

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

VINICIUS AFFONSO

**TAMANHO ÓTIMO DE PARCELAS E NÚMERO DE REPETIÇÕES EM
EUCALYPTUS UROGRANDIS TRANSGÊNICOS**

**Ilha Solteira
2023**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: SISTEMAS DE PRODUÇÃO

VINICIUS AFFONSO

**TAMANHO ÓTIMO DE PARCELAS E NÚMERO DE REPETIÇÕES EM
EUCALYPTUS UROGRANDIS TRANSGÊNICOS**

Dissertação apresentada à - UNESP - Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Conhecimento: Sistemas de produção.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan
Coorientadora: Profa. Dra. Gláucia Amorim Faria
Coorientador: Prof. Dr. Lucas Menezes Felizardo

Ilha Solteira

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A257t Affonso, Vinicius.
Tamanho ótimo de parcelas e número de repetições em *Eucalyptus urograndis* transgênicos / Vinicius Affonso. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
63 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Bruno Ettore Pavan

Coorientadores: Gláucia Amorim Faria e Lucas Menezes Felizardo

Inclui bibliografia

1. Reamostragem. 2. Método da máxima curvatura modificado. 3. Método de Hatheway. 4. Híbridos *E. urophila* X *E. grandis*.


Raiane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Tamanho Ótimo de Parcelas e Número de Repetições em Eucalyptus urograndis Transgênicos

AUTOR: VINÍCIUS AFFONSO

ORIENTADOR: BRUNO ETTORE PAVAN

COORIENTADORA: GLAUCIA AMORIM FARIA

COORIENTADOR: LUCAS MENEZES FELIZARDO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. GLAUCIA AMORIM FARIA (Participação Virtual)
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **GLAUCIA AMORIM FARIA**
Data: 01/02/2023 13:24:13-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE (Participação Virtual)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 **JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE**
Data: 27/01/2023 17:52:07-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. ANTONIO FLÁVIO ARRUDA FERREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia / Faculdade Centro Mato-grossense (FACEM)

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO FLAVIO ARRUDA FERREIRA**
Data: 27/01/2023 17:07:00-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Ilha Solteira, 27 de janeiro de 2023

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus,
por ter colocado em minha
vida as pessoas certas nos
momentos mais necessários.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por não me deixar desistir.

Agradeço a todos os professores, colegas de laboratório e amigos por compartilhar conhecimento e experiência, sem o qual não conseguiria realizar este trabalho.

Agradeço a minha família, em especial ao meu pai Pedro Geraldo Affonso por ter investido, incentivado e acreditado em mim e na minha educação.

Agradeço a minha esposa Jennifer Camila Rodrigues Prates, pela paciência, apoio e companheirismo durante a realização deste trabalho. Agradeço também por me ajudar a vencer a depressão, sendo a luz que me guiava nos momentos mais escuros e por dividir sua vida comigo.

Agradeço aos meus amigos de pós-graduação Janaína Santos Ribeiro, José Carlos Junior, e Helder Augusto, que sempre auxiliaram e estiveram ao meu lado durante a realização deste trabalho.

Aos meus amigos Vinicius de Oliveira Borges, Fernando Augusto Momesso da Costa Jardim e Joilton Menezes Puluca, pelos quase 20 anos de amizade.

Agradeço a minha amiga Beatriz Garcia Lopes, por ter me ajudado desde a graduação, durante as tardes de risadas no laboratório e auxílio para a elaboração deste trabalho. Agradeço também às grandes amigas que a graduação me proporcionou, Paula Cristina Constantino Santos e Caren Louize Brancaglioni, que estão sempre presentes mesmo estando distantes.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan.

Agradeço em especial pela minha Coorientadora Prof. Dra. Gláucia Amorim Faria, por todos esses anos ao meu lado, sendo paciente e dividindo seu conhecimento por 6 anos, estando ao meu lado e me incentivando a virar um pesquisador.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Lucas Menezes Felizardo, por todo auxílio dado para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os meus colegas e orientados de laboratório, pelo companheirismo e palavras de conforto durante as minhas crises, em especial a minha colega Ana Luiza Baracat Cotrin e Karina da Silva Souza, por estarem sempre em contato e escutando meus desabafos.

A Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, por proporcionar todo o corpo docente competente, estrutura e por proporcionar ensino de qualidade e gratuito, tornando possível que o filho de um torneiro mecânico e uma confeitadeira de baixa escolaridade, hoje possua ensino superior.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio e concessão da bolsa de financiamento.

Viva a ciência!

RESUMO

Considerando que a cultura do eucalipto é bem sucedida no Brasil, é de grande importância que ferramentas estatísticas sejam associadas ao melhoramento, possibilitando resultados mais precisos e maximizados. Visando isso, o objetivo deste trabalho foi encontrar o tamanho ótimo de parcelas e o número de repetições para experimentos com *Eucalyptus urograndis* transgênicos. Os dados experimentais utilizados nas simulações foram de um experimento com 34 famílias de híbridos transgênicos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, cedidos pela empresa ARBORGEN Ltda. Para escolha das famílias foram utilizadas duas metodologias a partir do agrupamento pelo Teste de Scoot-Knoot: Método 1 - considerando cada variável individualmente, e, Método 2 - considerando as famílias com a mesma classificação para todas as variáveis. Para a obtenção do tamanho ótimo de parcelas foi utilizado o método da máxima curvatura modificado (1971) e para o cálculo do número de repetições foi o método de Hatheway (1961), sendo utilizada duas metodologias: Método 3 - Considerando tamanho de parcela, coeficiente de variação e coeficiente $\hat{b}$ aleatório por família e Método 4 - Considerando TP variável por família e valores médios fixos de Coeficiente de variação e $\hat{b}$. Foram utilizadas 480 simulações a partir de 10.200 reamostragens realizadas em famílias escolhidas das médias dessas variáveis pelo teste de Scott-Knott (1974). Para as variáveis analisadas separadamente (Método 1) obteve-se o tamanho de parcela de 3 unidades básicas para Altura e Diâmetro da Altura do Peito e 6 unidades básicas para Volume. Para as três variáveis analisadas em conjunto (Método 2) é recomendado 7 unidades básicas. O número de repetições recomendado a partir do tamanho de parcela ótimo das variáveis analisadas separadamente é de 9 repetições para Diâmetro da Altura do Peito, 11 repetições para Altura e 43 repetições para volume. Para trabalhos que objetivem avaliar as variáveis de modo conjunto deverão ser utilizadas 35 repetições.

Palavras-chave: reamostragem; método da máxima curvatura modificado; método de Hatheway; híbridos *E. urophila* x *E. grandis*.

