



TÁCIO DE SOUZA PÁDUA DIAS

**ANÁLISE UNI E MULTIVARIADA PARA PROGÊNIES DE
EUCALYPTUS BENTHAMII EM VÁRIAS IDADES**

**LAVRAS-MG
2020**

TÁCIO DE SOUZA PÁDUA DIAS

**ANÁLISE UNI E MULTIVARIADA PARA PROGÊNIES DE *EUCALYPTUS*
BENTHAMII EM VÁRIAS IDADES**

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 obtenção do título de Mestre.

Prof. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

Dra. Regiane Abjaud Estopa
Co-orientadora

**LAVRAS-MG
2020**

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

Dias, Tácio de Souza Pádua.

Análise uni e multivariada para progênies de *Eucalyptus benthamii* em várias idades / Tácio de Souza Pádua Dias. - 2020.
56 p. : il.

Orientador(a): Flávia Maria Avelar Gonçalves.

Coorientador(a): Regiane Abjaud Estopa.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Melhoramento florestal. 2. BLUP multivariado. 3.
Herdabilidade. I. Gonçalves, Flávia Maria Avelar. II. Estopa,
Regiane Abjaud. III. Título.

TÁCIO DE SOUZA PÁDUA DIAS

**ANÁLISE UNI E MULTIVARIADA PARA PROGÊNIES DE *EUCALYPTUS*
BENTHAMII EM VÁRIAS IDADES**

**UNI AND MULTIVARIATE ANALYSIS FOR *EUCALYPTUS BENTHAMII*
PROGENIES IN VARIOUS AGES**

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 obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de agosto de 2020

Dr. Regiane Abjaud Estopa KLABIN

Dr. Lucas Amaral de Melo UFLA

Dr. Régis de Castro Carvalho UFLA

Prof. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

Dra. Regiane Abjaud Estopa
Co-orientadora

**LAVRAS-MG
2020**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por se fazer presente em minha vida em tantos momentos importantes, me dando forças para seguir a caminhada.

A Universidade Federal de Lavras, por toda minha formação e em especial ao Departamento de Biologia, pela oportunidade.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos meus pais, pelo suporte e amor de sempre.

A Paula, minha eterna companheira, por todo amor, carinho e paciência. Por ser sempre meu lar.

A todos funcionários e professores do Departamento de Biologia - DBI

Agradeço a professora Flávia, pela orientação, paciência e dedicação que foram de grande relevância para realização desse trabalho. Acima de tudo, agradeço por ter sido pessoa fundamental em um dos momentos mais importantes da minha vida.

A Regiane, pela coorientação, oportunidade deste trabalho e compreensão em determinados momentos. Estendo meus agradecimentos, aqui, a Klabin, pela disponibilidade dos dados.

A todos colegas e amigos de GEN, pela amizade e momentos de diversão. Em especial, aos colegas floresteiros Heloísa e Lucas. Sem eles, nada disso seria possível.

A todo o grupo de Perenes, pela convivência e companheirismo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

“A Vida... o que ela quer da gente, é coragem.”

Guimarães Rosa

RESUMO GERAL

O amplo progresso obtido pelas florestas de produção brasileira hoje é uma realidade devido ao melhoramento genético, que vem complementar as ações silviculturais e de manejo florestal, oferecendo povoamentos mais produtivos, uniformes e, principalmente, adaptados às diferentes regiões. O *Eucalyptus benthamii* é uma espécie de grande importância no sul do Brasil devido a sua alta tolerância ao frio aliada à boa adaptação e crescimento volumétrico. Diversos estudos vêm demonstrado a superioridade do procedimento BLUP pelo método multivariado quando comparado ao BLUP univariado em resultados onde a seleção multivariada resultou em seleções mais eficientes e precisas. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi comparar as estimativas genéticas pelo procedimento BLUP univariado e pelo procedimento BLUP multivariado para o teste de progênie de meio irmão de *E. benthamii*. A população usada nesse trabalho foi composta por um teste de progênie implantado em delineamento de blocos ao acaso, composto por 81 famílias com 20 repetições e uma planta por parcela, totalizando 1620 indivíduos. Os caracteres de crescimento DAP, altura e volume, foram avaliados em quatro idades, sendo, aos 3 anos de idade, aos 4, aos 6 e aos 7.. Foram realizadas as análises via abordagens de modelos mistos univariada e multivariada. Para a abordagem multivariada, foram consideradas todas as combinações de idade para cada variável. Os caracteres apresentaram alta variação e amplitude. A precisão experimental, estimada pela acurácia, foi classificada como alta a muito alta e a herdabilidade, pelo procedimento univariado, classificada de mediana a alta. A análise multivariada, proporcionou melhores estimativas, mesmo que em pequena magnitude, de herdabilidade nos anos 3, 4 e 7. Aos seis anos de idade, a análise univariada apresentou melhores estimativas de herdabilidade. A análise multivariada também resultou em estimativas de ganhos genéticos superiores, sendo que aqui, essa superioridade se deu em todos os anos de medição. Portanto, a utilização das idades de medição das variáveis, como auxílio nas estimativas genéticas, por meio do procedimento multivariado, mostrou-se de grande valia para experimentos avaliados por vários anos.

Palavras chave: Melhoramento florestal. Herdabilidade. Ganho genético. BLUP multivariado

ABSTRACT

The wide progress made by Brazilian production forests today is a reality due to genetic improvement, which comes to complement silvicultural and forest management actions, offering more productive, uniform populations and, mainly, adapted to different regions. *Eucalyptus benthamii* is a species of great importance in southern Brazil due to its high tolerance to cold combined with good adaptation and volumetric growth. Several studies have demonstrated the superiority of the BLUP procedure by the multivariate method when compared to the univariate BLUP in results where the multivariate selection resulted in more efficient and accurate selections. Thus, the objective of this work was to compare the genetic estimates by the univariate BLUP procedure and by the multivariate BLUP procedure for the test of *E. benthamii* half brother progenies. The population used in this work consisted of a progeny test implanted in a randomized block design, composed of 81 families with 20 replicates and one plant per plot, totaling 1620 individuals. The characters of growth DAP, height and volume, were evaluated in four ages, being, at 3 years of age, at 4, at 6 and at 7 years of age. Analyzes were performed using mixed univariate and multivariate approaches. For the multivariate approach, all age combinations for each variable were considered. The characters showed high variation and amplitude. The experimental precision, estimated by the accuracy, was classified as high to very high and the heritability, by the univariate procedure, classified from median to high. Multivariate analysis provided better estimates, even if in a small magnitude, of heritability in years 3, 4 and 7. At six years of age, univariate analysis showed better estimates of heritability. The multivariate analysis also resulted in estimates of superior genetic gains, and here, this superiority occurred in all years of measurement. Therefore, the use of variable measurement ages, as an aid in genetic estimates, through the multivariate procedure, proved to be of great value for experiments evaluated over several years.

Keywords: Forest improvement. Heritability. Genetic gain. BLUP multivariate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da cidade de Otacílio Costa - SC.....	24
Figura 2. Gráfico A: Comportamento da temperatura média e máxima nos anos de 2013 e 2018; Gráfico B: Comportamento da precipitação ao longo dos anos de medição do experimento.	32
Figura 3. Comportamento do Ganho Genético ao longo dos anos.....	33
Figura 4. Comparação da herdabilidade estimada pelo procedimento univariado (ST) com o multivariado (MT) para a variável DAP.	35
Figura 5. Comparação da herdabilidade estimada pelo procedimento univariado (ST) com o multivariado (MT) para a variável ALTURA.	36
Figura 6. Comparação da herdabilidade estimada pelo procedimento univariado (ST) com o multivariado (MT) para a variável volume.	37
Figura 7. Ganho genético da variável DAP ao longo das idades de medição pelos procedimentos univariado (ST) e multivariado (MT).	38
Figura 8. Ganho genético da variável ALTURA ao longo das idades de medição pelos procedimentos univariado (ST) e multivariado (MT).	39
Figura 9. Ganho genético da variável VOLUME ao longo das idades de medição pelos procedimentos ST e MT.	40
Figura 10. Comparação entre os procedimentos univariado (ST) e multivariados (MT) para a variável DAP.	41
Figura 11. Comparação entre os procedimentos univariado (ST) e multivariados (MT) para a variável ALTURA.	41
Figura 12. Comparação entre os procedimentos univariado (ST) e multivariado (MT) para a variável VOLUME.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características de espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> (FONSECA et al., 2010).	16
Tabela 2. Combinações de idades como informações auxiliares.	26
Tabela 3. Análise de deviance (ANADEV) para o diâmetro à altura do peito (DAP) em diferentes idades em progênies de meios-irmãos de <i>E. benthamii</i>	27
Tabela 4. Análise de deviance (ANADEV) para a altura em diferentes idades em progênies de meios-irmãos de <i>E. benthamii</i>	27
Tabela 5. Análise de deviance (ANADEV) para o volume em diferentes idades em progênies de meios-irmãos de <i>E. benthamii</i>	27
Tabela 6. Análise descritiva e parâmetros genéticos para os caracteres de crescimento nas idades de medição, na análise univariada.	29
Tabela 7. Correlação genética entre as idades de DAP, altura e volume.	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Setor florestal e o melhoramento genético	13
2.2 A espécie <i>Eucalyptus benthamii</i>	14
2.3 Qualidade da madeira de <i>Eucalyptus benthamii</i>	17
2.4 Parâmetros genéticos.....	19
2.5 Modelos mistos e o procedimento REML / BLUP	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Locais de condução dos experimentos	24
3.2 Caráteres mensurados	24
3.3 Análise estatístico-genética.....	25
3.3.1 Análises individuais univariadas e multivariadas	25
3.3.2 Procedimento multivariado: informações auxiliares	25
3.3.3. Estimção de componentes.....	26
3.3.4 Ganho genético	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Estatística Descritiva e Análise Univariada	27
4.2 Análise Multivariada.....	34
4.2.1 Herdabilidade.....	34
4.2.2 Ganho genético	38
4.3 Correlação genética.....	43
5 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Brasil se estabeleceu como um dos líderes em plantio de florestas de produção, atingindo em 2018, 7,83 milhões de hectares. O setor florestal como um todo, em termos de receita, alcançou R\$ 86,6 bilhões no mesmo ano, com um crescimento de 13,1% em relação ao ano anterior. Em reflexo no Produto Interno Bruto (PIB), essa evolução do setor foi muito superior à média nacional (IBÁ, 2019). Um dos responsáveis por este amplo progresso é o melhoramento genético, juntamente com as ações de manejo florestal, que possibilitou obter povoamentos mais produtivos, uniformes e adaptados às diferentes regiões (CASTRO et al., 2016).

Diversas espécies de *Eucalyptus* vêm sendo estudadas há muito tempo, visando sua introdução em programas de melhoramento com objetivo de se obter progênies ou clones com características específicas, com destaque para: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. saligna*, *E. pellita*, *E. cloeziana*, *E. globulus*, *E. dunni*, *E. smithii* e *E. benthamii* (GRATTAPAGLIA et al., 2012; PEREIRA et al., 2000).

Tanto as espécies *E. grandis* e *E. urophylla* assim como o híbrido resultante de seu cruzamento (Urograndis), adquiriram grande importância na indústria nacional de celulose e papel, formando um dos híbridos de melhor desempenho quando se fala em área plantada no Brasil, com boa produtividade, adaptação ecológica, características desejáveis para a produção de celulose e resistência ao cancro. Por outro lado, há o predomínio de ligninas não reativas no híbrido urograndis, o que interfere na qualidade da madeira na polpação. Para contornar essa limitação da matéria-prima, os programas de melhoramento genético realizam cruzamento entre clones produtivos do híbrido urograndis com espécies de alto rendimento em celulose e outras características de interesse industrial como *E. globulus*, *E. dunii* e *E. smithii* (HENRIQUES et al., 2017; CARVALHO, 2000; PALUDZYSZYN FILHO, 2011).

Com o crescimento previsto e atual da indústria de celulose, em diferentes regiões do Brasil, torna-se indispensável a melhoria contínua da produtividade das florestas de *Eucalyptus* e da qualidade desta madeira. Contudo, as espécies de eucalipto adaptadas às condições climáticas e economicamente importantes para regiões mais frias, ficam limitadas a um pequeno grupo, onde pode-se citar o *E. dunni* e *E. viminalis*. Porém, novos estudos vêm demonstrando o potencial de plantios de *Eucalyptus benthamii* sob estas condições peculiares (ALVES et al., 2011; BRONDANI, 2012).

A necessidade de plantios comerciais com espécies mais adaptadas às condições do Sul do Brasil, principalmente ao frio e às geadas severas, impulsionou a pesquisa sobre o *E. benthamii*. Em 1988, em Colombo – PR, a Embrapa Florestas realizou o plantio da primeira população genética base de *E. benthamii*, o qual mostrou alta resistência à geada, rápido crescimento, boa forma de fuste e alta homogeneidade do talhão, mostrando-se como uma espécie potencial para reflorestamentos no Sul do país (GRAÇA; SHIMIZU; TAVARES, 1999).

No entanto, não há ainda muitas áreas, no contexto mundial, com plantios de *Eucalyptus benthamii* (ALVES et al., 2011). Com isso, existe uma deficiência de informações mais detalhadas sobre a espécie, principalmente no que se refere ao melhoramento genético, que possa subsidiar de forma concreta e mais qualificada todas as etapas do programa de melhoramento, visando obter ganhos significativos com o *E. benthamii*.

A estratégia de melhoramento genético do eucalipto baseia-se no melhoramento das espécies puras e na exploração de híbridos interespecíficos. Na primeira estratégia, procura-se aumentar a produção com o cuidado de não reduzir perigosamente a variabilidade natural. Na segunda, o objetivo é atingir o ganho genético máximo em uma única geração, utilizando-se todos os níveis da variabilidade entre e dentro de espécies (BERTOLUCCI; REZENDE; PENCHEL, 1995). Neste sentido, a avaliação criteriosa das progênies em experimentos bem delineados, é fator chave para o sucesso do melhoramento genético para os principais caracteres agronômicos (RAMALHO, FERREIRA e OLIVEIRA, 2005).

Um procedimento estatístico bastante utilizado para análise de experimentos de seleção é a análise de variância (ANAVA), desenvolvida por Fisher no início do século que contribuiu com grande parcela para o estágio onde se encontra o melhoramento genético. Na maioria dos estudos realizados para a espécie, os efeitos eram considerados como sendo fixos, exceto o erro experimental, que era aleatório. Entretanto, sua abordagem hoje, é limitada por diversas razões, principalmente quando se trata de estudos com culturas perenes. Nesse sentido, Resende (2007) destaca: presença simultânea de efeitos fixos e aleatórios, desbalanceamento e medições repetidas em um mesmo indivíduo durante vários anos. Este último ponto faz com que as variáveis coletadas sejam correlacionadas ao longo do tempo, ferindo pressuposições básicas para efetuar a ANAVA como a independência e a homogeneidade dos erros.

Idealizado por Charles Roy Henderson em 1949, a metodologia de modelos mistos é uma alternativa ao modelo de Fisher, sendo definido como aquele que contém efeitos fixos e

aleatórios no mesmo modelo, independente da média geral e do erro experimental, sempre classificados como fixos e aleatórios, respectivamente. A possibilidade de incorporação de informações de parentesco, comparação de indivíduos ao longo do tempo e espaço, correção de efeitos ambientais, estimativa de componentes de variância e predição de valores genéticos simultaneamente, modelagem de estruturas de variância-covariância e a possibilidade de lidar com estruturas de dados complexos, despertaram o interesse de pesquisadores e consagrou o modelo misto no melhoramento florestal (MRODE, 2014; SCHULZ-STREECK; PIEPHO, 2010; RESENDE, 2016).

