

RAMALHO, M.A.P. et al. Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. Lavras: **Editora UFLA**. 522p. 2012.

RAWLINGS, J.O. Present status of research on long- and short-term recurrent selection on finite populations. Choice of population size. In: Proceedings of the 2nd Meeting of the Working Group on Quantitative Genetics. **USDA-SFES, New Orleans**, p. 1-15, 1970.

REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; PACHECO, A.R.; Potencialidades e desafios para o melhoramento genético de eucaliptos aos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). **In O eucalipto e a Embrapa**. p. 1133-1146. 2021.

REIS, C. A. F.; TELLES DOS SANTOS, P. E.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 34, n. 80, 2014.

RESENDE, M. D. V. de; HIGA, A. R.; LAVORANTI, O. J. Regressão geno-fenotípica multivariada e maximização do progresso genético em programas de melhoramento de *Eucalyptus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 28/29, p. 57-71, 1994.

RESENDE, M. D. V. et al. Métodos e Estratégias de Melhoramento de Espécies Perenes: Estado da Arte e Perspectivas. In: congresso brasileiro de melhoramento de plantas. 1. ed. Gramado: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas. **Embrapa Trigo**. p. 36, 2005.

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

RESENDE, M. D. V. **Melhoramento de essências florestais**. In: **BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV. p. 589 – 648, 1999.

RESENDE, M. D. V.; ALVES, R. S. **Genética: estratégias de melhoramento e métodos de seleção**. 2021.

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

RESENDE, M. D. V; BARBOSA, M. H. P. Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada. **Embrapa Informação Tecnológica**: Colombo, 130p. 2005.

RESENDE, M.D.V. **Genética quantitativa e de populações**. Suprema, Visconde do Rio Branco 463. 2015.

RODRIGUES, G. S. S. C. et al. **Eucalipto no brasil Expansão geográfica e impactos ambientais**. Uberlândia/MG. 2021.

RUTKOSKI, J. E. A practical guide to genetic gain. **Advances in Agronomy**. v.157, 217-249. 2019.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (edit.). Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília: **Embrapa**. 138 p. 2014.

SANTOS, P. E. T. Dos. et al. Melhoramento genético de eucaliptos subtropicais: contribuições para a espécie *Eucalyptus viminalis*. **Embrapa Florestas**. Colombo. 2020.

SARTÓRIO, I. P. **Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades**. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2014.

SILVA, P. H. M.; PAULA, R. C.; MORAES, M. L. T. Melhoramento de populações de eucaliptos. **Piracicaba: IPEF**, 2018. 108p.

SOUZA JUNIOR, L.; WENDLING, I. Propagação vegetativa de *Eucalyptus dunnii* via miniestaquia de material juvenil. **Boletim de Pesquisa Florestal**. n. 46, p. 21-30. 2003.

TAMBARUSSI, E. V. et al. Análise dialéctica na avaliação do potencial de híbridos de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* para a formação de populações de melhoramento. **Scientia Forestalis**. v. 46, n. 119, p. 395-403. 2018.

TAMBARUSSI, E. V. et al. Estimativas de parâmetros genéticos para a seleção precoce em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**. v. 45, n. 155, p. 507-517. 2017.

TEIXEIRA, L. G. **Seleção e ganho genético em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus dunnii* para tolerância ao frio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Tocantins- GURUPI. 2019.

TOLFO, A. L. T. et al. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**. v. 31, n. 67, p. 101-110, 2005.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 496 p.1992.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. **Contribuições do melhoramento genético de plantas no Brasil**. In: PATERNIANI, E. (ed.) Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária. Brasília: Embrapa, 2000 p. 57-89.

ZIMBACK, L. et al. Correlações entre caracteres silviculturais durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* hill ex maiden. **Revista do Instituto Florestal**. v. 23 n. 1 p. 57-67. 2011.