ABSTRACT

Considering that eucalyptus cultivation is successful in Brazil, it is of great importance that statistical tools are associated with improvement, enabling more accurate and maximized results. Intending it, the objective of this work was to find the optimum size of plots and the number of repetitions for experiments with transgenic *Eucalyptus urograndis*. The experimental data used in the simulations were from an experiment with 34 families of transgenic hybrids of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, provided by the company ARBORGEN Ltda. To obtain the optimal plot size, the modified maximum curvature method (1971) was used, and the Hatheway method (1961) was used to calculate the number of repetitions. We used 480 simulations from 10,200 resamplings carried out in families chosen from the grouping of the means of these variables by the Scott-Knott test (1974). Two methodologies were used to choose the families: 1) considering each variable individually and 2) considering the families that obtained the same classification for all variables. For the three variables analyzed together (Method 2) 7 UB is recommended. The number of repetitions recommended from the optimal PT of the variables analyzed separately is 9 repetitions for DBH, 11 repetitions for Height and 43 repetitions for volume. For works that aim to evaluate the variables jointly, 35 repetitions should be used.

Keywords: resampling; modified maximum curvature method; Hatheway method; hybrid *E. urophylla* x *E. grandis*.

LISTA DE ABREVIATURAS

ALT – Altura

ANOVA – Análise de variância

CV – Coeficiente de variação

CVe – Coeficiente de variação experimental

CVM - Coeficiente de variação médio

DAP – Diâmetro da altura do peito

DNA - Ácido desoxirribonucleico

DMS - Diferença Mínima Significativa

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

M³ - Metros cúbicos

PIB – Produto Interno Bruto

R² - Coeficiente de determinação

UB - Unidades Básicas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tamanho da parcela, forma da parcela e número de parcelas totais em cada simulação para os ensaios de uniformidade	25
Tabela 2 - Resumo da análise de variância para caracteres de crescimentos (Diâmetro a altura do peito - DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (volume), de famílias transgênicas de um clone <i>E. urograndis</i> em Paranapanema - SP aos 75 meses de idade	28
Tabela 3 - Agrupamento de médias de caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de <i>E. urogradis</i> em Paranapanema -SP pelo método de Scott Knott aos 75 meses de idade	29
Tabela 4 - Famílias escolhidas por variável, a partir dos limites e mediana, por grupo, para caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de <i>E. urograndis</i> em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade	30
Tabela 5 - Estimativa dos parâmetros $\hat{a}$ e $\hat{b}$, tamanho de parcela, Coeficiente de variação e coeficiente de regressão do modelo para o método da máxima curvatura, a partir dos limites e mediana, por grupo, para caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de um clone <i>E. urograndis</i> em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade	32
Tabela 6 - Famílias escolhidas por variável, a partir da classificação comum em todas as variáveis, por grupo, para caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de <i>E. urograndis</i> em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade	36
Tabela 7 - Estimativa dos parâmetros $\hat{a}$ e $\hat{b}$, tamanho de parcela, coeficiente de variação e coeficiente de regressão do modelo para o método da máxima curvatura, considerando as famílias que obtiveram o mesmo agrupamento a partir da classificação comum em todas as variáveis, por grupo, para as variáveis crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de um c <i>E. urograndis</i> em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade	37
Tabela 8 - Número de repetições ideal para cada uma das famílias escolhidas a partir dos limites (L_i e L_s) e mediana (M_d), por grupo, para caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de <i>E. urograndis</i> em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade	43
Tabela 9 - Número de repetições ideal para cada uma das famílias escolhidas a partir da mesma classificação para todas as variáveis, por grupo, para caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de um c <i>E. urograndis</i> em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade ...	45
Tabela 10 - Número de repetições ideal baseado em valores médios fixos de CV_l e $\hat{b}$ para cada uma das famílias escolhidas a partir dos limites (L_i e L_s) e mediana (M_d), por grupo, para caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura)	

e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade47

Tabela 11 - Número de repetições ideal baseado em valores médios fixos de CV_I e $\hat{b}$ para as famílias escolhidas a partir da mesma classificação para todas as variáveis, por grupo, para caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de um c *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade49

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Visualização dos pontos de Máxima Curvatura dos grupos A e B para as variáveis DAP, Altura e Volume. As cores identificam as famílias que apresentaram maior média (preto), média mediana (vermelho) e maior média (verde)34
- Figura 2** - Visualização dos pontos de máxima curvatura dos grupos A e B para a variável DAP. As cores identificam as famílias escolhidas para cada grupo39
- Figura 3** - Visualização dos pontos de máxima curvatura dos grupos A e B para a variável Altura. As cores identificam as famílias escolhidas para cada grupo40
- Figura 4** - Visualização dos pontos de máxima curvatura dos grupos A e B para a variável Volume. As cores identificam as famílias escolhidas para cada grupo41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	CULTURA DO EUCALIPTO	17
2.2	MELHORAMENTO GENÉTICO	18
2.3	PRECISÃO EXPERIMENTAL	19
2.4	TAMANHO DE PARCELA	19
2.4.1	Ensaio em branco	20
2.4.2	Métodos para o cálculo do tamanho ótimo de parcelas	20
2.4.3	Reamostragens.....	21
2.4.4	Máxima curvatura.....	21
2.4.5	Número de repetições.....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	MATERIAL EXPERIMENTAL.....	23
3.2	ANÁLISES ESTATÍSTICAS E ESCOLHA DAS FAMÍLIAS	23
3.3	REAMOSTRAGENS E SIMULAÇÕES.....	24
3.4	CÁLCULO DO TAMANHO ÓTIMO DE PARCELAS.....	25
3.4.2	CÁLCULO DO NÚMERO DE REPETIÇÕES	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	28
4.2	CÁLCULO DO TAMANHO ÓTIMO DE PARCELA.	30
4.2.1	Considerando cada uma das variáveis individualmente.	30
4.2.2	Considerando apenas as famílias com a mesma classificação no agrupamento em todas as variáveis.....	35
4.3	NÚMERO DE REPETIÇÕES.....	42
4.3.1	Considerando TP, CV E <i>b</i> aleatório por família.....	42
4.3.1.1	<i>Considerando cada variável individualmente.</i>	<i>42</i>
4.3.1.2	<i>Considerando as famílias com mesma classificação para todas as variáveis.</i>	<i>44</i>
4.3.2	Considerando TP variável por família, CV1 e <i>b</i> fixos	45
4.3.2.1	<i>Considerando cada variável individualmente.</i>	<i>46</i>
4.3.2.2	<i>Considerando as famílias com a mesma classificação para todas as variáveis.</i>	<i>48</i>
5	CONCLUSÃO	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
	REFERÊNCIAS	53

APÊNDICE A - COEFICIENTES DE VARIAÇÃO (CV(%)) DE FAMÍLIAS TRANSGÊNICAS DE UM CLONE <i>E. UROGRANDIS</i> EM PARANAPANEMA - SP AOS 75 MESES DE IDADE.....	61
APÊNDICE B - TABELA DE INTERVALO DE CONFIANÇA PARA OS PARÂMETROS a E b , JUNTAMENTE COM O LIMITE	63

1 INTRODUÇÃO

A cultura do eucalipto é bem-sucedida nas regiões tropicais e subtropicais, tendo a madeira utilizada para diversos fins, principalmente, para a produção de celulose de fibra e carvão vegetal. No Brasil, a maior parte da produção se concentra nos estados de Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, tendo uma parte da produção em São Paulo e Paraná (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2021).