Com o intuito de evitar viés de seleção, que pode ocorrer se as características avaliadas forem analisadas individualmente, a seleção dos indivíduos superiores é feita com base em várias características. A seleção simultânea de caracteres consiste em uma estratégia multivariada de suma importância nos programas de melhoramento de plantas, visto que é desejado o desenvolvimento de cultivares que apresentem ótimo desempenho em vários caracteres de interesse econômico ao mesmo tempo, avaliados ao longo dos anos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; POLLAK et al., 1984).

Henderson e Quaas (1976) propuseram uma extensão da metodologia de modelos mistos, denominada BLUP multivariado, podendo ser adaptada, de acordo com a natureza dos dados e do objetivo para o BLUP multivariado, que vem com o poder de prever simultaneamente os valores genotípicos para a mesma variável ao longo dos anos. Diversos estudos vêm demonstrado a superioridade do procedimento BLUP multivariado quando comparado ao BLUP univariado, em resultados em que a seleção com múltiplas informações e/ou caracteres resultou em seleções mais eficientes e precisas. Têm-se como exemplo os trabalhos de Aleta et al. (2004), Viana et. al (2010) e Alves et al. (2018). Em um cenário de tomada de decisão entre os métodos, destaca-se a importância da herdabilidade e de alta correlação genética entre as variáveis e entre os anos, assim, de acordo com Piepho et al. (2008), o procedimento multivariado seria mais vantajoso.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi comparar as estimativas dos parâmetros genéticas pelo procedimento BLUP univariado em cada idade separado e pelo procedimento BLUP multivariado, com o auxílio das informações das idades ao longo das medições, para o teste de progênies de meio irmão de *E. benthamii*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Setor florestal e o melhoramento genético

Do produto interno bruto (PIB) nacional de 2019, cerca de 1,3% foi proveniente das florestas plantadas, com crescimento de 13,1 % em 2018, ocupando menos de 1% da área produtiva brasileira. Percebe-se a grandeza dessa crescente evolução, quando se compara com o PIB do setor agropecuário, que evoluiu 0,1%. O território coberto por floresta plantada, manteve-se estável em relação ao ano anterior, com 7,8 milhões de hectares, um dos mais relevantes no cenário global e responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no país, tendo o eucalipto como carro chefe dessa cadeia. A geração de empregos diretos em 2018 cresceu quase 1%, impactando 3,8 milhões de pessoas direta e indiretamente. É de grande importância, destacar a contribuição do setor para o desenvolvimento socioeconômico e a dinamização da economia local (IBÁ, 2019).

A história da eucaliptocultura traz polêmicas quanto a definição de seu início. Segundo Marchiori (2014), Navarro de Andrade, em 1911, foi o primeiro a apontar o pioneirismo do Rio Grande do Sul, atribuindo a iniciativa a Frederico de Albuquerque, em 1868. Por outro lado, Silva e Barrichello (2006), destacam o início também no Rio Grande do Sul, com o político Joaquim Francisco de Assis Brasil, que demonstrou interesse pelo gênero e deu início aos primeiros plantios, no mesmo ano de 1868. O que é certo é o pioneirismo do Rio Grande do Sul é, assim como, o envolvimento crucial tanto de Frederico Albuquerque quanto de Assis Brasil nos primeiros passos do eucalipto em terras brasileiras.

Em 1904, com a demanda por madeira para dormentes e postes para ferrovia, Edmundo Navarro, pesquisador da ex - Companhia Paulista de Estradas de Ferro, vislumbrou o eucalipto como uma espécie promissora para solucionar o problema. Ele introduziu diversas espécies e procedências de eucalipto para o Horto de Jundiaí, SP, com o objetivo principal de identificar espécies mais adaptadas as nossas condições (SILVA; BARRICHELO, 2006).

Para elaborar um sólido programa de melhoramento genético, a partir de 1941, Navarro de Andrade juntou-se ao pesquisador Dr. Carlos Arnaldo Krug, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Com algumas espécies já plantadas, a meta era trabalhar na uniformidade das plantações, reduzindo falhas e melhorando a forma do tronco, aumentar diâmetro e altura, melhorar a capacidade de brotação e aumentar a produção por unidade de área. As espécies mais promissoras, a partir destes primeiros estudos, já apontavam para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Porém, o crescimento da área de plantios produtivos se tornou realmente marcante somente após a promulgação da Lei de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento, em 1966, que nasceu graças à crescente demanda de madeira no país. Poucos anos mais tarde, em meados da década de 1970, o setor consolidou-se ainda mais com o Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), criado pelo Governo Federal (PALUDZYSZYN, 2007).

Os primeiros testes de progênies foram instalados no início da década de 1970, juntamente com nova introdução de germoplasma, realizada com um pouco mais de rigor e se preocupando em ampliar a base genética da espécie. Em sequência, foram priorizadas as atividades relacionadas com a produção de sementes melhoradas de eucalipto (RODRIGUEZ, 2002). Com o objetivo posterior de produzir sementes melhoradas de algumas espécies, os estudos concentraram-se na seleção massal de indivíduos superiores e seleção com famílias de meios-irmãos (REZENDE, 2001).

A formação de plantios por mudas propagadas via assexuada, principalmente pela técnica de miniestaquia, permitiu a clonagem em escala comercial de material genético superior. Em 1973 o programa de melhoramento genético iniciado pela Empresa Aracruz procurou estabelecer estratégias combinadas de processos sexuais e assexuais e em 1979, a primeira plantação clonal comercial, com 1.000 ha, era estabelecida. A partir da década de 1980, a clonagem do eucalipto foi tecnicamente dominada, e as empresas passaram a utilizá-las nos programas de melhoramento, permitindo a perpetuação e multiplicação de boas combinações genéticas. Este processo é apontado como fator chave que contribuiu e alavancou a eucaliptocultura brasileira nas últimas décadas e que consagrou a silvicultura clonal do eucalipto (ASSIS, ABAD e AGUIAR, 2015; FERREIRA, 1992; XAVIER e SILVA, 2010).

Hoje, o eucalipto é a base para o abastecimento de matéria prima para as grandes indústrias de base florestal, como as que produzem papel e celulose, carvão vegetal para siderurgia, painéis de madeira. Outros fins podem ser designados ao seu cultivo como madeira serrada, postes, escoras, bioenergia, mourões, dormentes etc. (ASSIS e RESENDE, 2011).

2.2 A espécie *Eucalyptus benthamii*

O *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage, é originário da Austrália, derivando da cidade de Camden. Possui uma distribuição classificada como rara, limitada na costa leste de

New South Wales. Sua maior ocorrência é no Sudoeste de Sydney nas planícies de Nepean River e seus afluentes, especialmente aquelas submergidas no grande Warragamba Dam. É conhecido como “Candem White Gum”, atingindo 36 m de altura e 50 cm de diâmetro (NISGOSKI, MUNIZ E KLOCK, 1998).

Grande parte dos indivíduos foram inundados com a construção da represa de Warragamba. Por ocorrer naturalmente em solos férteis, o *E. benthamii* sofreu grande pressão e competição com as pastagens. A necessidade de solos mais férteis tornou a espécie muito vulnerável durante a expansão da fronteira agrícola na Austrália (COSTA, 2014; HIGA e PEREIRA, 2003).

Essa espécie ocorre em regiões com precipitação média anual de chuva entre 730 e 1010 mm, com regime chuvoso no verão e um período de seca de até cinco meses. A média de temperatura anual varia de 13 a 17 °C, com uma máxima entre 26 e 30 °C e uma mínima entre -6 e -10 °C (MUJIU et al., 2003).

As primeiras populações de *Eucalyptus benthamii* no Brasil foram introduzidas em 1988, pela Embrapa Florestas (Colombo, PR). Esse povoamento foi constituído de famílias misturadas de sete a dez matrizes da procedência Wentworth Falls (NSW), Austrália. As características que mais se destacaram foram alta resistência à geada, rápido crescimento, boa forma de fuste e alta homogeneidade do talhão. A altura e o diâmetro à altura do peito (DAP) médio aos oito anos de idade, foram estimados em 21,7 m e 18,2 cm, respectivamente (HIGA; PEREIRA, 2003). Sendo assim, em regiões de clima frio no Brasil, especialmente em localidades na qual se verifica geadas severas e frequentes, como no sul do país, o *E. benthamii* torna-se uma ótima opção para reflorestamentos (GRAÇA; SHIMIZU e TAVARES, 1999; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS e FERREIRA, 2006; SILVA, 2008).

O *E. benthamii* demonstrou superioridade ao *Eucalyptus dunnii*, espécie que também apresenta potencial para plantio nas regiões de clima temperado do sul do país, com relação à tolerância as geadas e crescimento em plantios localizados nos municípios de Colombo e Guarapuava, no Estado do Paraná (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS e PEREIRA, 2006). Corroborando para este potencial de adaptabilidade às condições severas, Serpe (2015), constatou que *E. benthamii* apresentou resistência à 15 geadas anuais com temperatura mínima absoluta de -6,4°C.

Um grupo de espécies economicamente importantes e seus respectivos comportamentos para uma gama de características relacionadas à produção foi apresentado por Fonseca et. al (2010). As escalas de avaliação vão de: ruim (R), intermediário (I), bom (B)

e muito bom (MB) (Tabela 1). Dentre aquelas espécies plantadas nas regiões frias do país, o *E. benthamii* apresenta ampla vantagem, com um ótimo desempenho em crescimento.

Tabela 1. Características de espécies do gênero *Eucalyptus* (FONSECA et al., 2010).

Espécies	Crescimento	Ferrugem	Enraizamento	Seca	Frio	Densidade
<i>E. grandis</i>	MB	I	B	R	R	R
<i>E. urophylla</i>	B	I	MB	I	R	I
<i>E. camaldulensis</i>	R	MB	MB	MB	R	MB
<i>E. tereticornis</i>	R	B	B	MB	R	MB
<i>E. robusta</i>	I	MB	MB	I	R	MB
<i>E. resinifera</i>	I	MB	MB	I	R	MB
<i>E. pellita</i>	I	MB	MB	I	R	MB
<i>E. dunnii</i>	B	I	R	R	B	B
<i>E. benthamii</i>	MB	B	R	R	MB	R
<i>E. globulus</i>	R	I	R	B	B	MB

Com relação à propagação vegetativa, a espécie apresenta dificuldades de enraizamento, o que aumenta muito o custo de produção de mudas, inviabilizando o uso de alguns clones (GRAÇA; SHIMIZU; TAVARES, 1999). Porém vários estudos fisiológicos, de nutrição e clonagem têm sido feitos para viabilizar a produção de mudas e permitir o uso de clones selecionados (BRONDANI, et al., 2012; MIRANDA; ESTOPA; FIGURA, 2019). Para tentar resolver o problema, Cunha, Wedling e Souza (2005) recomendaram o uso do minijardim clonal em sistema hidropônico do tipo canaletão como alternativa mais viável para a produção de brotações. Wit Ondas et al. (2009) verificaram que alguns genótipos testados enraizaram por miniestacas após exposição ao frio.

Nos últimos anos, uma abordagem que vem sendo feita, diz respeito ao uso de *E. benthamii* para fins de painéis compensados e de partículas. Os reflorestamentos com esta espécie na região Sul são relativamente jovens, e há um crescente plantio sendo feito por muitos produtores. Ou seja, a médio prazo estará disponível no mercado uma grande quantidade de matéria prima sem um direcionamento de produto final, tornando-se importante a avaliação desta espécie em todos os ramos de utilização na indústria. (MARTARELLO et al., 2015).

A estratégia mais usada, no recente programa de melhoramento genético do *E. benthamii*, é a Seleção Recorrente Intrapopulacional para o melhoramento da espécie pura, visto que atualmente essa espécie é referência em termos de tolerância a frio. Com a finalidade de agregar a tolerância à geada aos híbridos, polinizações controladas de *E.*

benthamii com outras espécies ou clones superiores também têm sido realizadas. Até 2017 a Klabin S.A plantou 3.290 hectares de florestas com a espécie *E. benthamii*, sendo que 65% desta área é plantada com clones elite, desenvolvidos pelo programa de melhoramento genético da empresa visando fomentar o plantio desta espécie no Planalto Serrano de Santa Catarina. As produtividades desses clones chegam a 42 m³/ha/ano e, estes plantios têm apresentado alta uniformidade e tolerância às geadas frequentes que ocorrem na região (ESTOPA, 2017).

Avaliando progênes de *Eucalyptus benthamii* aos 7 anos de idade em Telêmaco Borba – PR, o método de seleção entre e dentro foi o que apresentou os melhores resultados em comparação a seleção individual e seleção massal. O sucesso nos programas de melhoramento, passa pela necessidade de minimizar possíveis erros na seleção dos melhores indivíduos que serão genitores nas próximas gerações. Cabe ao melhorista verificar, dentro dos vários métodos de seleção, quais aqueles que atendem suas demandas de curto, médio e longo prazo (COSTA et al., 2016; ROCHA et al., 2007).

2.3 Qualidade da madeira de *Eucalyptus benthamii*

No que concerne as florestas de produção, o que os especialistas buscam, é associar um genótipo que demonstre rápido crescimento com produção de madeira de qualidade satisfatória para um uso específico. O eucalipto, por ser uma madeira de elevada versatilidade e elevada produtividade, atende, na maioria dos casos, à necessidade como matéria-prima e, principalmente, para a produção com fins que atenda a indústria de celulose e o setor energético do país (BARCELLOS et al., 2005; MELO et al., 2016).

A madeira, por ser um material heterogêneo, difere de outras matérias-primas, especialmente por apresentar variabilidade de suas propriedades nas direções axial e radial. Essa variação está relacionada ao genótipo da planta, aos fatores ambientais, espaçamento, nutrição e da interação do genótipo com o ambiente, que influenciam a atividade cambial responsável pela produção de células que compõem a madeira. Tal comportamento pode causar uma série de transtornos para a indústria de transformação e processamento (MELO et al., 2016).

O conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira está intimamente relacionado ao seu potencial, as quais influenciam de forma direta em sua qualidade. O emprego de estudos para caracterização tecnológica da madeira deve ser utilizado a fim de

auxiliar na escolha do destino final da madeira, seja para fins energéticos, celulose, serraria ou construção civil (GALLIO et al., 2016).

De acordo com Gonçalves et al. (2010), a exigência do mercado madeireiro por material de qualidade superior é crescente a cada ano. Comportamento este, que repercute nos diferentes segmentos florestais a partir da silvicultura e do melhoramento genético, finalizando no setor tecnológico de base florestal. Assim, o conhecimento da variabilidade entre os materiais disponíveis, assim como, características tecnológicas são de enorme valia.

Das propriedades do lenho, a densidade básica é considerada como uma das mais importantes para definir sua qualidade. A densidade resulta da integração das propriedades físico-químicas e características anatômicas do lenho, constituindo-se na principal responsável pelas características de resistência, energia, etc., que condicionam a sua utilização. Sua grande importância está no fato de que a densidade básica, além de ser uma característica de fácil determinação, está ligada com um grande número de outras propriedades da madeira. Para produção de papel e celulose é desejável que a madeira possua densidade uniforme, pois a velocidade de impregnação e de deslignificação dos cavacos é influenciada pela massa específica (ALVES et al., 2011; JORGE; PEREIRA, 1998; ROCHA, 1983).

Nisgoski, Muñiz e Klock (1998), descreveram a madeira de *E. benthamii* como moderadamente dura, com uma densidade básica de 0,47 g/cm³, para um povoamento aos 7 anos de idade. Em um trabalho de caracterização da madeira de algumas espécies de eucalipto plantados no Brasil, Pereira et al. (2000) obtiveram uma densidade básica média de 0,403 g/cm³, para um teste de procedência de *E. benthamii* aos 4 anos de idade.