As espécies mais plantadas em território nacional são *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, considerando que a produção de eucalipto tem a maior participação em território nacional com 7,4 milhões de hectares, tendo um aumento da produção de celulose de 25,6% e 37,8% para carvão vegetal no ano de 2020, em relação ao ano de 2019 (IBGE, 2021).

O eucalipto está presente em vários setores de produção relacionados à silvicultura. A produção de celulose tem a maior fatia da destinação final do plantio, sendo que, em 2020, teve a participação de 30,6% da destinação final do plantio. Está presente em outros setores também, como a produção de compensado, que representa 66% da exportação mundial de pellets (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2022).

Além da produção de papel e celulose, a produção de lenha e carvão vegetal somadas atingiram 41% da produção no ano de 2020 (IBGE, 2021). Essa produção impacta diretamente diversos segmentos, como a produção de energia, uma vez que termelétricas não são movidas majoritariamente por carvão e lenha de extração vegetal. Também deve-se levar em consideração a demanda utilizada por siderúrgicas, que necessitam desse combustível, uma vez que é mais acessível, tem menor custo e produz resíduos menos poluentes, em comparação ao carvão mineral (SOARES *et al.*, 2014).

Com o intuito de suprir a demanda de matéria-prima e de poder responder o possível aumento da produção nos diversos setores, é necessário dirigir estudos para que se possa melhorar a qualidade da madeira. Para aumentar a produção, são aplicadas técnicas de melhoramento genético, o que é uma ferramenta poderosa, uma vez que consegue aumentar a produção, diminuindo a necessidade de aumentar as áreas de plantio, tornando o processo mais eficiente e rápido (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2015).

O melhoramento clássico consiste em estratégias de seleção e recombinação, ou seja, os ciclos são combinados para se produzir um material genético melhorado (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 1996). Essas técnicas demandam mais tempo, e, quando se trata de culturas perenes, o tempo demandado é muito superior ao de culturas anuais. Nestas, os ciclos para a

recombinação e coleta do material genético é longo, podendo, em muitos casos, inviabilizar as pesquisas, devido aos altos custos e ter os resultados apenas em longo prazo.

Para diminuir tempo e custos envolvidos no melhoramento clássico novas técnicas são estudadas, desenvolvidas e implementadas. Uma das técnicas que revolucionaram o melhoramento genético é o uso de engenharia genética para obtenção de plantas geneticamente modificadas, também conhecido como transgênicas. Essas técnicas consistem na modificação direta do genoma pela introdução dirigida de fragmentos de DNA exógenos, que contêm os genes com função conhecida (VENTURA, 2015).

O conhecimento dos limites de classe da precisão experimental dos resultados de ensaios de competição de cultivares, e de outros ensaios, é importante para a qualificação das conclusões obtidas. Algumas estatísticas apresentam relação inversa com a precisão experimental. À medida que aumenta os seus escores há uma diminuição da precisão experimental, conseqüentemente exigindo maiores diferenças entre as estimativas de médias para que estas sejam consideradas significativas. Entre essas medidas destacam-se: coeficiente de variação, índice de variação, diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey, em percentagem da média (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2016). Como a precisão está inversamente proporcional ao erro experimental, é necessário que haja a diminuição expressiva do erro para garantir maior precisão. Uma das maneiras de se diminuir o erro experimental está na escolha do tamanho de parcela, uma vez que isso maximiza a eficiência da coleta de resultados, reduzindo o tempo para o desenvolvimento do experimento (LOPES *et al.*, 2021).

A determinação do tamanho ótimo de parcela contribui diretamente para o planejamento, o desenvolvimento e os resultados dos experimentos, uma vez que, utilizando o tamanho ótimo, garante-se redução de custos, diminui-se o erro atrelado à coleta de dados, entre outros, obtendo-se resultados precisos. Esse tipo de estudo está diretamente relacionado ao coeficiente de variação experimental (CVe), no qual reflete a precisão do experimento, uma vez que, quanto menor o CV, maior a precisão do experimento (CARGNELUTTI FILHO, 2022a).

É válido lembrar que o tamanho ótimo para cada tipo de experimento pode variar. Isso ocorre pois existem muitas variáveis que podem influenciar diretamente esses resultados, tais como o material genótipo, o local de realização do experimento, maquinário disponível, mão de obra para coleta de dados, entre outros. Então, o tamanho ótimo de parcela serve como base para futuros experimentos que tenham condições semelhantes; logo, o estudo constante sobre esse assunto é de grande importância, para adequar cada vez os tamanhos aos possíveis modelos de experimentos futuros que possam ser realizados.

Além dos benefícios citados acima, vale salientar que o estudo do tamanho de parcela influencia diretamente na análise de variância (ANOVA) e nos testes subsequentes (LÚCIO, 1999), ou seja, na correta descrição de qual variação ocorreu devido ao acaso e em função das fontes de variação estudadas. A partir de diversos estudos, constatou-se que o tamanho da amostra também é inversamente proporcional ao erro. Ou seja, quanto maior a amostra, menor será o erro experimental atrelado (PARANAÍBA, 2009a). Todavia, isso é dado até um determinado ponto, pois verifica-se que, a partir daí, o ganho torna-se muito pequeno (FARIA *et al*, 2020).

A maioria da literatura encontrada sobre tamanho de parcelas é baseada em ensaios em branco. Esses ensaios são situações em que todas as parcelas experimentais estão recebendo idêntico tratamento em iguais condições, possivelmente, para as mesmas populações. Não são encontrados trabalhos de tamanho de parcela diretamente ligados ao melhoramento genético de eucalipto transgênico, mas é possível encontrar outros trabalhos com tamanho de parcela ligados ao melhoramento clássico, tal como o trabalho de Silva *et al.* (2003) no qual recomenda o uso de 6 plantas por parcela para plantas com idade inferior a dois anos. Em outro trabalho, Silva (2001) recomenda o uso de 25 plantas por parcela e 4 repetições e LOPES *et al.* (2020) recomenda o uso de 6 plantas por parcela para cultivo em casa de vegetação.