Em estudo recente, em um povoamento de 11 anos de idade, Gallio et al. (2016) encontraram uma densidade básica de 0,548 g/cm³. No estudo realizado por Ferraz et al. (2020), a média do grupo de indivíduos em análise dessa característica foi de 0,41 g / cm³, variando de 0,36 a 0,49 g / cm³. Valores de densidade em torno de 500 kg / m³ são considerados satisfatórios segundo Gomide et al. (2005).

O teor de lignina é importante para o desempenho da polpação, pois a presença de compostos fenólicos tende a aumentar o consumo de reagentes químicos durante o processo de cozimento e reduzir o rendimento (SOUZA, 2016). O teor de lignina insolúvel da madeira de progênie de *E. benthamii* aos 4 anos de idade no estudo de Estopa et al. (2017) foi em média 27,0 % e de lignina total, 31,5 %. Ferraz et al. (2020) encontraram valores de lignina total próximos ao estudo de Estopa et al. (2017), variando de 28,11 a 34,4 %.

2.4 Parâmetros genéticos

As estimativas dos parâmetros que definem as características genéticas de uma população são tidas como um dos fatores de maior relevância na genética quantitativa. Assumem o papel de explicar a variabilidade genotípica de uma característica de interesse, sendo de grande importância no melhoramento florestal. O conhecimento de sua magnitude é fundamental para que possam ser avaliados a viabilidade e o êxito de programas de melhoramento (CRUZ, 2005; MANFIO et al., 2012).

Sendo assim, as estimativas de parâmetros genéticos estabelecem as bases para a definição dos programas de melhoramento da população e direcionam novos enfoques nos programas. Além disso, possibilitam a obtenção de informações sobre os ganhos com estratégias alternativas para o melhoramento genético e proporcionam o conhecimento da natureza da ação gênica envolvida na herança dos caracteres estudados (FARIAS NETO; RESENDE, 2001; ROSADO, 2009).

Em suma, as estimativas de parâmetros genéticos são de grande importância na obtenção de informações sobre a ação dos genes em caracteres quantitativos, a fim de informar para o melhorista, qual o método de seleção mais adequado ao tipo de progênie estudada. Em plantas perenes, a obtenção dessas estimativas torna-se ainda mais crucial, devido ao ciclo longo dessas espécies. Portanto, a decisão dos melhoristas deve ser a mais acertada possível (VENCOVSKY, 1969; BISON, 2004).

Dentre estes parâmetros, as principais estimativas de interesse para o planejamento de um programa de melhoramento consistem na herdabilidade e na correlação genética. É definida como a porção da variação fenotípica total, causada pela variação dos valores genéticos aditivos. Auxilia o melhorista no trabalho de obtenção e seleção de genótipos superiores e é tida como um dos pilares fundamentais dos programas de melhoramento, sendo uma propriedade não somente de um caráter, mas como da população e das circunstâncias ambientais às quais os indivíduos estão sujeitos. A correlação, de acordo com Falconer (1987), avalia o grau de associação entre os caracteres. Permite conhecer a influência que a seleção em uma característica terá sobre outras, com o objetivo de viabilizar a redução do tempo na seleção de genótipos (MORAES et al., 2014; ROSADO, 2009).

Grande parte da contribuição da genética quantitativa está relacionada com a possibilidade de se estimar o ganho genético com uma estratégia de seleção adotada pelo programa de melhoramento genético (GONÇALVES et al., 2007). Na maioria das vezes, o

que importa não é a descoberta e sim o melhoramento daquilo já existente. A estimativa do ganho genético tem a função de aferir a eficiência dos métodos de seleção que estão sendo empregados. Caso estes não estejam propiciando os resultados esperados, o melhorista poderá replanejar as estratégias seletivas subsequentes. Sendo assim, a seleção vem como uma excelente ferramenta para o melhorista, pois ela objetiva acumular alelos favoráveis no caráter a ser melhorado. De forma geral, o ganho genético é o parâmetro que mede o aprimoramento da geração selecionada em relação à população anterior (RESENDE, 2002; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

2.5 Modelos mistos e o procedimento REML / BLUP

A avaliação criteriosa das progênes em experimentos bem delineados, primeiramente, é fator chave para o sucesso do melhoramento genético de plantas para os principais caracteres agronômicos. É necessário conhecer os fatores ambientais que interferem na expressão fenotípica e os métodos de seleção e de melhoramento. De posse dos dados, o próximo passo é a exploração adequada dos mesmos, com a adoção de procedimentos acurados de seleção de progênes que visam associar os maiores valores genéticos aditivos (RAMALHO, FERREIRA e OLIVEIRA, 2005; RESENDE, 2002).

Desenvolvido no começo do século XX por Fisher, o método da ANOVA é tradicionalmente utilizado na estimação dos componentes de variância. Para que este método gere estimativas confiáveis e resultados não tendenciosos é necessário respeitar algumas condições, destacando-se: balanceamento dos dados e ausência de efeitos fixos e aleatórios juntos no mesmo modelo. Considerando o melhoramento de espécies perenes, uma série de fatores torna esse tipo de análise não recomendada, como: presença simultânea de efeitos fixos e aleatórios, desbalanceamento devido à mortalidade de árvores, possibilidade de se obter estimativas negativas de variâncias e medições repetidas em um mesmo indivíduo durante vários anos. Este último ponto faz com que as variáveis coletadas sejam correlacionadas ao longo do tempo, ferindo as pressuposições básicas para efetuar a ANOVA como a independência e a homogeneidade dos erros (DUARTE, 2000; RESENDE, 2007).

Em estudos de dados longitudinais, em espécies perenes, devido ao fato das observações serem repetidas em um mesmo indivíduo, essas tendem a ser correlacionadas, com variâncias não-homogêneas e dependentes. Essa correlação pode ser modelada por meio de uma estrutura de covariâncias. Uma das principais razões em se utilizar modelos mistos no

melhoramento florestal é a ocorrência dessas medidas repetidas. Para que a inferência sobre as médias seja válida, é essencial modelar uma estrutura de covariâncias apropriadas. A metodologia permite isso, por meio da modelagem da parte aleatória pela inclusão de uma matriz de variâncias e covariâncias (RIZZATTO, 2011; LITTELL et al., 1996)

Em relação à análise experimental, Resende (2002) ressalta que no caso de experimentos com plantas perenes, o bloco é o principal estrato homogêneo para comparação de indivíduos. Dentro dele, é necessário ajustar os valores individuais para os efeitos de blocos, de forma que a comparação se torne não viciada. Para isso deve-se considerar os efeitos como fixos, tornando a avaliação genética invariável ao efeito de blocos, não transferindo estes efeitos também para os genótipos que neles se desenvolvem. Bueno Filho (1997) encontrou diferenças de ordenamento dos tratamentos em ensaios florestais decorrentes unicamente se o efeito no modelo era considerado como fixo ou aleatório. Isso ressalta a importância da decisão prévia sobre a natureza do modelo da análise, pois esta pode gerar erros de ordenamento e de predição de ganhos pela seleção.

Define-se modelo misto aquele que contém efeitos fixos e aleatórios no mesmo modelo, independente da média geral e do erro experimental, sempre classificados como fixo e aleatório, respectivamente. A metodologia foi proposta por Charles Roy Henderson em 1949, tendo sido adotada primeiramente no melhoramento animal. A partir da década de 1980, junto com os avanços computacionais, tornou-se mais difundida, ganhando alto destaque no melhoramento de espécies perenes. Peculiaridades como a incorporação de informações de parentesco; comparação de indivíduos ou variedades ao longo do tempo e espaço; correção de efeitos ambientais, estimativa de componentes de variância e predição de valores genéticos simultaneamente; e lidar com estruturas de dados complexas, despertam o interesse de pesquisadores, e a aplicação dessa abordagem tem aumentado, especialmente em pesquisas de seleção assistida por marcadores e seleção genômica ampla (BAUER; LÉON, 2008; LORENZANA; BERNARDO, 2009; MRODE, 2011; RESENDE, 2016).

Para predição de valores genéticos, o uso de modelos mistos, inicialmente, requer o conhecimento dos componentes de variância e covariâncias (Genética e Residual – G e R). Tais predições serão uma aproximação e não mais necessariamente as melhores. Portanto, uma determinação segura das estimativas dos componentes da variância é de fundamental importância para o processo de estimação, como o de predição, podendo resultar em alterações nas estimativas dos efeitos fixos (*Best Linear Unbiased Estimation* - BLUE), bem como nas predições dos efeitos aleatórios (*Best Linear Unbiased Prediction* - BLUP). Este

último, apresenta-se como um método rápido e econômico. Possui a capacidade de identificar genótipos inferiores em menor espaço de tempo, que são removidos da coleção. Assim como, direcionar de forma mais eficaz os cruzamentos, reduzindo os números destes e facilitando a seleção de famílias nas etapas iniciais dos programas de melhoramento (OLIVEIRA et al., 2004; STRINGER et al., 1996).

De forma generalizada, segundo Duarte (2000), os métodos de estimação de componentes de variância podem ser reunidos em três categorias: a) procedimentos derivados do método dos momentos de Henderson (1953); b) estimação quadrática de norma mínima; e c) os métodos baseados em máxima verossimilhança, ML (*Maximum Likelihood*), REML (*Restricted Maximum Likelihood*) e sua versão bayesiana VEIL (*Variance Estimation From Integrated Likelihood*).

Concentrando-se na última categoria descrita acima, o método REML consiste em desdobrar a verossimilhança em duas funções, uma das quais é livre dos efeitos fixos e sujeita à maximização para encontrar as estimativas dos componentes. Cada observação é dividida em duas partes independentes, uma que se refere aos efeitos fixos e outra aos efeitos aleatórios. Assim, o REML mantém as demais propriedades do ML, sendo não viciado e permite ainda a imposição de restrições de não negatividade. O avanço considerável na área da informática, bem como a adaptação e implementação de eficientes algoritmos computacionais, tem viabilizado o uso generalizado desses métodos na área do melhoramento (FARIAS NETO; RESENDE, 2001).

De forma resumida, de acordo com Resende (2002) e Bueno Filho (1997), na metodologia de modelos mistos é aplicado o procedimento REML / BLUP ao nível de indivíduos, em que o REML faz a estimação dos componentes de variância e o BLUP é responsável pela predição dos valores genéticos.

O procedimento REML/BLUP, na maioria dos casos é utilizado a fim de prever o valor genotípico de um genótipo para uma característica específica, de forma independente. Nestas condições, a metodologia denomina-se BLUP univariado. Visando evitar o viés de seleção decorrido de uma análise individual e obter predições dos valores genéticos aditivos mais precisos, Henderson e Quaas (1976) propuseram uma extensão da metodologia de modelos mistos, denominada BLUP multivariado, que vem com o poder de prever simultaneamente os valores genotípicos para duas ou mais variáveis de um genótipo, trazendo a ideia da utilização de mais de uma informação no auxílio da predição dos valores

genotípicos. Nela, considera-se a correlação existente entre estas variáveis, ou seja, elas têm seus valores corrigidos pela covariância que há entre elas.

O BLUP multivariado é amplamente usado no melhoramento animal. No melhoramento de plantas, o procedimento vem avançando cada vez mais em estudos com espécies perenes, mostrando bons resultados. Alves et al. (2018), confirmaram a maior eficiência do BLUP multivariado na seleção genética de *Eucalyptus* quando comparado com o BLUP univariado. Os autores destacam a importância do procedimento, em pesquisas futuras, ser considerado em associação com análise de predição genômica para melhorar ainda mais a precisão e reduzir o tempo de ciclo nos Programas de Melhoramento Florestal. Em pêssego (*Prunus pérsica*), Souza et al. (1998) usaram um modelo BLUP multivariado a fim de estimar correlações genéticas e fenotípicas entre características. Para características tanto reprodutivas quanto dos frutos, a correlação genética entre pares de características foi maior que a correlação fenotípica. Em estudo com nozeiras (*Juglans regia*), o procedimento multivariado baseado nas estimativas de desempenho dos genitores também apresentou bons resultados, sendo superior à média comum da família (ALETA et al., 2004).

Em culturas anuais, o BLUP multivariado é utilizado com menos frequência, mas vem ganhando destaque, sendo recomendado por Piepho et al. (2007). Há trabalhos, como o de Viana et al. (2010), com seleção simultânea em milho pipoca, no qual, o interesse principal está em duas variáveis negativamente correlacionadas. Nesse estudo, os autores consideraram as variáveis capacidade de expansão e produtividade em famílias de meios irmãos. E verificaram que a metodologia multivariada apresentou maior acurácia quando comparada ao univariado para a seleção entre famílias. Destacam ainda, que o aumento da eficiência do BLUP multivariado é proporcional ao aumento da diferença entre a correlação genética e ambiental entre as variáveis.

Portanto, nesse cenário de tomada de decisão entre o método BLUP multivariado ou BLUP univariado, destaca-se a importância da herdabilidade e da correlação das variáveis utilizadas no modelo. A escolha pela utilização do BLUP multivariado pode não significar um aumento na acurácia de predição dos valores genotípicos quando se têm herdabilidades similares e uma correlação positiva entre os caracteres ou entre os anos de medição (SCHAEFFER, 1984).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais de condução dos experimentos

O experimento foi implantado na cidade de Otacílio Costa, Santa Catarina (Figura 2), coordenadas 27° 28' 58" S e 50° 07' 19" O, com altitude média de 884 metros. De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima regional é do tipo mesotérmico úmido, com verões frescos, apresentando temperatura média de 15,9°C e uma precipitação total anual entre 1300 e 1400 milímetros.



Figura 1. Mapa de localização da cidade de Otacílio Costa - SC.

Fonte: Wikipédia

A população usada nesse trabalho foi composta por um teste de progênie de polinização aberta de *Eucalyptus benthamii*. As sementes utilizadas nesse teste são provenientes de uma população base de 32 famílias procedentes da Austrália, em New South Wales, de origem de Kedumba Valley – NSW, Austrália, região de ocorrência natural onde se tem alguns remanescentes da espécie. O experimento foi plantado em outubro de 2010, com espaçamento de 2,50 x 3,00 metros em delineamento em blocos casualizados, composto por 81 famílias com 20 repetições e uma planta por parcela, com área de 7,5 m², totalizando 1620 indivíduos.

3.2 Caráteres mensurados

Todos os indivíduos foram fenotipados aos três, quatro, seis e sete anos de idade para diâmetro à altura do peito (DAP, cm) e altura (ALT, m). O volume de madeira por árvore (VOL, m³) foi calculado para todas as idades utilizando uma equação específica desenvolvida pela empresa Klabin S.A para *E. benthamii*:

$$\text{VOL} = \exp(-9,46081 + 1,92690 * \ln(\text{DAP}) + 0,79453 * \ln(\text{ALT}))$$

3.3 Análise estatístico-genética

3.3.1 Análises individuais univariadas e multivariadas

Inicialmente realizaram-se as análises individuais univariada para cada característica para cada ano via modelo linear misto, por meio do método de estimação REML (*Restricted Maximum Likelihood*) associado à metodologia BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), descrito a seguir:

$$y = X\beta + Z_1b + e,$$

em que: y é vetor das observações fenotípicas dos caracteres; β é o vetor dos efeitos fixos associados ao bloco; b é o vetor dos efeitos aleatórios das progênes associadas ao indivíduo, $b \sim \text{NMV}(0, I\sigma_b^2)$; e é o vetor dos erros residuais, $e \sim \text{NMV}(0, I\sigma_e^2)$; X e Z_1 são as matrizes de incidência para os efeitos fixos e aleatórios, respectivamente.

Já as análises multivariadas para os três caracteres foram realizadas de acordo com o seguinte modelo:

$$y^c = X^c\beta^c + Z_1^cb^c + e^c,$$

em que: y^c é o vetor das observações fenotípicas dos caracteres; β^c é o vetor de efeitos fixos que compreende os efeitos associados ao bloco, anos e suas interações adicionadas à constante; b^c é o vetor dos efeitos aleatórios das progênes associadas ao indivíduo, de tal modo que $b^c \sim \text{NMV}(0, G)$; e^c é o vetor dos erros residuais, $e^c \sim \text{NMV}(0, R)$; X^c e Z_1^c são as matrizes de incidência para os efeitos fixos e aleatórios, respectivamente; R e G compreendem as matrizes de variâncias e covariâncias residuais e genéticas, respectivamente.

3.3.2 Procedimento multivariado: informações auxiliares

A estimação dos valores de herdabilidade individual e do ganho genético será utilizada para comparação entre o método univariado, com a informação do caráter i na idade j e o método multivariado, com a informação do caráter i nas diferentes combinações de idade j .

Portanto, o intuito é compreender se com o auxílio de informações de outros anos de medição do mesmo caráter, pode melhorar as estimativas do ano em referência, conforme a Tabela 2:

Tabela 2. Combinações de idades como informações auxiliares.

Idade de Referência	3 anos, 4 anos, 6 anos e 7 anos
Informação de quatro idades	(3; 4; 6; 7)
Informação de três idades	(3; 4; 6) (3; 4; 7) (3; 6; 7) (4; 6; 7)
Informação de duas idades	(3; 4) (3; 6) (3; 7) (4; 6) (4; 7) (6; 7)

3.3.3. Estimação de componentes

A partir das estimativas dos componentes de variância foi estimada a herdabilidade individual (h_a^2) e a herdabilidade média de progênie (h_{mp}^2) para cada caráter nos quatro anos de medição, conforme a expressão, descrita por RESENDE e DUARTE (2007):

$$h_a^2 = V_A / (V_A + V_E),$$

$$h_{mp}^2 = 4(V_A) / ((4V_A) + (V_E))$$

em que: V_A é a variância aditiva e V_E a variância ambiental.

Também foi estimada a acurácia seletiva (r_{gg}) por meio da raiz quadrada da herdabilidade média de progênie (h_{mp}^2). E para verificar a associação entre anos, foi estimada a correlação genética ($r_{G(x,y)}$) entre os anos avaliados, para cada caráter, de acordo com a seguinte expressão:

$$r_{G(x,y)} = \frac{COV_{g_{xy}}}{\sqrt{\sigma_{g_x}^2 \times \sigma_{g_y}^2}},$$

em que: $COV_{g_{xy}}$ é a covariância genotípica entre x e y, $\sigma_{g_x}^2$ é a variância genotípica de x e $\sigma_{g_y}^2$ é a variância genotípica de y.

3.3.4 Ganho genético

O ganho genético esperado (GS %) foi estimado com base nos BLUP's das 81 melhores progênies, ou seja, com intensidade de seleção de 5%, pela seguinte expressão:

$$GS (\%) = \frac{\overline{BLUPs_i}}{\bar{y}_i} \times 100 ,$$

em que: $\overline{BLUPs}_i$: é a médias do BLUPs das progênes de melhor desempenho de acordo com a intensidade de seleção aplicada (5%) para o caráter i; $\bar{Y}_i$: é a média aritmética das progênes para o caráter i em avaliação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatística Descritiva e Análise Univariada

Por meio das análises de deviance (ANADEV), observa-se a presença de efeitos significativos de progênes, pelo teste da razão da verossimilhança (LRT) a 1% de probabilidade, para diâmetro à altura do peito (DAP), altura (ALT) e volume (VOL) nas diferentes idades (Tabelas 3, 4 e 5). Portanto, com a presença de variação genética entre as progênes, possibilita-se a seleção dos indivíduos mais produtivos e a obtenção de ganhos com a seleção para ambos os caracteres.

Tabela 3. Análise de deviance (ANADEV) para o diâmetro à altura do peito (DAP) em diferentes idades em progênes de meios-irmãos de *E. benthamii*.

Efeito	3 anos		4 anos		6 anos		7 anos	
	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹
Mod	3699,75		4327,56		5219,16		5519,62	
Prog⁺	3727,59	27,84**	4361,32	33,76**	5273,32	54,16**	5549,93	30,31**

Tabela 4. Análise de deviance (ANADEV) para a altura em diferentes idades em progênes de meios-irmãos de *E. benthamii*.

Efeito	3 anos		4 anos		6 anos		7 anos	
	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹
Mod	3581,54		4022,9		5221,58		5839,86	
Prog⁺	3595,56	14,02**	4047,7	24,8**	5285,98	64,4**	5873,23	33,37**

Tabela 5. Análise de deviance (ANADEV) para o volume em diferentes idades em progênes de meios-irmãos de *E. benthamii*.

Efeito	3 anos		4 anos		6 anos		7 anos	
	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹	DEV	LRT ¹
Mod	-5715,25		-4370,28		-2212,46		-1487,35	
Prog⁺	-5697,17	18,08**	-4349,56	20,72**	-2175,95	36,51**	-1464,6	22,75**

O melhoramento genético de *E. benthamii* é bem recente. As estratégias usadas atualmente visam principalmente à seleção de híbridos intraespecíficos e em menor proporção

híbridos multiespécies, ou seja, um indivíduo híbrido que reúna várias características importantes para aumentar a produtividade, resistência ao frio e qualidade da madeira (ESTOPA et al., 2017). A utilização de informações provenientes de várias idades de um mesmo caráter pode ser de grande valor nos programas de melhoramento, maximizando os ganhos e proporcionando melhores estimativas de herdabilidade. Além disso, há uma otimização do experimento como um todo, pois o melhorista não fica restrito à informação do caráter em apenas uma idade.

Os componentes de variância genética para os caracteres avaliados apresentaram significância pelo teste de razão verossimilhança, indicando assim, variabilidade genética e possibilidade de sucesso com a seleção de indivíduos superiores. Observa-se que até os seis anos de idade, os componentes de variâncias genética aditiva e ambiental apresentaram o mesmo comportamento de crescimento. Considerando todos os anos, a variância ambiental foi sempre crescente para os três caracteres avaliados, com destaque para um aumento nas estimativas da variância a partir do sexto ano. Já a variância aditiva, apresentou comportamentos distintos entre os caracteres. Para o DAP, a variância aditiva apresentou uma tendência de estabilização e decréscimo após o sexto ano. Para altura e volume, as estimativas da variância foram crescentes ao longo dos anos (Tabela 6).

Como já esperado, por ser proveniente de um teste de progênes, a amplitude e coeficiente de variação experimental (CV_e), apresentaram alta variação, sendo crescentes ao longo dos anos. Para DAP, os valores variaram de 22,78% a 34,98%. Para altura, os valores variaram de 20,35% a 30,94%. Para volume, as estimativas de CV_e foram maiores, o que é esperado, variando de 53,81% a 81,75%. Martins et al. (2006), estudando progênes de Grevílea, árvore nativa da Austrália com potencial madeireiro, também encontraram valores similares de CV_e para a variável volume.

A alta variação observada, sugere que o crescimento e desenvolvimento dos indivíduos, representados pelos caracteres de crescimento, é diretamente influenciado por fatores genéticos das espécies que interagem com fatores edafoclimáticos ambientais edáficos, de competição e respostas à fertilização (FINGER, 1992). Segundo Vidaurre (2015), em estudo sobre tensão de crescimento de *E. benthamii*, conformação dos espaçamentos de plantio, trazem grande variabilidade nas variáveis de crescimento e dos níveis de tensão de crescimento. Espaçamentos menores, com maior densidade de plantas por hectare, estimula a competição em idades mais jovens, por outro lado, um espaçamento maior entre as plantas

traz essas respostas em idades mais avançadas, como é a situação do teste de progênie de este trabalho.

Tabela 6. Análise descritiva e parâmetros genéticos para os caracteres de crescimento nas idades de medição, na análise univariada.

Variáveis	Parâmetros	Idades						
		3 anos	4 anos	6 anos	7 anos			
DAP (cm)	Genéticos	V _A	2,5556	4,9361	14,4403	12,799		
		V _E	5,7853	9,4173	16,9012	26,8619		
		h ²	0,31	0,34	0,46	0,32		
		Acurácia	0,80	0,82	0,88	0,81		
		Ganho (%)	12,83	15,95	27,22	22,03		
	Descritivos	Média	12,710	14,700	17,220	17,93		
		Amplitude	19,74	23,49	29,09	31,85		
		CV (%)	22,78	25,73	32,40	34,98		
		Altura (m)	Genéticos	V _A	1,534	3,183	16,311	18,0385
				V _E	5,911	7,789	15,404	34,3028
h ²	0,21			0,29	0,51	0,34		
Acurácia	0,89			0,91	0,94	0,90		
Ganho (%)	7,46			10,02	19,93	17,42		
Descritivos	Média		13,580	16,040	21,420	23,3		
	Amplitude		17,10	20,90	32,80	35,10		
	CV (%)		20,35	20,92	26,25	30,94		
	Volume (m³)		Genéticos	V _A	0,0006	0,0021	0,0193	0,0267
				V _E	0,0020	0,0062	0,0342	0,0715
h ²		0,24		0,26	0,36	0,27		
Acurácia		0,74		0,76	0,83	0,77		
Ganho (%)		28,62		33,84	60,35	53,18		
Descritivos		Média	0,096	0,155	0,311	0,382		
		Amplitude	0,35	0,50	1,14	1,54		
		CV (%)	53,81	58,82	74,28	81,75		

Legenda 1. V_A : Variância aditiva; V_E : Variância ambiental; h^2 : herdabilidade.

Em materiais genéticos provenientes de teste de progênes é esperado alta variabilidade genética (MORAES et al., 2015). Estudando o potencial de uma população de *E. benthamii* aos 4 anos de idade, Ferraz et al., 2020 também encontraram alta variação, demonstrada pelos valores de CV, e amplitude nos caracteres de crescimento mensurados (DAP, altura e volume), assim como neste trabalho. Com isso, sugere-se que os esforços aplicados no melhoramento serão recompensados por ganhos genéticos (FERRAZ, et al., 2020). Em outros trabalhos, baseados em testes de progênes, presentes na literatura também foram observados variabilidade genética (COSTA et al., 2016; ROSADO et al., 2009).

A determinação de parâmetros genéticos dentro de um programa de melhoramento, assim como, o sucesso do mesmo só se faz possível com a instalação e avaliação de testes de progênes. Por meio deles, permite-se obter estimativas dos componentes de variância, da herdabilidade, acurácia e dos ganhos genéticos, além de propiciar formação de população básica para novas seleções (GARRIDO; KAGETAMA, 1993).

A herdabilidade estima a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo, sendo um dos parâmetros genéticos mais úteis para o trabalho dos melhoristas (RAMALHO et al., 2012). O comportamento da herdabilidade (h^2) dos caracteres de crescimento é crescente até o sexto ano. A partir dessa idade, há um acentuado decréscimo. As estimativas mais baixas de herdabilidade para os caracteres avaliados no sétimo ano coincidem com um incremento no aumento da variância ambiental e com uma tendência de estabilização da variância aditiva, ambos na mesma idade (Tabela 6).

As maiores estimativas de herdabilidade, para DAP, altura e volume foram de 0,46, 0,51 e 0,36 no sexto ano, respectivamente. Já os menores valores de herdabilidade, para todos os caracteres avaliados, foram obtidos aos três anos de idade. Para DAP, altura e volume esses valores foram de 0,31, 0,21 e 0,24, respectivamente (Tabela 6).

A acurácia seletiva representa a precisão na escolha do genótipo. Esse parâmetro refere-se à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do material genético e aquele estimado ou predito a partir de informações dos experimentos de campo. Assim, é desejável uma alta acurácia na inferência sobre os valores genotípicos dos tratamentos genéticos em avaliação. A acurácia é tanto mais alta quanto menores forem os desvios absolutos entre os valores genéticos paramétricos ou verdadeiros e os valores genéticos estimados ou preditos (RAMALHO et al., 2012; RESENDE e DUARTE, 2007).

A acurácia seletiva foi considerada de elevada magnitude nos três caracteres avaliados, demonstrando elevada precisão experimental, segundo classificação de Resende e Duarte (2007). As maiores estimativas de acurácia, para todos os caracteres avaliados, foram obtidas aos seis anos de idade, como observado para a herdabilidade também, o que demonstra uma maior precisão experimental e uma boa confiabilidade na seleção de genótipos ao se avaliar nessa idade. Para DAP, altura e volume as estimativas nesse ano foram de 0,88, 0,94 e 0,83, respectivamente. Já os menores valores de acurácia, para todos os caracteres avaliados, foram obtidos aos três anos de idade. Para DAP, altura e volume esses valores foram de 0,8, 0,89 e 0,74, respectivamente (Tabela 6).

Neste trabalho, a seleção univariada apresentou valores satisfatórios de herdabilidade e acurácia para os caracteres avaliados. Esses resultados indicam a alta confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor genotípico, uma vez que a acurácia seletiva é a correlação entre os valores fenotípicos e os valores genéticos, sendo esta, uma medida da precisão experimental e um importante indicador da confiança que os melhoristas possuem na seleção (FALCONER; MACKAY, 1996; RESENDE; DUARTE, 2007). Miranda et al. (2015) também obtiveram acurácias classificadas de alta a muito alta com o estudo de progênies de *E. grandis* no estado de São Paulo.

Com relação as estimativas de herdabilidade pela análise univariada, para todos os anos, os três caracteres avaliados apresentaram herdabilidades medianas, sendo que a altura aos 6 anos de idade, obteve alta estimativa de herdabilidade. As estimativas apresentaram-se crescente ao longo dos anos de medição até o sexto ano. Do sexto para o sétimo, houve um decréscimo em todos os caracteres. A diminuição desses valores está atrelada a um aumento na variância ambiental, relacionado com condições climáticas desfavoráveis na qual os indivíduos sofreram nesta idade.

A figura 2 abaixo traz dois gráficos com o intuito de subsidiar a discussão. São informações provenientes da estação climática da Klabin S. A em Otacílio Costa, onde observa-se um aumento, tanto da temperatura média quanto da temperatura máxima, somada a um déficit de precipitação nos anos de medição do experimento. Nos primeiros anos do experimento, a temperatura média e máxima, eram, respectivamente de 14,4 °C e 20,6 °C. Já entre 6 e 7 anos de idade, esses valores subiram para 16,4 °C e 23,1°C (Figura 2A). A queda na precipitação também chama muito a atenção. Nos primeiros anos do experimento, a precipitação foi de 155 mm, chegando a atingir um pico de 182 mm em 2015. Nos anos

seguintes, houve grande decréscimo, atingindo seu menor valor em 2018, com 112 mm (Figura 2B).

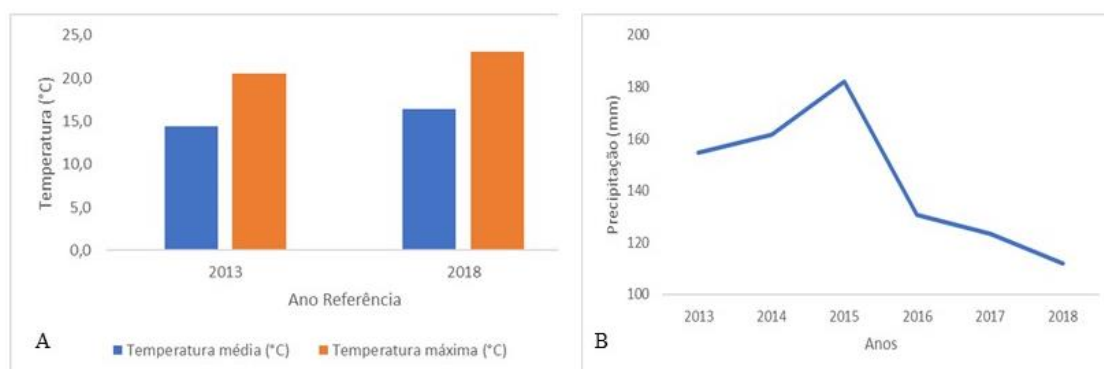


Figura 2. Gráfico A: Comportamento da temperatura média e máxima nos anos de 2013 e 2018; Gráfico B: Comportamento da precipitação ao longo dos anos de medição do experimento.