Este trabalho tem como objetivo determinar o tamanho ideal de parcela e número de repetições para experimentos com *Eucaliptus urograndis*, a partir de ensaios experimentais com 34 famílias transgênicas. Para tal, a estatística escolhida para avaliar a variação foi o Coeficiente de Variação Experimental (CVe), e o método utilizado foi a máxima curvatura modificada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CULTURA DO EUCALIPTO

O eucalipto tem origem na Oceania, com mais de 700 espécies e variedades registradas (Pinto Junior *et al.*, 2021). Há um debate sobre a data exata e o local onde o eucalipto foi introduzido pela primeira vez no Brasil. É verdade, no entanto, que essas introduções foram originalmente destinadas a paisagismo, barreiras de vento e extração de óleos essenciais. Contudo, conta-se que o exemplar mais antigo foi trazido por Dom Pedro I ao Jardim Botânico do Rio de Janeiro em 1825 (WENDLING *et al.*, 2021).

São considerados os primeiros estudos realizados, com bases científicas e aplicações econômicas, os realizados por Edmundo Navarro de Andrade, em 1904, nas cidades de Jundiaí e Rio Claro, ambas no estado de São Paulo. Os experimentos conduzidos por Navarro de Andrade tiveram como finalidade a produção de lenha e dormentes para a extinta Companhia Paulista de Estradas de Ferro (CPEF) (MARTINI, 2004).

Os decorrentes estudos e aplicações do eucalipto para os demais fins industriais ocorreram depois do sucesso dos estudos conduzidos por Navarro de Andrade, sendo amplamente aplicados nas indústrias de fibra de celulose. Atualmente no Brasil, os estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Bahia lideram a produção de eucalipto: somados, representam cerca de 70% da área plantada, o que dá 6,68 milhões de hectares de área plantada (IBÁ, 2021).

Nos últimos anos, houve um aumento expressivo na produção do setor de silvicultura, tendo um salto de 82,6 para 116,6 bilhões de reais entre 2016 e 2020, representando 10,2% do PIB do país neste período, sendo que 75,7% da receita é decorrente dos produtos derivados do eucalipto (IBÁ, 2021). Em tempo de recessão e crise decorrentes da pandemia de COVID-19, o plantio de eucalipto teve uma pequena queda de apenas 2,2% de área plantada entre os anos de 2019 e 2020 (IBGE, 2021).

Das espécies de eucalipto cultivadas em território nacional, destaca-se o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, e o híbrido entre duas espécies, *Eucalyptus urograndis*, que tem ganhado destaque no plantio no estado de Minas Gerais, atualmente, o maior produtor (ARAÚJO, 2010). Essas espécies são utilizadas, principalmente, na produção de madeira destinada à celulose, que representa 30,6% da produção, já que a fibra extraída apresenta um grande rendimento (IBGE, 2021). Também há grande demanda para o setor de carvão, lenha e a fabricação de paletes. A menor parte, para é usada produção de móveis e extração de óleos essenciais. Grande parte da produção vai para a exportação, chegando a 15,7 milhões de

toneladas, colocando o Brasil em destaque (IBÁ, 2021). Ainda a maior parte da exportação é composta por carvão vegetal, chegando a 12% da exportação (IBGE, 2021)

2.2 MELHORAMENTO GENÉTICO

A seleção de plantas, ou melhoramento, como arte, é praticada desde os primórdios da agricultura, quando os agricultores começaram a adaptar as plantas, selecionando espécies e variedades mais desejáveis. Esse refinamento empírico resultou nas primeiras alterações alélicas direcionadas. Os resultados desses esforços contribuíram decisivamente para o processo evolutivo das espécies cultivadas e de animais criados todo processo confirmado pelas Leis de Mendel (LEITE; FERRARI; DELIZOICOV, 2001).

As bases do melhoramento genético contemporâneo são dadas por meio dos resultados de Mendel e Darwin, que trouxeram o entendimento de hereditariedade, seleção de indivíduos e técnicas de desenvolvimento de cultivares (ELLIS *et al.*, 2011). Com os estudos e as tecnologias mais avançadas, há uma grande quantidade de técnicas que aumentam o ganho com seleção e predição de ganhos, o que torna o melhoramento genético mais eficiente e com resultados estimados mais precisos (PAULA *et al.*, 2002).

Nos programas de melhoramento, é de grande importância identificar diferenças, mesmo que relativamente pequenas, para a obtenção de melhores resultados (PAULA *et al.*, 2002). Para cada geração que apresenta uma pequena melhoria, pode haver uma soma dessas melhorias em longo prazo, podendo haver um ganho acumulado significativo em uma determinada geração (KRAUSE *et al.*, 2012).

Quando se trata do eucalipto, o melhoramento genético é lento e custoso, uma vez que todo o processo de seleção é caro e demorado, o que dificulta a elaboração e a execução de programas de seleção clonal (SILVA, 2003).

A maioria dos experimentos com melhoramento genético são realizados a campo, em condições mais difíceis de serem controladas, contribuindo assim para o aumento do erro experimental e consequentemente diminuindo a precisão experimental (TSUTSUMI; BULEGON; PIANO, 2015; DA SILVA *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2016).

Experimentos são essenciais nos programas de melhoramento genético e para recomendação de cultivares melhoradas, deve-se buscar técnicas que garantam a maior precisão possível, ou ao menos, que garantam o maior controle para que sejam obtidos erros menores. Nesses experimentos é desejável um alto grau de precisão experimental e, consequentemente,

uma alta acurácia na inferência sobre as médias genotípicas, isto é, sobre os valores genotípicos dos tratamentos genéticos em avaliação (TIMPANI; NASCIMENTO, 2015).

2.3 PRECISÃO EXPERIMENTAL

O coeficiente de variação (CV) é uma estimativa do erro experimental, relacionado à média geral do teste, e é uma estatística amplamente utilizada para avaliar a qualidade de um experimento. Acredita-se que, quanto menor a estimativa do CV, maior a precisão do experimento, e vice-versa, quanto maior a precisão experimental, menor a variância da estimativa média (CARGNELUTTI FILHO, 2022a).

2.4 TAMANHO DE PARCELA

Um dos problemas encontrados na realização de um experimento são as limitações dadas pela disponibilidade de material, como o número de mudas disponíveis e o tamanho da área disponível. O uso de uma grande quantidade de material acarreta no uso de uma área grande, que faz aumentar consideravelmente os custos envolvidos, tornando assim a mão de obra onerosa. Isso também pode causar aumento relevante no erro experimental, uma vez que pode aumentar a variação acarretada pelos efeitos de fatores não controlados, podendo não detectar as diferenças significativas (SANTOS, 2015).

Para melhorar a análise o pesquisador deve estar atento ao planejamento, uma vez que deve-se obter a maior precisão possível do experimento (SOUSA *et al.*, 2016), tendo em vista que a precisão está diretamente relacionada com o erro experimental (FISHER, 1949).