Um padrão de destaque das estimativas de herdabilidade, é o acréscimo em suas estimativas até o sexto ano de idade. No sétimo ano, já se percebe um decréscimo nessas estimativas. Esse decréscimo está ligado ao aumento da variância ambiental e pode ser explicado pelo aumento na competição entre indivíduos, que ainda não foram desbastados. Diversos trabalhos com espécies florestais, apontam para um comportamento claro de decréscimo das estimativas de herdabilidade ao longo dos anos (OLIVEIRA; HIGA e SILVA, 2018; GARRIDO e KAGEYAMA, 1993; LINS et al., 2001). O aumento da intensidade da competição entre plantas nas idades mais velhas, é uma das mais plausíveis explicações para a diminuição dos valores de herdabilidade, em que os recursos se tornam mais escassos a medida que o indivíduo se desenvolve (ARAÚJO, et al., 2015).

Por outro lado, Moraes et al. (2014) avaliando progênies de *E. grandis*, observaram que não houve um padrão de acréscimo ou decréscimo de herdabilidade ao passar dos anos em nenhum local dos experimentos, oscilando de um ano para o outro no que diz respeito ao DAP e volume.

Em um trabalho com progênies de *E. benthamii* originadas de sementes colhidas de polinização aberta, Costa et al. (2016) obtiveram baixa estimativa de herdabilidade para volume ($h^2 = 0,11$). Rocha et al. (2007) encontraram para progênies de meio-irmãos de *E. grandis* aos 58 meses de idade, herdabilidades de 0,22 para DAP, 0,28 para altura e 0,21 para volume. Mesmo encontrando-se na mesma classificação todos os valores ficaram abaixo daqueles estimados neste estudo para os mesmos caracteres, considerando o quarto ano de idade (0,34 para DAP, 0,29 para altura e 0,26 para volume).

A predição do ganho genético pode ser conceituada como a diferença entre a população melhorada em relação à população original (não melhorada), sendo dependente da herdabilidade e influenciada pelo número de indivíduos selecionados pelo melhorista (PIRES et al., 2011). Associado às acurácias e herdabilidades, os valores preditos de ganhos genéticos podem indicar com segurança o germoplasma selecionado (COSTA et al., 2009).

As maiores estimativas de ganho genético obtidas para as três variáveis ao longo das idades de medição foram aos seis anos de idade. Para DAP, altura e volume, esses valores foram, respectivamente, 27,22%, 19,93% e 60,35%. As menores estimativas foram obtidas aos três anos de idade. Para DAP, altura e volume, esses valores foram, respectivamente, 12,83%, 7,46% e 28,62% (Tabela 6).

Percebe-se uma tendência de aumento do ganho genético das variáveis de crescimento ao longo dos anos, atingindo seu pico aos seis anos de idade. A partir do sexto ano, o ganho diminuiu, para as três variáveis, assumindo valores menores do que o predito no sexto ano (Figura 3).

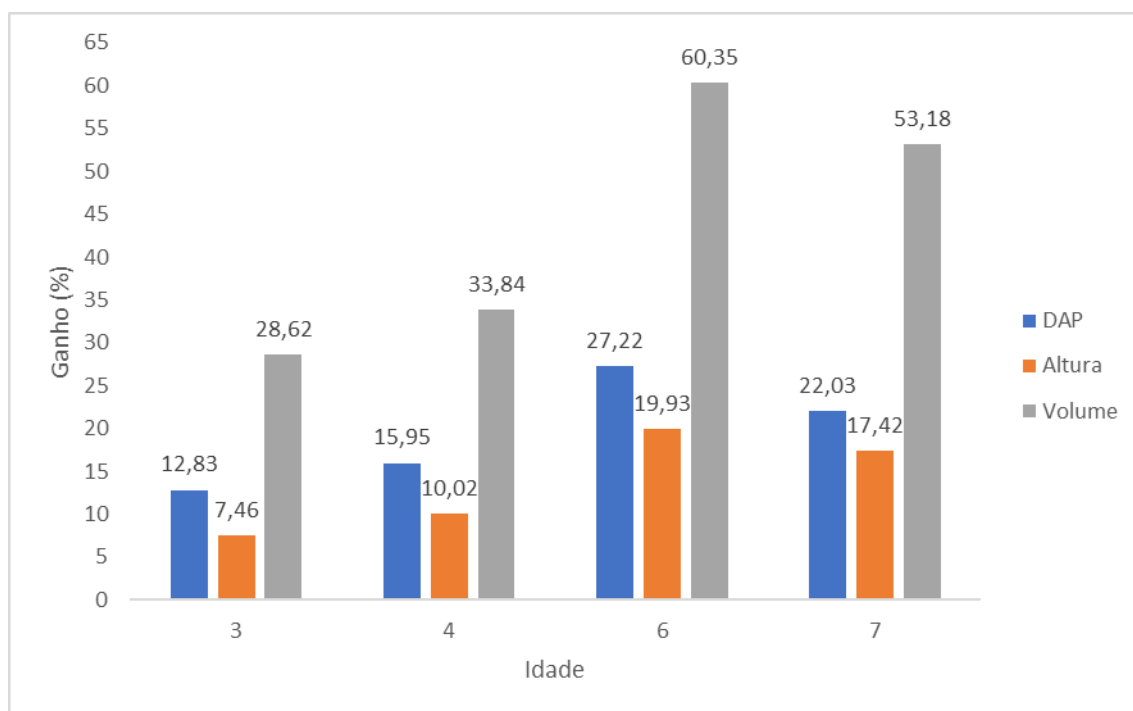


Figura 3. Comportamento do Ganho Genético ao longo dos anos.

Avaliando progênies de polinização aberta de *E. grandis* aos 2 anos de idade, Miranda et al. (2015), utilizando o índice de multi-efeitos, encontraram ganhos genéticos para DAP superiores quando comparado aos ganhos obtidos pelo procedimento univariado aqui analisados. No entanto, os ganhos genéticos obtidos neste trabalho, pelo procedimento

univariado, para os três caracteres, foram superiores aos obtidos por Rosado et al. (2009), avaliando progênes de meios-irmãos de *E. urophylla* aos 4,6 anos pelo método BLUP. No estudo citado de Rosado et al (2009), DAP, altura e volume apresentaram ganhos de 10,93%, 7,81% e 31,7% respectivamente. Aos 4 anos de idade, no teste de progênes aqui analisado, os mesmos caracteres apresentaram ganhos de 15,95%, 10,02% e 33,84%.

O caráter volume se destacou com as maiores estimativas de ganho genético, atingindo 60,35% aos 6 anos de idade. Os testes de progênes de polinização aberta do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, no trabalho de Freitas et al. (2009), aos 6,5 anos de idade, apresentaram maiores estimativas de ganho genético para volume pelo procedimento da seleção combinada, variando nos três locais do experimento entre 80,9% a 100,03%. Os autores ainda destacam que a alta magnitude desse ganho genético pode ser explicada por meio da variabilidade existente somada a uma eficiente predição dos valores genéticos a partir dos valores fenotípicos, subsidiados pelos valores de herdabilidades.

4.2 Análise Multivariada

4.2.1 Herdabilidade

Uma síntese comparativa entre os procedimentos uni e multi, para as três características de crescimento é apresentada nas Figuras 4, 5 e 6.

Para a variável DAP, observa-se que quando se considera a análise multivariada por meio da combinação das quatro idades de medição juntas, ou seja, com informações de todos os anos de medição, a herdabilidade apresentou estimativas mais altas nos anos de referência 3 (0,312), 4 (0,354) e 7 (0,350) quando comparada aos valores de herdabilidade pela análise univariada. Aos 6 anos, a estimativa da herdabilidade foi maior pelo método univariado (0,461), porém bem próximo do valor estimado pela análise multivariada (0,460) foi maior pelo método univariado (Figura 4).

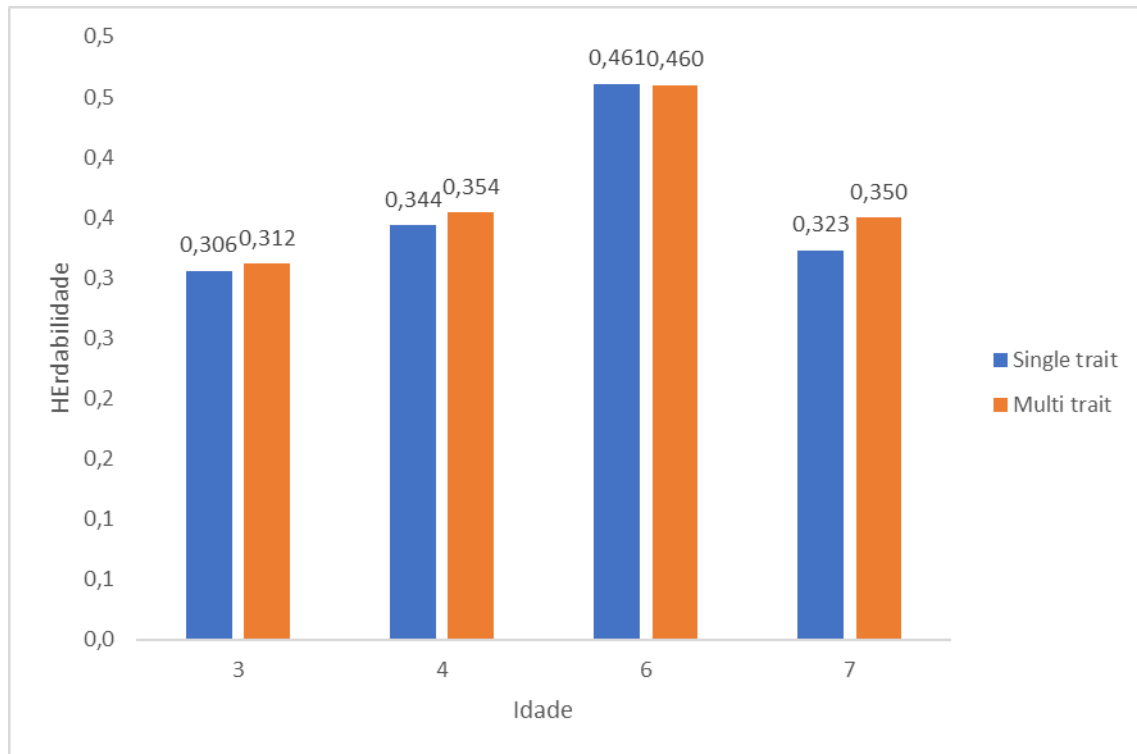


Figura 4. Comparação da herdabilidade estimada pelo procedimento univariado (ST) com o multivariado (MT) para a variável DAP.

Para a variável altura, o método multivariado obteve maiores estimativas de herdabilidade quando se considerou a combinação das quatro idades de medição juntas, no ano de referência 3 (0,218); e quando se considerou a combinação de três idades de medição juntas (4, 6 e 7) nos anos de referência 4 (0,302) e 7 (0,365). e. Aos 6 anos, a h^2 foi maior pelo método univariado (Figura 5).

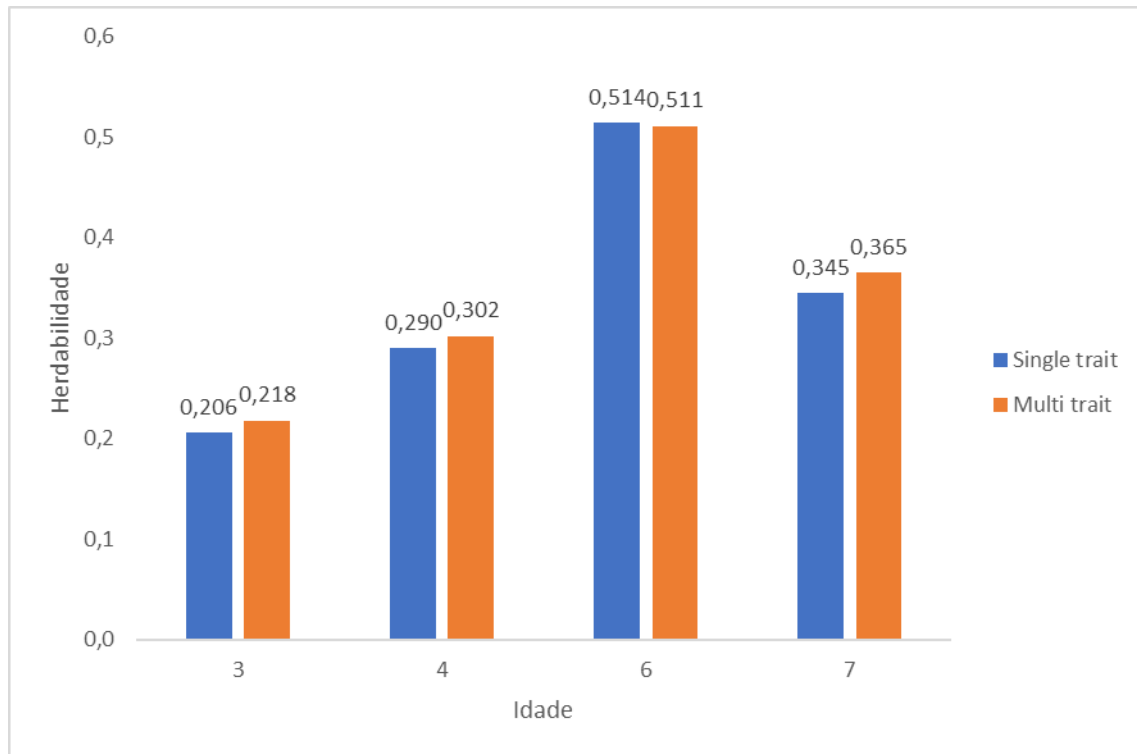


Figura 5. Comparação da herdabilidade estimada pelo procedimento univariado (ST) com o multivariado (MT) para a variável ALTURA.

Para a variável volume, o método multivariado obteve maiores estimativas de herdabilidade quando se considerou a combinação de três idades de medição juntas (3, 4 e 6) nos anos de referência 3 (0,241) e 4 (0,261); e quando se considerou também a combinação de três idades de medição juntas (4, 6 e 7) no ano de referência 7 (0,275). , e. Aos 6 anos, a h^2 foi maior pelo método univariado (Figura 6).