A escolha do local, juntamente com o planejamento, deve ter o propósito de reduzir o erro experimental. Diminuir o erro experimental faz com que a confiabilidade do experimento tenha um aumento significativo. Para isso é importante, além de atender os princípios básicos da experimentação, também ter o genótipo heterogêneo, a escolha dos tratamentos, o acompanhamento fiel do experimento, um número adequado de repetições e número de plantas por parcela (CHAVES, 2018).

Uma opção para aumentar a precisão de experimentos tem sido o estabelecimento de um tamanho ótimo de parcelas, o que possibilita aumentar as informações do experimento (DE MORAIS *et al.*, 2014).

Quando se trata de estudos do tamanho de parcelas na área florestal, há uma certa dificuldade em encontrar trabalhos que tratam desse em transgênicos. Contudo, tal fato pode se dar em decorrência dos custos envolvidos no desenvolvimento, ao tempo exigido para o

desenvolvimento das plantas e as altas taxas de mortalidade. Existem outros trabalhos que estudaram o tamanho de parcelas em genótipos melhorados por métodos convencionais, mas ainda há uma escassez de estudos relacionados. Uma vez que a maior parte dos programas adotam experimentos com uma planta por parcela e aumentam o número de repetições, tal adoção pode acarretar numa perda de informações oriundas do experimento, sendo que a combinação adequada do número de repetições e tamanho de parcela é fundamental para a maximização dos resultados (STORCK *et al.*, 2006).

2.4.1 Ensaio em branco

Dentre os métodos mais recomendados para se testar o material experimental, bem como para calcular o tamanho ótimo de parcela e número de repetições, nos mais diversos setores agrários, está o uso de ensaios em branco ou ensaios de uniformidade. Nestes ensaios não são aplicados nenhum tipo de tratamento ou todos os tratamentos e operações são os mesmos aplicados a todas as unidades experimentais (SILVA *et al.*, 2003).

Deste modo, a aplicação de ensaio em branco, anteriormente aos demais ensaios é importante para determinar o modo como o material genético irá se desenvolver. Com isso é possível determinar as variações genéticas do material estudado sem a influência de tratamentos externos. Esses resultados possibilitam a determinação do tamanho ótimo de parcelas e um número adequado de repetições.

2.4.2 Métodos para o cálculo do tamanho ótimo de parcelas

Para desenvolver um experimento é necessário um planejamento que siga os princípios básicos da experimentação, no qual se deseja comparar o efeito causado pelos tratamentos aplicados. Isso é dado pela estimativa de parâmetros de uma amostra representativa das unidades experimentais envolvidas no estudo. Para a melhor adequação do experimento é necessário a utilização de um tamanho adequado das unidades básicas (PARANAÍBA; MORAIS; FERREIRA, 2009b).

Para o cálculo do tamanho ótimo de parcelas existem métodos, tais como o método da máxima curvatura modificado, método da máxima curvatura, modelo linear segmentado com platô, método da comparação das variâncias, modelo quadrático segmentado com platô e método de Hatheway (PEIXOTO; FARIA; MORAIS, 2011).

Cabe ao pesquisador escolher aquele que melhor se adequa ao seu caso, sendo que existem várias literaturas mostrando a eficácia dos métodos e comparação entre eles. Segundo

Paranaíba (2009a) o método da máxima curvatura se mostrou eficaz na obtenção do tamanho ótimo de parcelas para experimentos com arroz, e os trabalhos de Donato *et al.* (2008) e Cargnelutti Filho *et al.* (2022a) indicaram os melhores ajustes e maior precisão quando comparado com outros métodos.

2.4.3 Reamostragens

As reamostragens são baseadas no conjunto original, uma vez que o bootstrap gera as simulações a partir desse conjunto de dados. Em alguns casos a inferência estatística pode não ser uma estimativa pontual ou suficiente de um parâmetro para fornecer evidências que auxiliem na dedução (MARTINEZ-ESPINOSA; SANDANIELO; LOUZADA-NETO, 2006).

A aplicação de técnicas de reamostragens possibilita calcular uma distribuição empírica, que pode se comparar com uma situação real, havendo uma redução no viés e do erro padrão atribuídos a uma possível nova coleta (COSTA, 2011).

O método de Bootstrap é utilizado para conseguir resultados precisos, sem o alto gasto computacional e de forma prática (GRIL *et al.*, 2020). Tal método é utilizado para auxiliar nos cálculos de máxima curvatura, pois possibilita obter os coeficientes de variação necessários para a obtenção da curva de máxima curvatura, tudo em função do tamanho de parcela obtido pelas possíveis combinações e formas.

O bootstrap pode ser aplicado nesse caso, pois além de ser eficiente se adequa a qualquer situação que necessite de um melhor ajuste (BRITO *et al.*, 2014; TOEBE *et al.*, 2014). Um bom ajuste é de suma importância na realização dos cálculos de máxima curvatura, pois, torna os resultados mais confiáveis (DIAS, 2013).

2.4.4 Máxima curvatura

O método da curvatura máxima, tem sido empregado com êxito na determinação do tamanho ótimo da parcela. Nele, pode-se determinar esse tamanho apenas obtendo estimativas da média, da variância e também da autocorrelação de primeira ordem, que deve ser obtida por meio do ordenamento dos resíduos em linhas e/ou colunas (PARANAÍBA; MORAIS; FERREIRA, 2009a).

Esse método mostra como o coeficiente de variação diminui em função do aumento do tamanho de parcelas, sendo possível observar que em determinado ponto, chamado de ponto de máxima curvatura, não ocorrem perdas significativas, ou seja, não há a necessidade de parcelas

maiores para obter os mesmos resultados. A aplicação desse método se adequa a várias situações, sendo altamente aplicável (VARGA-ROJAS *et al.*, 2014).

O método também consegue resultados, que se bem aplicados quando utilizados em experimentos podem reduzir significativamente os erros atrelados, assim aumentando a precisão experimental (LOPES *et al.*, 2020). A redução do erro em experimentos é algo que precisa ser levado sempre em consideração, para que os resultados sejam os mais precisos possível (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2017).

2.4.5 Número de repetições

A investigação da necessidade de redimensionar o número de repetições é possível de ser realizada a partir de dados de ensaios de genótipos com base em estimativas de coeficiente de repetibilidade obtidas por meio da análise de variância (CRUZ, 2006). Nesse cenário, o fato de serem necessários experimentos específicos para dimensionar o número de repetições, além de maximizar o aproveitamento de dados existentes, possibilitaria a economia de tempo, recursos humanos e financeiros.

A partir do coeficiente de repetibilidade, o dimensionamento do número de repetições foi realizado em ensaios de competição de genótipos de feijão (CARGNELUTTI *et al.*, 2009), de soja (STORCK *et al.*, 2009), de milho (CARGNELUTTI *et al.*, 2010) e de arroz irrigado (CARGNELUTTI *et al.*, 2012). Nesses estudos, os autores constataram que, para avaliar a produtividade de grãos dessas culturas, ensaios com quatro repetições possibilitam a identificação de genótipos superiores de feijão, de soja, de milho e de arroz irrigado com 85, 80, 81 e 79% de precisão, respectivamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL

Foram utilizados neste trabalho (material experimental) ensaios de um clone híbrido *Eucalyptus urograndis*, que sofreu a transgenia aleatória pelo método indireto via *Agrobacterium tumefaciens*, conduzidos pela empresa ARBORGEN Ltda. Nesses ensaios, cada transformação aleatória foi tratada como uma família transgênica, o que compreende o mesmo clone, porém com a transgenia sendo alocada em regiões genômicas diferentes. Portanto as progênes são geneticamente idênticas, diferindo apenas no local da inserção do gene exótico.

O experimento foi instalado em outubro de 2009, no distrito de Holambra, em Paranapanema – SP (Latitude: -23.3877 Longitude: -48.7266), e os dados foram obtidos a partir dos resultados colhidos após 75 (setenta e cinco) meses de condução (seis anos e três meses de condução do experimento).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro blocos, 34 (trinta e quatro) famílias transgênicas e cinco árvores por parcela, totalizando 680 (seiscentos e oitenta) árvores. O experimento contou com a bordadura de espécimes não transgênicos, de acordo com a legislação vigente no período.

Desse experimento, foram coletados o diâmetro a altura do peito (DAP), a altura (Alt) e o volume indireto em metros cúbicos (m^3), obtido a partir do DAP e Alt de acordo com Departamento de Inventário Florestal da empresa.

As análises estatísticas foram realizadas no Laboratório de Estatística Aplicada (LEA) na FEIS-UNESP.

3.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS E ESCOLHA DAS FAMÍLIAS

Foi feita a análise de variância (ANOVA) para identificar se havia diferença entre as famílias transgênicas. Então foi aplicado o teste de Scott-Knott (1974) para todas as variáveis, com o intuito de agrupar as famílias, indicando aquelas pertencentes ao mesmo grupo. O teste de Scott-Knott foi escolhido por ser recomendado na área de melhoramento genético, principalmente, na comparação entre espécies, variedades e cultivares, uma vez que consegue identificar diferenças sutis entre tratamentos (CONRADO, 2017).

A partir do teste de Scott-Knott (1974) as famílias foram agrupadas em duas classes (A e B). Com o intuito de sintetizar o conjunto de dados, escolheu-se algumas famílias para representar os grupos. A escolha das famílias após o agrupamento seguiu dois métodos,

norteados por possíveis objetivos de pesquisas: 1) considerando cada variável individualmente, processo de escolha importante para trabalhos que visam uma variável ou variáveis específicas, e, 2) considerando as famílias com a mesma classificação para todas as variáveis.

3.3 REAMOSTRAGENS E SIMULAÇÕES.

Foram feitas simulações a partir das reamostragens. A fim de conseguir um bom ajuste dos dados de cada família com o modelo empregado foram realizadas diversas reamostragens a partir dos dados experimentais.

Assim, foram escolhidas 100 (cem) reamostragens para cada variável e para cada família estudada, num total de 10.200 (dez mil e duzentas). Os coeficientes de determinação (R^2) das regressões serviram como base para escolha dos conjuntos de dados, sendo elegíveis apenas os conjuntos que apresentaram um coeficiente de determinação maior que 70%, sendo priorizados aqueles que apresentaram o maior valor possível.

A partir dessas reamostragens foram gerados novos conjuntos de dados a partir do original, mantendo a precisão, sem perdas significativas de assimetria e mantendo a distribuição (HESTERBERG, 2011), aqui chamados de ensaio de uniformidade. Foram realizadas simulações e obtidos o coeficiente de variação para cada tamanho de parcela simulado de acordo com esses conjuntos de dados, no qual sucederam as simulações e assim feitas as regressões utilizadas neste trabalho.

A partir das reamostragens foram obtidos 3 (três) ensaios de uniformidade para cada família escolhida, sendo um ensaio para cada variável. Cada ensaio foi constituído por 20 unidades experimentais. Nestes, foram realizadas 14 simulações com formas distintas, dispostas em 5 fileiras (linha) por 4 colunas (Tabela 1) que geraram 9 tamanhos de parcelas.

Tabela 1 - Tamanho da parcela, forma da parcela e número de parcelas totais em cada simulação para os ensaios de uniformidade.

Simulações	Tamanho	Forma	Número de parcelas
1	2	2x1	10
2	2	1x2	8
3	3	3x1	5
4	3	1x3	4
5	3	2+1	4
6	3	1+2	4
7	4	2x2	4
8	5	2x2+1	2
9	6	2x3	2
10	6	3x2	2
11	7	2x3+1	2
12	8	2x4	2
13	8	4x2	2
14	10	2x5	2

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4 CÁLCULO DO TAMANHO ÓTIMO DE PARCELAS.

Para o cálculo do tamanho ótimo de parcela foi empregado o Método da Máxima Curvatura Modificado introduzido por Lessman & Atkins em 1963, e modificado por Meier e Lessman em 1971, que desenvolveram a seguinte expressão:

$$X_c = \left[\left(\hat{a}^2 \hat{b}^2 (2\hat{b} - 1) \right) / (\hat{b} - 2) \right]^{1/(2 - 2\hat{b})} \quad (1)$$

E segue o modelo de regressão exponencial:

$$CV = \hat{a} X_c^{-\hat{b}} \quad (2)$$

Nessas equações X_c é o ponto da abscissa da máxima curvatura; $\hat{a}$ e $\hat{b}$ são os coeficientes de regressão que envolvem a variação e o coeficiente de variação experimental e o número de plantas por família.

O ponto X_C condiz com o tamanho de parcela calculado para a família. Os modelos de regressão relacionam a variância e o coeficiente de variação, para mostrar o comportamento dos dados e, assim, gerar o coeficiente de regressão.

Para verificar a validade dos parâmetros $\hat{a}$ e $\hat{b}$ obtidos, foram estipulados limites, que são dados pelas expressões $Ls = \frac{GL \times \sigma^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}}$ e $Li = \frac{GL \times \sigma^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}}$, onde GL são os graus de liberdade dos componentes associados às variâncias e $\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}$ e $\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}$ são os quantis dados pela distribuição qui-quadrado bicaudal com $\alpha=5\%$ de probabilidade. Os parâmetros foram validados dentro dos limites calculados e caso não se adequassem seria considerada a próxima simulação obtida.