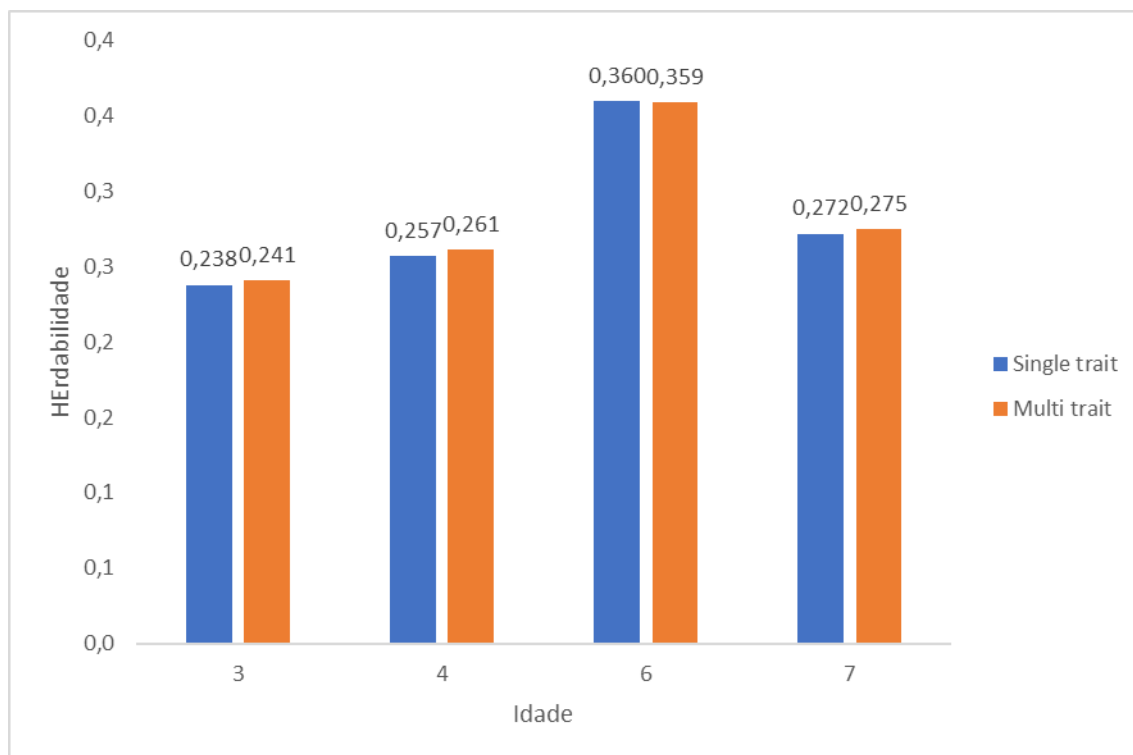


Figura 6. Comparação da herdabilidade estimada pelo procedimento univariado (ST) com o multivariado (MT) para a variável volume.

Nos três gráficos, há um destaque para dois comportamentos. O primeiro, onde, aos seis anos de idade, o procedimento univariado apresentou herdabilidades superiores ao multivariado para as três variáveis. O segundo ponto em destaque é a superioridade do procedimento multivariado nos demais anos de medição, mesmo em pequenas proporções, sendo aos 3, aos 4 e aos 7, para as três variáveis.

A utilização da abordagem multivariada tende a ser mais eficiente por considerar uma maior quantidade de dados e utilizar as correlações genéticas e residuais entre as características (ALVES et al., 2018). No melhoramento de plantas, foi aplicado com sucesso em diversos trabalhos (BAUER e LÉON 2008; COSTA et al. 2002; IMAI et al. 2016; VIANA et al. 2010). Estudos que utilizem as informações de anos de medição de um mesmo caráter, para compor a abordagem multivariada, são escassos na literatura.

Neste trabalho, a abordagem multivariada, dentro desse contexto, proporcionou bons resultados. Destaca-se nos resultados apresentados, o comportamento da herdabilidade no sexto ano de medição. Para todos os caracteres de crescimento, a herdabilidade obteve maiores valores por meio da análise univariada nesse ano. Por outro lado, nos demais anos de medição, a herdabilidade foi maior quando se utilizou a análise multivariada, por meio da combinação de mais de uma idade.

4.2.2 Ganho genético

O ganho genético estimado nas quatro idades referências, de cada variável, utilizando a informação das outras medições como auxílio na predição, é apresentado nos gráficos a seguir (Figuras 7, 8 e 9). Para todos os caracteres de crescimento, os maiores valores de ganho genéticos, foram sempre obtidos por meio do procedimento multivariado.

Para a variável DAP, quando se considerou a combinação das quatro idades de medição juntas, ou seja, com informações de todos os anos de medição, o ganho genético foi sempre superior nas idades de referência 3 (15,29%), 4 (19,46%), 6 (28,94%) e 7 (27,16%) anos (Figura 7).

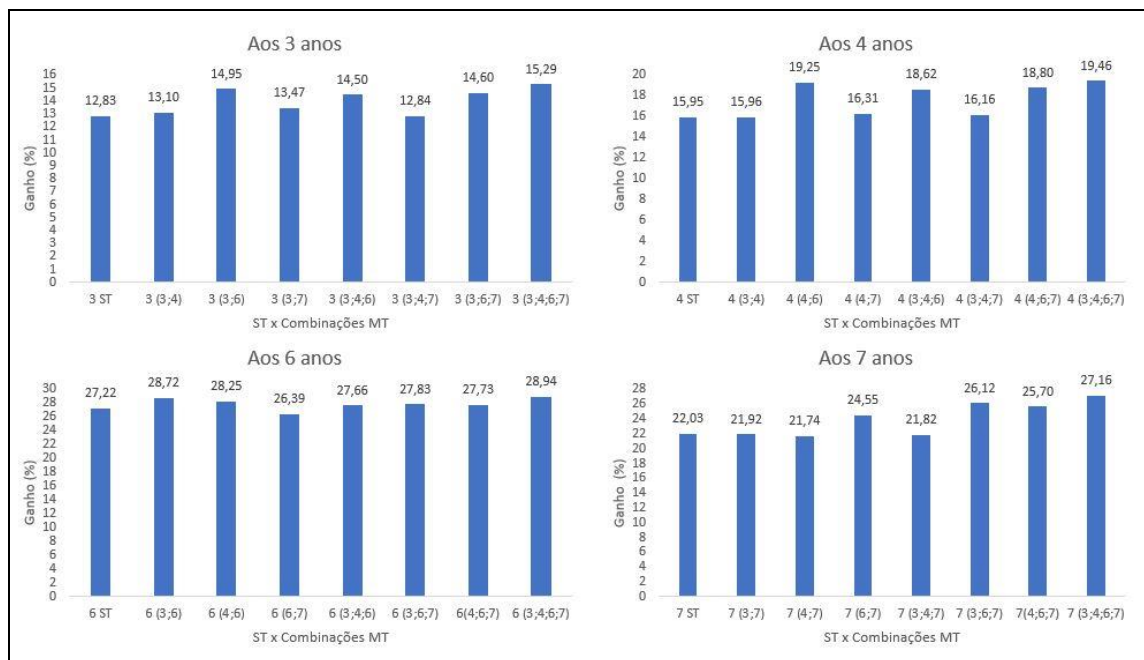


Figura 7. Ganho genético da variável DAP ao longo das idades de medição pelos procedimentos univariado (ST) e multivariado (MT).

Para a variável altura, o método multivariado apresentou valores maiores de ganho genético quando se considerou a combinação das quatro idades de medição juntas, no ano de referência 3 (9,05%) e 4 (11,86%); quando se considerou a combinação de duas idades de medição (4 e 6) no ano de referência 6 (20,63%); e quando se considerou a combinação de três idades de medição (4, 6 e 7) no ano de referência 7 (20,23%) (Figura 8).

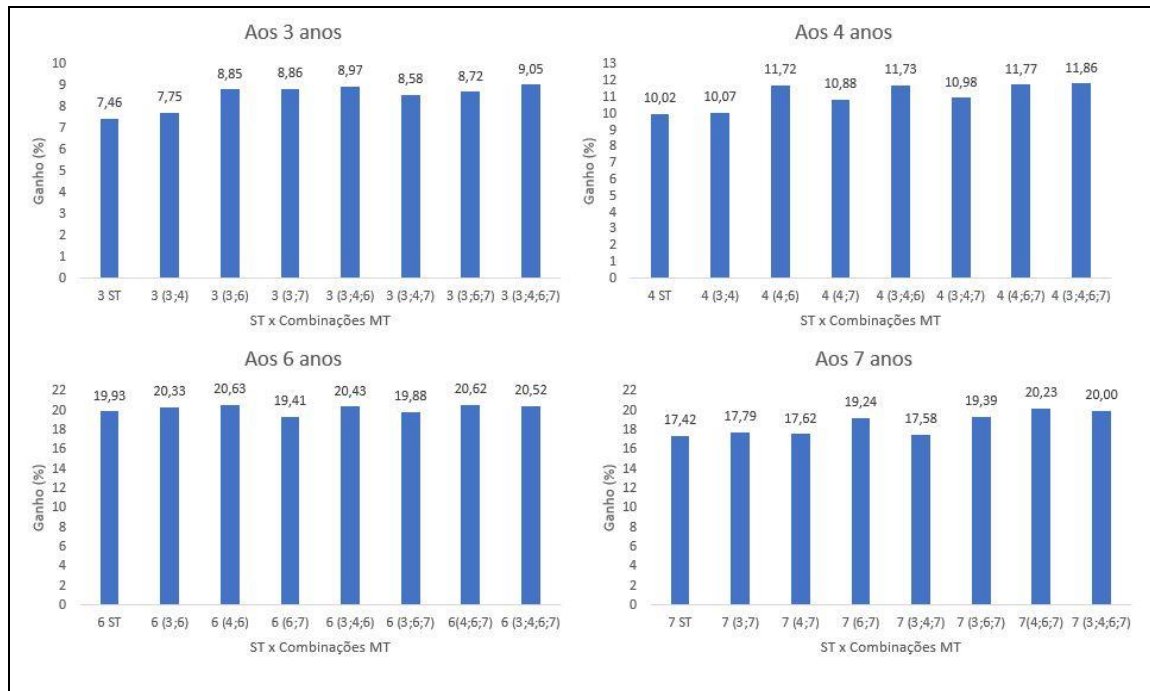


Figura 8. Ganho genético da variável ALTURA ao longo das idades de medição pelos procedimentos univariado (ST) e multivariado (MT).

Para a variável volume, o método multivariado apresentou valores maiores de ganho genético quando se considerou a combinação de três idades de medição juntas (3, 4 e 6) nos anos de referência 3 (32,59%), 4 (40,74%), e 6 (62,27%); e quando se considerou também a combinação das quatro idades de medição no ano de referência 7 (58,14%) (Figura 9).

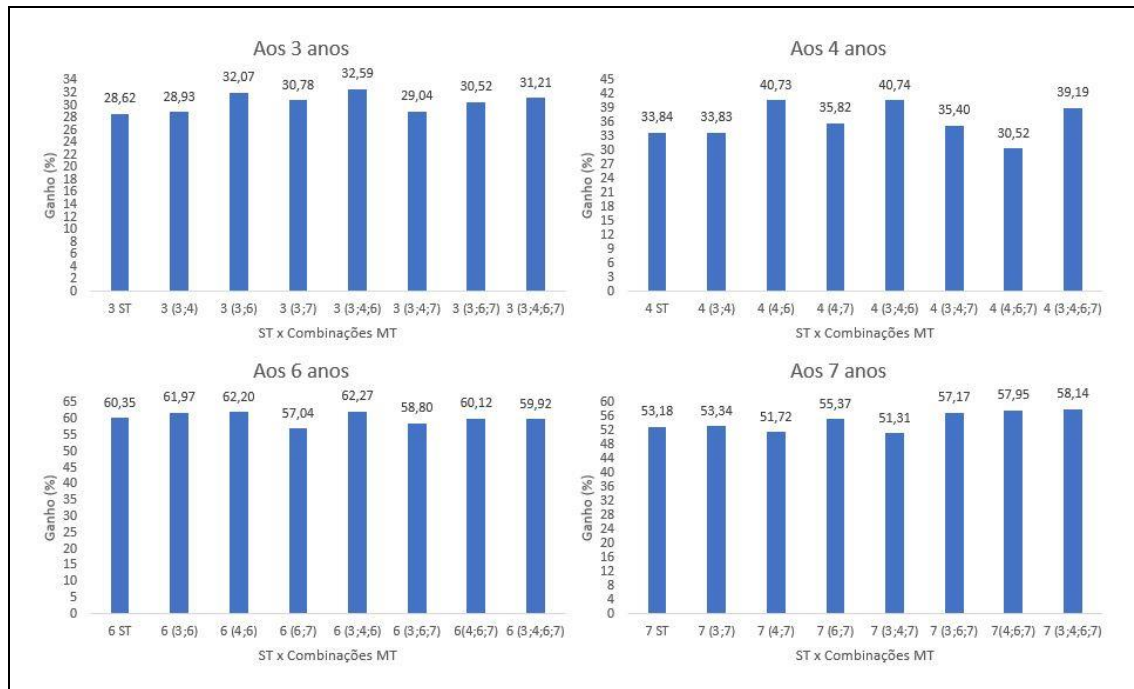


Figura 9. Ganho genético da variável VOLUME ao longo das idades de medição pelos procedimentos ST e MT.

Para as três variáveis, os valores de ganho genético estimados pelas combinações de idade no procedimento multivariado foram maiores. Destacando assim, a superioridade dela em relação a uni (Figuras 10, 11 e 12)

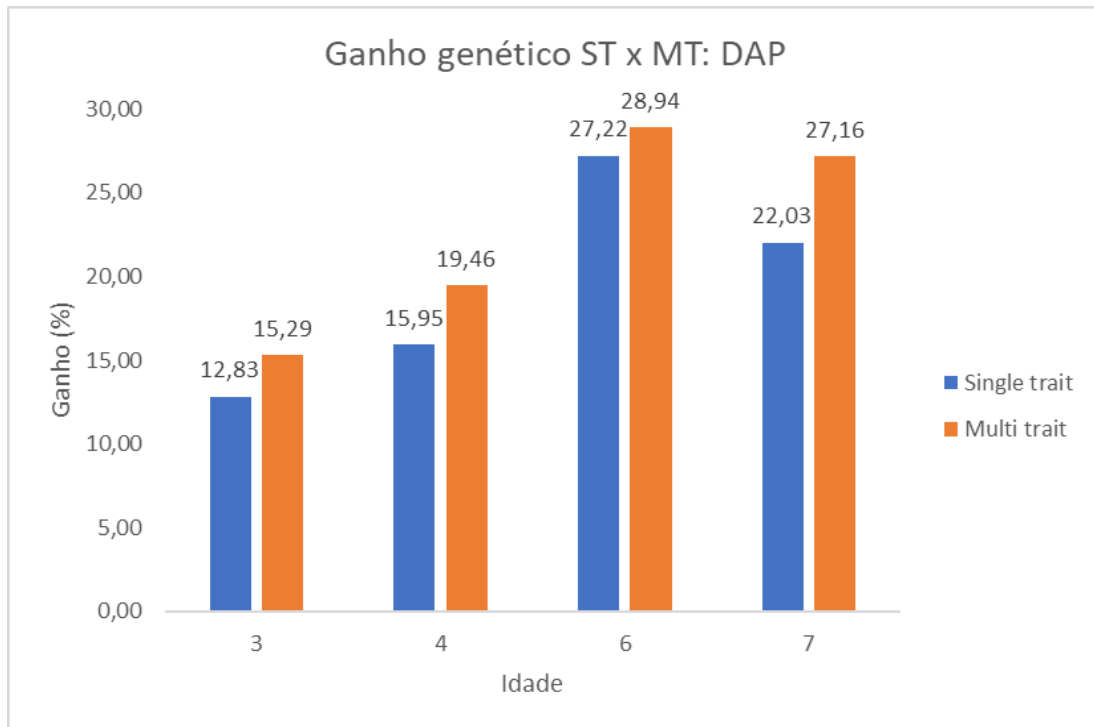


Figura 10. Comparação entre os procedimentos univariado (ST) e multivariados (MT) para a variável DAP.

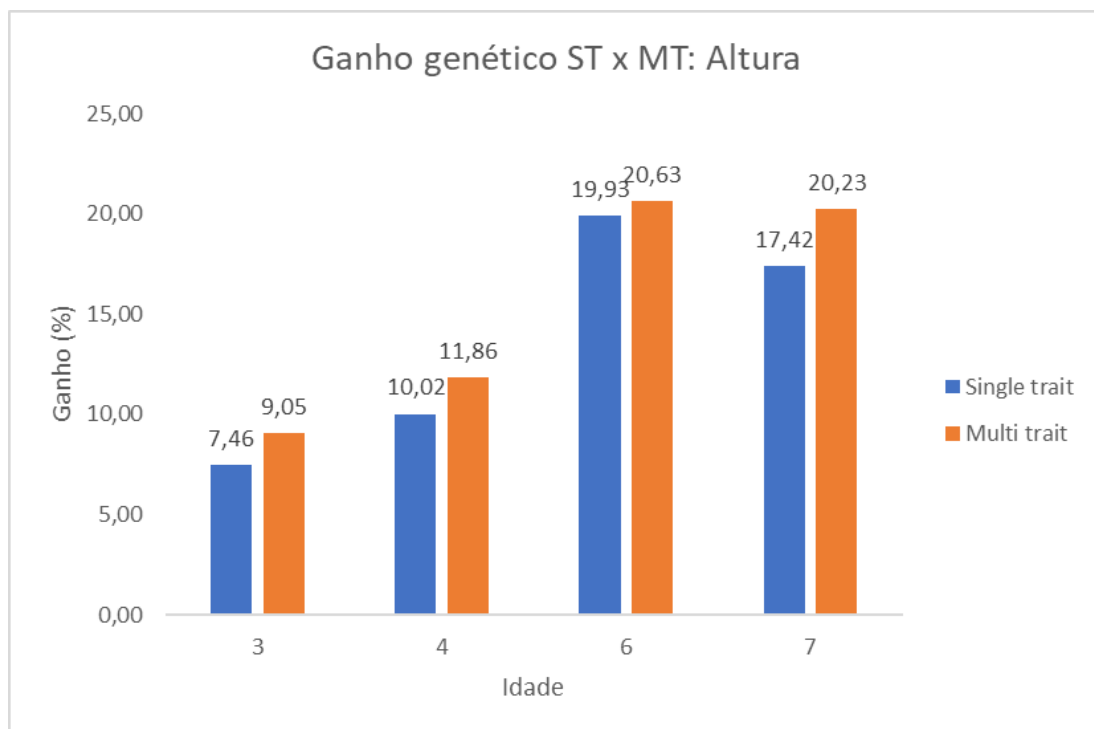


Figura 11. Comparação entre os procedimentos univariado (ST) e multivariados (MT) para a variável ALTURA.

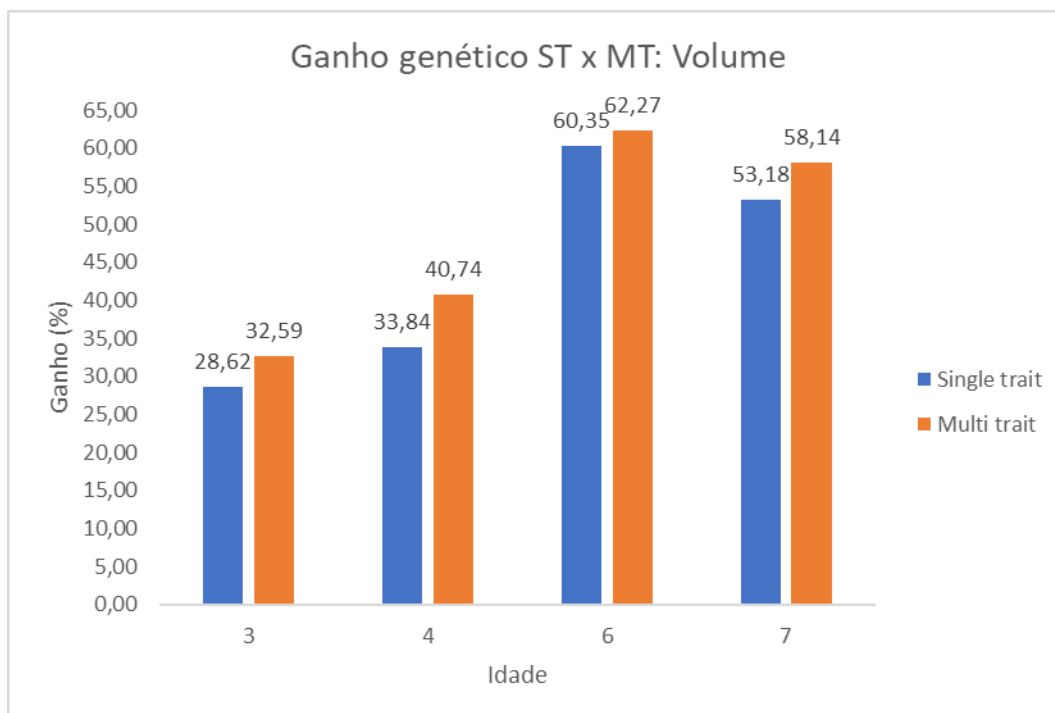


Figura 12. Comparação entre os procedimentos univariado (ST) e multivariado (MT) para a variável VOLUME.

Altos valores de ganhos genéticos com a seleção combinada com uma abordagem multivariada também foi encontrada por Costa et al. (2000) em seringueira. A combinação de idades pelo procedimento multivariado, aqui estudada, obteve maiores ganhos genéticos quando comparados com todos os procedimentos univariados. Mesmo com o claro aumento do ganho, os valores não superaram aqueles encontrados por Miranda et al. (2015) para a variável DAP, como discutido nos parágrafos acima, quando os autores utilizaram uma abordagem multivariada pelo índice multi-efeitos.

Aos sete anos de idade, o teste de progênie de *E. benthamii* deste trabalho, experimentou condições ambientais adversas, com maiores temperaturas e menores precipitações, com base nos dados climático apresentados anteriormente, nas quais resultaram em uma maior variância ambiental e decréscimo nas estimativas dos parâmetros genéticos. Nesse ponto de decréscimo, aos sete anos de idade, tanto a herdabilidade, já discutida, e o ganho genético estimados a partir das combinações de idades de medição, por meio do procedimento multivariado, apresentaram a maior diferença com relação ao procedimento univariado para todos os caracteres.

4.3 Correlação genética

Foram observadas correlações genéticas positivas e de alta magnitude entre os anos dos três caracteres avaliados, variando de 0,83 a 0,94 para DAP, de 0,80 a 0,88 para altura e de 0,78 a 0,93 para volume, o que indica a existência de boa associação entre as idades de avaliação. Observa-se as maiores estimativas de correlação genética sempre associados ao sexto ano de medição (Tabela 7). Por outro lado, tem-se os menores valores sempre associados ao sétimo ano de medição. Avaliando progênies de *E. grandis*, Moraes et al. (2014) estimaram correlações entre os anos para DAP, altura e volume, acima de 0,82.

Tabela 7. Correlação genética entre as idades de DAP, altura e volume.

Anos	DAP			Altura			Volume		
	4	6	7	4	6	7	4	6	7
3	0,94	0,90	0,83	0,83	0,80	0,72	0,92	0,86	0,78
4	-	0,94	0,88	-	0,87	0,79	-	0,93	0,86
6		-	0,93		-	0,88			0,91
7			-			-			-

Dentro desse contexto, o volume é o caráter de interesse econômico mais importante. Porém, ele obtido por meio da coleta de dados de DAP e altura, sendo de grande interesse a correlação dessas duas variáveis com o volume, onde, diversos trabalhos concretizaram a alta correlação do DAP com o volume (MASSARO, et al., 2010; MORAES et al., 2015; ZIMBACK et al., 2011) com destaque para o trabalho de Nunes et al. (2016), onde os autores obtiveram uma correlação genética entre os caracteres (DAP e altura) de 0,97. Assim, de acordo ainda com a tabela 7, a correlação genética de maior destaque neste trabalho é para o DAP, aos 4 anos de idade, com uma correlação de 0,88 com o sétimo ano. Este resultado pode ser de fundamental importância para a condução do programa de melhoramento, indicando que a maioria dos indivíduos com os melhores DAP's e, conseqüentemente, melhores volumes, na idade de quatro anos são os mesmos no final da rotação, aos sete anos.

5 CONCLUSÃO

As progênies avaliadas apresentaram variabilidade e potencial para a seleção de indivíduos superiores. As estimativas de herdabilidade e ganho genético pela abordagem

multivariada se mostraram superiores quando comparada a univariada, embora os referidos ganhos tenham sido pouco expressivos. Assim a utilização das idades de medição das variáveis ao longo do ano, como auxílio nas estimativas de parâmetros genéticos por meio do procedimento multivariado, mostrou-se vantajosa, principalmente, para experimentos que são avaliados por vários anos e ficam expostos a condições ambientais adversas, podendo ser útil nos programas de melhoramento de *Eucalyptus benthamii*.

REFERÊNCIAS

ALFENAS, R. F. Produção de inóculo de *Cylindrocladium pteridis* em condições controladas. 36 f. **Dissertação** (Mestrado em Fitopatologia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ALETÀ, N. ; NINOT, A. ; VOLTAS, J. Avaliação retrospectiva da seleção parental em testes de progênies de *Juglans regia* L. usando uma análise de modelo misto. **Silvae Genetica** , v. 53, n. 1-6, pág. 26-33, 2004.

ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, D. H. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.21, n.1, p.167-174, 2011.

ALVES, R. S.; TEODORO, P. E.; RESENDE, M. D. V.; HENRIQUES, E. P.; SILVA, L. A.; CARNEIRO, P. C. S.; BHERING, L.L. BLUP múltiplo: uma estratégia adequada para seleção genética de eucaliptos. **Tree Genetics & Genomes** , 14 (5), 77, 2018.

ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M.; Silvicultura do Eucalipto no Brasil: Melhoramento Genético do Eucalipto. **Informe Agropecuário**, Minas Gerais, Belo Horizonte, cap. 07, p. 247, 2015.

ASSIS, T. F.; RESENDE, M. D. V. Genetic improvement of forest tree species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. SPE, p. 44-49, 2011.

ARAÚJO, D.; MAGNO SEBBENN, A.; SCATENA ZANATTO, A. C.; ZANATA, M., MORAIS, E.; TEIXEIRA DE MORAES, M. L.; MENEZES FREITAS, M. L. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Astronium graveolens* JACQ.(ANACARDIACEAE). **Cerne**, v. 20, n. 1, 2014.

ARAÚJO, M.C.; DIAS, D. C.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Número de repetições, de plantas por parcela e de avaliações para testes clonais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, p. 923-931, 2015.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.185, p.32, 1996.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MÜLLER, M. D.; COUTO, L. O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um foco nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Botucatu, v. 2, n. 2, p. 141- 158, 2005.

BATISTELA, G. C. **Uso do modelo linear multivariado de crescimento no estudo da densidade básica da madeira de eucaliptos**. 2014.

BAUER, A. M.; LÉON, J. Multiple-trait breeding values for parental selection in self-pollinating crops. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 116, n. 2, p. 235-242, 2008.

BERNARDO, R. Breeding for quantitative traits in plants. Woodbury, Minnesota: Stemma Press, 2002. 368 p.

BERTOLUCCI, F.; REZENDE, G.D.P.S.; PENCHEL, R. Produção e utilização de híbridos de eucalipto. Silvicultura, v. 51, p. 12-16, 1995.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: celulose. BNDES Setorial, n. 32, set. 2010, p. 311-370, 2010.

BISON, O. Melhoramento de Eucalyptus visando à obtenção de clones para a indústria de celulose. 2004. 169f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG, 2004.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L. F.; ARAUJO, M. A. Miniestaquia de Eucalyptus benthamii x Eucalyptus dunnii: sobrevivência de minicepas e produção de miniestacas em função das coletas e estações do ano. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 1, p. 11-21, 2012.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; BRONDANI, A. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. D.; GONÇALVES, A. N. Dynamics of adventitious rooting in mini-cuttings of Eucalyptus benthamii x Eucalyptus dunnii. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 34(2), 169-178, 2012.

BORRALHO, N. M.; ALMEIDA, M. H.; POTTS, B. M. O melhoramento do eucalipto em Portugal. O eucalipto em Portugal: impactes ambientais e investigação científica. **Lisboa: Instituto Superior de Agronomia**, p. 61-110, 2007.

BUENO FILHO, J. S. Modelos mistos na predição de valores genéticos aditivos em testes de progênies florestais. **Tese** de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 118p., 1997.

CARVALHO, A. M. Valorização da madeira do híbrido Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. Diss. **Universidade de São Paulo**, 2000.

CARVALHO, K. H. A.; SILVA, M. L.; SOARES, N. S. Efeito da área e da produtividade na produção de celulose no Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1119-1128, 2012.

CASTRO, C. A. D. O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Breve histórico do melhoramento genético do eucalipto no Brasil sob a ótica dos avanços biométricos. **Ciência Rural**, p. 1585-1593, 2016.

COSTA, R. M. L. Variabilidade genética e seleção de progênies de Eucalyptus Benthamii maiden et cangeage. 2014. ix, 75 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, **Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu**, 2014.

COSTA, R.M.L.; ESTOPA, R. A; BIERNASKI, F.; MORI, E. Predição de ganhos genéticos em progênies de Eucalyptus benthamii Maiden & Cambage por diferentes métodos de seleção. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 105-113, 2016.

COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; GONÇALVES, P. S, e SILVA, M. A. Individual multivariate REML / BLUP in the presence of genotype x environment interaction in rubber tree (Hevea) breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 131–140, 2002.

COSTA , R. B. C.; RESENDE, M. D. V.; ROA, R. A. R.; BUNGENSTAB , D. J.; MARTINS , W. J.; ROEL , A. R. Melhoramento genético de erva-mate *nativa do estado* de Mato Grosso do sul. **Revista Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 611-619, 2009.

COSTA, R. B. D.; RESENDE, M. D. V.; ARAUJO, A. J. D.; GONÇALVES, P. D. S.; BORTOLETTO, N. Seleção combinada univariada e multivariada aplicada ao melhoramento genético da seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35(2), 381-388, 2000.

CRUZ, C. D. Princípios de genética quantitativa; Viçosa, MG: **Universidade Federal de Viçosa**, 394p, 2005.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. **Viçosa: UFV**, v.2. 585p, 2006.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3.ed. **Viçosa: Ed. da UFV**, 480p., 2012.

CUNHA, A. C. M. C. M.; WENDLING, I.; SOUZA, L. Produtividade e sobrevivência de minicepas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em sistema de hidroponia e em tubete. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, 2005.

DEMUNER, B. J.; BERTOLUCCI, F. L. G. As propriedades do papel e as características das fibras de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 24. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991.

DUARTE, J. B. Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo, 2000.

ESTOPA, R.A. Fenotipagem via NIR e Predição Genômica em *Eucalyptus benthamii*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – **Universidade Federal do Paraná** – UFPR. Curitiba, 104p. 2017.

ESTOPA, R. A.; MILAGRES, F. R.; GOMES, F. J. B.; AMARAL, C. A. S. Caracterização química da madeira de *Eucalyptus benthamii* por meio de espectroscopia nir. **O Papel**, 78(2), 75-81, 2017.

FALCONER, D. D. Introdução a genética quantitativa. **Viçosa: UFV**, 279 p., 1987.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. Introduction to quantitative genetics. **Pearson Education**, India, 1996.

FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Revista brasileira de fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 320-324, 2001.

FERRAZ, A. G.; Cruz, A. G. F. C. D.; SANTOS, G. A.; NASCIMENTO, M.; BALDIN, T.; SANTOS, O. P.; VALENTE, B. M. R. T.; SANTOS, C. E. M. Potential of a population of *Eucalyptus benthamii* based on growth and technological characteristics of wood. **Euphytica**, 216, p.94, 2020.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Série Técnica IPEF**, n. 45, p. 22-30, 1992.

FERREIRA, M.; SANTOS, P.E.T. Melhoramento genético florestal dos Eucaliptos no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO. CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, BA. Proceedings. Colombo: **Embrapa/CNPF**, v.1, p.14-34, 1997.