Destas simulações foram obtidos o coeficiente de variação para cada tamanho de parcela simulado, e encontrado o coeficiente de regressão (R^2) do modelo proposto. Para validação dos resultados também foi calculado o intervalo de confiança em cada simulação.

3.4.1 Cálculo do tamanho de parcela por grupos

Foram apresentadas duas formas para cálculo do tamanho de parcela a partir do agrupamento realizado pelo teste de Scott-Knott (1974): Método 1 considerando cada variável individualmente e Método 2 - considerando as famílias com a mesma classificação para todas as variáveis.

3.4.1.1 Considerando cada variável individualmente

O cálculo do tamanho de parcelas foi realizado a partir da divisão dos grupos, sendo selecionadas três famílias como representantes de cada grupo. O processo de escolha das famílias foi baseado na média das variáveis, sendo escolhidos os valores extremos (superior e inferior) e valor mediano em cada grupo por variável, de modo a demonstrar a amplitude de variação de cada grupo, e consequentemente, representar melhor o conjunto de dados amostrados.

A partir da divisão dos grupos, foram selecionadas as famílias que apresentaram a mesma classificação para os valores das médias em todas as variáveis.

3.4.2 Cálculo do número de repetições

Para determinar o número mínimo de repetições foi utilizada a equação de Hatheway (1961) dada por:

$$(X_C)^{\hat{b}} = \frac{2CV_I^2(t_1+t_2)^2}{rd^2} \quad (3)$$

Isolando r , temos a equação:

$$r = \frac{2CV_I^2(t_1+t_2)^2}{(X_C)^{\hat{b}}d^2} \quad (4)$$

Em que: r é número de repetições a ser determinado, d é a diferença mínima significativa, $d= 15\%$ neste trabalho que, segundo Cargnelutti Filho *et al.* (2020) garante média precisão experimental; CV_I é o coeficiente de variação entre parcelas; t_1 valor crítico da distribuição t de Student ao nível $\alpha_1=0,05$ e t_2 o valor crítico bilateral da distribuição t de Student, $\alpha = 2(1-P)$, com $P=0,80$ (neste trabalho); X_C o tamanho ótimo de parcelas encontrado pelo método de máxima curvatura modificado; $\hat{b}$ também chamado de coeficiente de heterogeneidade.

O cálculo do número de repetições seguiu a mesma metodologia explicada anteriormente para tamanho de parcela (Método 1 e Método 2). Adicionalmente para número de repetições foram realizados dois métodos distintos para o cálculo: Método 3 - Considerando tamanho de parcelas (TP), coeficiente de variação (CV) e $\hat{b}$ aleatório por família e Método 4 - Considerando TP variável por família e valores médios fixos de CV_1 e $\hat{b}$.

Para as construções dos algoritmos e simulações dos dados foram utilizados o *software* estatístico R versão 4.0.5 e o Microsoft Excel 365®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Constatou-se, pela Análise de Variância - ANOVA (Tabela 2), que existe diferença significativa entre as famílias para todas as variáveis estudadas, sendo, portanto, necessário realizar teste de média posteriormente para classificar as famílias, de modo que as similares fossem agrupadas e as diferenças entre as famílias nas variáveis medidas fossem detectadas.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para os caracteres diâmetro a altura ao peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (volume), de famílias transgênicas de um clone *E. urograndis* em Paranapanema - SP aos 75 meses de idade.

			DAP (cm)		Altura (m)		Volume (m ³)	
FV	GL	SQ	F	SQ	F	SQ	F	
Família	33	175,51	2,19**	205,70	1,62*	0,15	2,01**	
Bloco	3	20,38	2,80*	65,76	5,72**	0,00	0,85 ns	
Erro	99	239,62		379,21		0,22		
CV		10,65		9,14		24,8		
Média		14,60		21,40		0,19		

Nota: ns: não significativo; *, **: significativo a 5 e a 1% pelo teste F.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para classificar as famílias, uma vez que foi encontrada diferença significativa para todas as variáveis ($P < 0,05$) foi aplicado o teste de média de Scott-Knott (Tabela 2). Verificou-se que em todas as variáveis foram obtidos dois grupos distintos, aqueles com as maiores e as menores médias, o que serviu de base para escolha das famílias a serem utilizadas nas próximas etapas.

Tabela 3 - Agrupamento de médias de caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de *E. urogradis* em Paranapanema -SP pelo método de Scott Knott aos 75 meses de idade.

Família	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m ³)
1	15,07 A	19,75 B	0,19 B
2	13,06 B	21,36 A	0,14 B
3	16,66 A	22,90 A	0,25 A
4	16,88 A	22,80 A	0,25 A
5	16,88 A	23,03 A	0,25 A
6	13,85 A	21,56 A	0,17 B
7	11,40 B	19,54 B	0,10 B
8	15,43 A	21,74 A	0,20 B
9	14,13 B	21,86 A	0,17 B
10	14,45 B	18,96 B	0,18 B
11	14,33 B	19,19 B	0,17 B
12	13,44 B	21,64 A	0,15 B
13	14,03 B	18,49 B	0,17 B
14	13,71 B	21,06 A	0,16 B
15	13,71 B	21,06 A	0,16 B
16	13,72 B	21,77 A	0,16 B
17	14,12 B	21,90 A	0,17 B
18	15,65 A	22,43 A	0,22 A
19	14,41 B	22,14 A	0,19 B
20	13,34 B	21,23 A	0,16 B
21	15,09 A	22,06 A	0,20 B
22	15,02 B	22,48 A	0,20 B
23	14,57 B	22,12 A	0,19 B
24	14,51 B	19,65 B	0,18 B
25	15,17 A	22,24 A	0,20 B
26	14,88 B	22,17 A	0,19 B
27	16,86 A	22,17 A	0,25 A
28	13,93 B	21,82 A	0,17 B
29	14,63 B	19,80 B	0,18 B
30	14,76 B	19,81 B	0,18 B
31	15,70 A	22,66 A	0,22 A
32	14,41 B	21,98 A	0,19 B
33	14,53 B	22,11 A	0,18 B
34	14,15 B	21,42 A	0,18 B

Nota: A e B: agrupamento das maiores e menores médias (respectivamente) pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 CÁLCULO DO TAMANHO ÓTIMO DE PARCELA

Uma vez que, dentro de cada grupo classificado pelo teste, se havendo variação entre as famílias ela é relativamente baixa, optou-se por realizar duas formas de apresentação dos dados, de modo que o pesquisador seja norteado de acordo com o objetivo da sua pesquisa: 1) considerando cada uma das variáveis individualmente e 2) considerando apenas as famílias que obtiveram a mesma classificação no agrupamento para todas as variáveis.