FINGER C. A. G. Fundamentos de biometria florestal. **Santa Maria**, Universidade Federal de Santa Maria, 269 p., 1992.

FONSECA, S. M; RESENDE, M. D. V; ALFENAS, A. C; GUIMARÃES, L. M. S; ASSIS, T. F; GRATAPAGLIA, D. Manual prático de melhoramento genético de eucalipto. Viçosa – MG, Ed. **UFV**, 200p. 2010.

FREITAS, R. G. D.; VASCONCELOS, E. S. D.; CRUZ, C. D.; ROSADO, A. M.; ROCHA, R. B.; TAKAMI, L. K. Predição de ganhos genéticos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. *Revista Árvore*, 33(2), 255-263., 2009.

FREITAS, R; ARAI, E.; ADAMI, M.; FERREIRA, A.S.; SATO, F.Y.; SHIMABUKURO, Y.E.; ROSA, R.R.; ANDERSON, L.O.; RUDORFF, B.F.T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v.2, p.57-68, 2011.

GALLIO, E.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A., SOUZA, J. T.; RAVASI, R., MENEZES, W. M.; BELTRAME, R. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 3, p. 244-250, 2016.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. D.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. *Revista Árvore*, 29(1), 129-137, 2005.

GONÇALVES, G. M; VIANA, A.P.; NETO, F.V.B.; PEREIRA, M.G.; PEREIRA T.N.S. Seleção e herdabilidade na predição de ganhos genéticos em maracujá-amarelo. **Pesq. Agropec.**, Brasília, v.42, n.2, p.193-198, fev. 2007.

GONÇALVES, F. G.; SILVA OLIVEIRA, J. T. D.; SILVA, G. F. D.; NAPPO, M. E.; TOMAZELO FILHO, M. Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, 2010.

GURGEL GARRIDO, L. M. A.; KAGEYAMA, P. Y. Evolução, com a idade, de parâmetros genéticos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm., selecionado para a produção de resina. **Rev. do Inst. Flor**, v. 5, p. 21-37, 1993.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1999.

GRATTAPAGLIA, D.; VAILLANCOURT, R. E; SHEPHERD, M.; THUMMA, B. R.; FOLEY, W.; KÜLHEIM, C.; MYBURG, A. A. Progresso na genética e genômica de Myrtaceae: *Eucalyptus* como o gênero principal. **Tree Genetics & Genomes**. p.463-508, 2012.

HENDERSON, C. R. Estimativa de mudanças no ambiente do rebanho. **J. Dairy Sci** , 32 (8), 706-706, 1949.

HENDERSON, C. R. Estimation of variance and covariance components. **Biometrics**, Washington, v.9, p.226-252, 1953.

HENDERSON, C. R.; QUAAS, R. L. Multiple trait evaluation using relatives' records. **Journal of Animal Science**, v. 43, n. 6, p. 1188-1197, 1976.

HENRIQUES, E. P.; MORAES, C.; SEBBENN, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; MORAES, M.; MORI, E. S. Estimativa de parâmetros genéticos para caracteres silviculturais e densidade do lenhoff em teste de progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 105-113, 2017.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2003.

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. São Paulo, 2017. 64 p. **IBF – INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS**, 2019.

IMAI, A. et al. Avaliação do melhor método de predição linear imparcial para valores genéticos de caracteres de qualidade de frutos em citros. **Tree Genetics & Genomes** , v. 12, n. 6, pág. 119, 2016.

JORGE, F.; PEREIRA, H. Influência da silvicultura na qualidade da madeira. **Revista Florestal**, v.11, n.2, p.27-31, 1998.

KÖPPEN, W. Climatologia. México. **Fundo de Cultura Econômica**, 1948.

LINS, V. S.; MORAES, M. L. T.; SILVA, A. M.; MARTINS, E. G.; MAÊDA, J. M. Variações e ganhos genéticos em progênies de *Grevillea robusta* A. Cunn. **Embrapa Florestas**-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2001.

LITTELL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D. SAS system for mixed models. 1996.

LORENZANA, R. E.; BERNARDO, R. Accuracy of genotypic value predictions for marker-based selection in biparental plant populations. **Theoretical and applied genetics**, v. 120, n. 1, p. 151-161, 2009.

MAÊDA, J.M.; PIRES, I.E.; BORGES, R. de C.G.; CRUZ, C.D. Critérios de seleção uni e multivariados no melhoramento genético da *Virola surinamensis* Warb. **Floresta e Ambiente**, v.8, p.61-69, 2001.

MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; RESENDE, M. D. V.; SANTOS, C. E. M.; SATO, A. Y. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 63, 2012.

MARCHIORI, J. N. C. Primórdios da silvicultura no Rio Grande do Sul. 1–Nota sobre a introdução do gênero *Eucalyptus* L'Her. **Balduinia**, n. 44, p. 21-31, 2014.

MARTARELLO, L. P.; CUNHA, A. B.; RIOS, P. D.; BRAND, M. A.; & GORSKI, L. Influência do arranjo das camadas do colchão nas propriedades tecnológicas de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus benthamii*. **Scientia forestalis**, v. 43, n. 107, p. 503-510, 2015.

MARTINS, I. S.; DAMIÃO CRUZ, C.; DAS GRAÇAS DE BARROS ROCHA, M.; JOSÉ REGAZZI, A. J.; ELEOTÉRIO PIRES, I. Comparação entre os processos de seleção entre e dentro e o de seleção combinada, em progênies de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v. 11, n. 1, 2005.

MARTINS, I. S.; CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; PIRES, I. E. Eficiência da seleção univariada direta e indireta e de índices de seleção em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 327–333, 2003.

MARTINS, E. G.; NEVES, E. J. M.; STURION, J. A.; AOKI, H. Ganho Genético no Volume de Madeira de Progênies de *Grevillea* de Segunda Geração na Região de Avaré, São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, (52), 119, 2006.

MASSARO, R. A. M.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. D. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *eucalyptus* spp. **Ciência florestal**, 20(4), 597-609., 2010.

MIRANDA, A. C., MORAES, M. D., SILVA, P. D., & SEBBENN, A. M. Ganhos genéticos na seleção pelo método do índice multi-efeitos em progênies polinização livre de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, 43(105), 203-209., 2015.

MIRANDA, L.; ESTOPA, R. A.; FIGURA, M. A. The influence of different nutrients solutions at *Eucalyptus benthamii* adventitious rooting. **IUFRO**, Curitiba. 2019.

MELO, L. D. L.; DA SILVA, J. R. M.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T., TRUGILHO, P. F.; NASCIMENTO, D. F. R. Influence of genetic material and radial position on the anatomical structure and basic density of wood from *Eucalyptus* spp. and *Corymbia citriodora*. **Scientia Forestalis**, p 611-621. 2016.

MONTEBELLO, A. E. Configuração, reestruturação e mercado de trabalho do setor de celulose e papel no Brasil. 2010. 172 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – **ESALQ, Universidade de São Paulo**, Piracicaba, 2010.

MONTENEGRO, F. S. Spread de crédito no setor de papel e celulose: um estudo da precificação de empresas brasileiras no mercado offshore. **Tese de Doutorado**. 2018.

MORAES, C. B.; BRIZOLLA, T. F.; TEIXEIRA, L. G.; ZIMBACK, L., TAMBARUSSI, E. V.; CHAVES, R.; MORI, E. S. Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção de árvores de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, 623-629, 2014.

MORAES, C. B. D.; CARVALHO, E. V. D.; ZIMBACK, L., LUZ; O. D. S. L.; PIERONI, G. B.; MORI, E. S.; LEAL, T. C. A. D. B. Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, 39(6), 1047-1054., 2015.

MRODE, R. A. Modelos lineares para a predição de valores genéticos animais. **Cabi**, 2014.

MUJIU, L.; ARNOLD, R.; BOHAI, L.; MINSHENG, Y. Selection of cold-tolerant eucalypts for Hunan Province, In: Turnbull, J.W. (Ed.). *Eucalypts in Asia: proceedings of a international conference held in Zhanjiang, Guangdong, people's Republic of China*. Canberra: **Elect Printing**, p. 107–116, 2003.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; KLOCK, U.; Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

NUNES, A. C. P.; SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V., SILVA, L. D., HIGA, A. R.; ASSIS, T. F. Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Embrapa Florestas**. Artigo em periódico indexado (ALICE)., 2016.

OLIVEIRA¹, T. W. G.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D. Parâmetros genéticos em teste de p.rogênies de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden Genetic parameters in open pollination progenies test of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v.46, n.118, p.229-240, 2018.

OLIVEIRA, A. B.; PEREIRA, J. M.; NASCIMENTO, A. A. Cadeia produtiva de papel e celulose e transformações recentes no sudoeste maranhense. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 12, p. 135-154, 2018.

OLIVEIRA, V. R. D.; RESENDE, M. D. V. D.; NASCIMENTO, C. E. D. S.; DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F. Variabilidade genética de procedências e progênies de umbuzeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). **Revista Brasileira de Fruticultura**, 26(1), 53-56., 2004.

PALUDZYSZYN FILHO, E. O melhoramento do *Eucalyptus* na Embrapa e o agronegócio florestal brasileiro. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO SOBRE REFLORESTAMENTO NA REGIÃO SUDOESTE DA BAHIA, 2., 2005, Vitória da Conquista. Memórias. Colombo: Embrapa Florestas, 2007., 2007.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A.. Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná. **Embrapa Florestas-Docmentos (INFOTECA-E)**, 2006.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas: resultados e perspectivas. **Embrapa Florestas-Docmentos (INFOTECA-E)**, 2011.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2000.

PESEK, J.; BAKER, R.J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Sciences**, v.49, p.803-804, 1969.

PIEPHO, H. P.; MÖHRING, J. Selection in cultivar trials—Is it ignorable? **Crop Science**, v. 46, n. 1, p. 192–201, 2006.

PIEPHO, H. P., MÖHRING, J., MELCHINGER, A. E., & BÜCHSE, A. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica**, v. 161, n. 1–2, p. 209–228, 2008.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; Silva, R. L.; RESENDE JUNIOR, M. F. R. **Genética florestal**. Viçosa: Arka, p. 318, 2011.

POLLAK, E.J; VAN DER WERF, J.; QUAAS, RL Viés de seleção e avaliação de características múltiplas. **Journal of Dairy Science** , v. 67, n. 7, pág. 1590-1595, 1984.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. D. F. B.; SANTOS, J. B ; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. da UFLA, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, AC de. Experimentação em genética. **UFLA, Lavras, 322p**, 2005.

REIS, C. A. F.; GONÇALVES, F. M. A.; RAMALHO, M. A. P.; ROSADO, A. M. Seleção de progênies de eucalipto pelo índice Z por MQM e Blup. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 5, p. 517-523, 2011.

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

RESENDE, M. D. V. Delineamento de experimentos de seleção para maximização da acurácia seletiva e do progresso genético. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 4, p. 479-500, 1995.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Maximização da eficiência da seleção em testes de progênies de Eucalyptus através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1994.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Embrapa Florestas, 2007.

RESENDE, M. D. V. D; DUARTE, J. B. Precisão E Controle De Qualidade Em Experimentos De Avaliação De Cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 182–194, 2007.

REZENDE, G.D.S.P. Melhoramento genético do eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2001.

RIZZATO, F. B. Modelos para análise de dados discretos longitudinais com superdispersão. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quieroz”, **Universidade de São Paulo**, Piracicaba, 2011.

ROCHA, M. G. B. Variação da densidade básica e correlações entre caracteres de progênies jovens de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em duas etapas de crescimento. 1983. 54 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1983.

ROCHA, M. G. B.; PIRES, I. E.; ROCHA, R. B.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* para a produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.

RODRIGUEZ, L.C.E. Melhoramento e conservação genética. CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO SETOR FLORESTAL BRASILEIRO: diagnóstico, prioridades e modelo de financiamento. **Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia - IPEF**, 2002.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 966-973, 2012.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; RESENDE JÚNIOR, M. F. R.; BHERING, L. L.; Cruz, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênes de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44(12), 1653-1659, 2009.

SARTORIO, S. D. Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R. **Tese** de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2008.

SCHAEFFER L. R. Avaliação do pai e da vaca em modelos de múltiplas características. **Journal of Dairy Science**, 67 , p.1567–1580, 1984.

SCHULTZ, B. Levantamento de Doenças bióticas e abióticas em *Eucalyptus benthamii* Maiden nos Estados do Paraná e Santa Catarina. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná, 104p. 2011.

SCHULZ-STREECK, T.; PIEPHO, HP. Genome-wide selection by mixed model ridge regression and extensions based on geostatistical models. In: **BMC proceedings**. BioMed Central, p. S8, 2010.

SCHULTZ, B.; JUNIOR, J. A. S.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Impacto da mancha foliar causada por *cylindrocladium candelabrum* em plantios jovens de *Eucalyptus benthamii* em Rio Negrinho - SC. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 307-316, 2015.

Souza, G. S. L. B. D. Efeito da impregnação prolongada dos cavacos no rendimento e branqueabilidade da polpa kraft de eucalipto. Dissertação (mestrado profissional). **Universidade Federal de Viçosa**. Tecnologia de Celulose e Papel, 75p. 2016.

SOUZA, V. A. B; BYRNE, D. H.; TAYLOR, J. F. Heritability, genetic and phenotypic correlations, and predicted selection response of quantitative traits in peach: II. An analysis of several fruit traits. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 123, n. 4, p. 604-611, 1998.

SHIMOYAMA, V. D. S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. In: **IPEF série técnica**. IPEF/ESALQ, 1989.

SILVA, P.H.M.; BARRICHELLO L.E.G. Progressos recentes na área florestal. In: PATERNIANI, E. **Ciência, Agricultura e Sociedade**. Embrapa, Brasília. p.439-456. 2006.

SILVA, J.C. Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. *Maiden*, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. Curitiba. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais/ Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná. 2002.

SILVA, D. A.; MULLER, B. V.; KUIASKI, E. C.; ELOY, E., BEHLING, A.; COLAÇO, C. M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015.

SERPE, E.L. Efeitos de diferentes dosagens de adubação no crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* na região sul do estado do Paraná. Irati – PR. **Dissertação** (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2015.

SOARES, N. S.; OLIVEIRA, R. J.; CARVALHO, K. H. A.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. A cadeia produtiva da celulose e do papel no Brasil. **Floresta**, v. 40, n. 1, 2010.

STRINGER, J. K.; MCRAE, T. A.; COX, M. C. Best linear unbiased prediction as a method of estimating breeding value in sugarcane. In: **Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production**. 1996.

VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: KERR, W.C. (Coord.) **Melhoramento e genética**. São Paulo: Melhoramentos, 1969. P.17-37.

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

VIANA, J. M. S.; SOBREIRA, F. M.; RESENDE, M. D. V; FARIA, V. R. Multivariado BLUP in half-sib selection of annual crops. **Plant Breeding**, [s. l.], v. 129, n. 6, p. 599–604, 2010.

VIDAURRE, G. B., NUTTO, L., FRANÇA, F. J. N., BRAZ, R. L., WATZLAWICK, L. F., & MOULIN, J. C. Tensão de crescimento no lenho de *Eucalyptus benthamii* e sua relação com características dendrométricas em diferentes espaçamentos. **Floresta e Ambiente**, 22(3), 408-415., 2015.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93-98, 2010.

WIT ONDAS, H.W.; BRONDANI, G.E.; FIGUEIREDO, C.R.F.; ALMEIDA, C.V.; ALMEIDA, M. Exposição ao frio e análise histológica no enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus benthamii*. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, 17., 2009, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: FMVZ, 2009.

ZIMBACK, L.; MORI, E.S.; BRIZOLLA, T.F.; CHAVES, R. 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.