4.2.1 Considerando cada uma das variáveis individualmente

As famílias foram escolhidas por variável, a partir dos limites inferior e superior (Li e Ls) e mediana (Md), por grupo. Para a variável “DAP”, as representantes escolhidas (Tabela 3) no Grupo A foram as famílias 4, 18 e 22 e para o Grupo B foram utilizadas as famílias 26, 9 e 7. Na variável “Altura”, as famílias 5, 21 e 30 foram representantes do Grupo A e as famílias 30, 24 e 13 do grupo B. Para “Volume”, foram escolhidas as famílias 5, 27 e 31 para formar o grupo A e as famílias 8, 34 e 7 para formar o grupo B. Em todos os grupos citados as médias das famílias seguem ordenação decrescente.

Tabela 4 - Famílias escolhidas por variável, a partir dos limites inferior e superior (Li e Ls) e mediana (Md), por grupo, para caracteres de crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume) de famílias transgênicas de *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade.

		DAP		Altura		Volume	
Grupo		Família	Média	Família	Média	Família	Média
A	Ls	4	16,66	5	22,80	5	0,14
	Md	18	15,65	21	22,43	27	0,20
	Li	22	15,02	14	22,48	31	0,17
B	Ls	26	15,17	30	22,17	8	0,17
	Md	9	14,13	24	21,86	34	0,19
	Li	7	11,40	13	19,54	7	0,23

Nota: R²: coeficiente de determinação, XM: ponto de máxima curvatura; CVM: coeficiente de variância correspondente ao ponto de máxima curvatura calculado. Li: limite inferior, Ls: limite superior, Md: Mediana.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação aos coeficientes de variação encontrados no trabalho, para cada tamanho de parcela, foram considerados aqueles com maior coeficiente de determinação da regressão (R^2). Sendo o menor valor encontrado de 74% na família 24 e o maior de 95% na família 22 considerando todas as variáveis estudadas.

Na variável DAP, grupo A, o maior R^2 (0,95) ocorreu na família 22 com o coeficiente de variação médio (CVM) de 5,93 %; que se classifica como baixo. No grupo B, a família 7 apresenta o maior R^2 (0,95) com CVM de 11,07 %, que se enquadra como CV médio de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009).

Para a variável “Altura”, no grupo A, a família 21 apresentou o R^2 de 0,94 com CVM de 3,93 %; classificando-se como CV baixo. No grupo B, a família 13 apresentou maior R^2 (0,91) com CVM de 3,23 %; também se classificando como CV baixo.

Para a variável “Volume”, as famílias 5 e 7 apresentaram os maiores R^2 para os grupos A e B respectivamente, com o R^2 de 0,93 com CVM de 15,56 % para família 5 e R^2 de 0,96 e CVM de 7,44 % para a família 7. Nessa variável nota-se uma diferença considerável entre a classificação dos CVs, com CV médio para a família 5 e baixo para família 7, de acordo com Pimentel-Gomes (2009).

As estimativas dos parâmetros ($\hat{a}$ e $\hat{b}$) do modelo para o método da máxima curvatura modificado (Tabela 5) foram significativas ($P < 0,05$) para todos os grupos e famílias representantes em todas as variáveis analisadas. Esses parâmetros definem a curva, ou seja, mostram o comportamento dos dados mediante o método da máxima curvatura modificado e são a base para o cálculo do tamanho ótimo de parcela.

Na variável DAP, o parâmetro $\hat{a}$ variou de 10,73 a 18,04 e o parâmetro $\hat{b}$ variou de 0,49 a 0,57 no Grupo A. Em B a variação foi de 11,82 a 18,20 para o parâmetro $\hat{a}$ e 0,82 a 0,95 para o parâmetro $\hat{b}$ (Tabela 5). Na variável Altura o parâmetro $\hat{a}$ apresentou intervalo de variação de 2,91 a 28,88 e o parâmetro $\hat{b}$ de 0,34 a 0,81 no grupo A, e valores de 6,82 a 18,20 e 0,38 a 0,60, respectivamente $\hat{a}$ e $\hat{b}$ no grupo B. Para a variável volume foram encontrados intervalos do parâmetro $\hat{a}$ de 32,12 a 48,93 e 0,3 a 0,67 para o parâmetro $\hat{b}$, entre os representantes do grupo A, e intervalos de 26,14 a 65,47 e 0,32 a 0,75, respectivamente $\hat{a}$ e $\hat{b}$ no grupo B. Nota-se que tanto para Altura quanto volume ocorreu uma amplitude acentuada no parâmetro $\hat{a}$ entre as famílias. Para o parâmetro $\hat{b}$ houve uma pequena amplitude entre as famílias para todas as variáveis avaliadas.

Tabela 5 - Estimativa dos parâmetros de coeficiente de regressão do modelo ($\hat{a}$) e coeficiente de variação experimental ($\hat{b}$), tamanho de parcela (X_c) e Coeficiente de variação (CV) para o método da máxima curvatura, a partir dos limites e mediana, por grupo, para os caracteres de crescimento diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume) em famílias transgênicas *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade.

Variável	Grupo	Medidas	Família	$\hat{a}$	$\hat{b}$	R ²	X_c	CV(%)
Dap	A	Ls	4	10,73	0,57	0,85	3,00	5,68
		Md	18	18,04	0,49	0,88	4,00	9,09
		Li	22	10,37	0,53	0,95	2,85	5,93
	B	Ls	26	15,57	0,48	0,89	3,60	8,36
		Md	9	11,82	0,60	0,82	3,23	5,80
		Li	7	18,20	0,38	0,95	3,65	11,07
Altura	A	Ls	5	2,91	0,37	0,91	0,94	2,97
		Md	21	9,78	0,81	0,94	3,07	3,93
		Li	14	28,88	0,34	0,85	4,88	16,73
	B	Ls	30	22,53	0,28	0,84	3,70	15,44
		Md	24	22,96	0,47	0,87	4,65	11,09
		Li	13	6,26	0,76	0,91	2,36	3,23
Volume	A	Ls	5	48,93	0,55	0,93	7,86	15,56
		Md	27	33,80	0,33	0,89	5,44	19,08
		Li	31	32,12	0,67	0,90	6,03	9,60
	B	Ls	8	65,47	0,32	0,90	8,86	31,95
		Md	34	26,14	0,56	0,94	5,26	10,29
		Li	7	26,40	0,75	0,96	5,35	7,44

Nota: R²: coeficiente de determinação, X_c : ponto de máxima curvatura; CV: coeficiente de variância correspondente ao ponto de máxima curvatura calculado. Li: limite inferior, Ls: limite superior, Md: Mediana.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As amplitudes dos parâmetros $\hat{a}$ e $\hat{b}$ encontrados corroboram com os resultados encontrados por Lopes *et al.* (2021), uma vez que os parâmetros apresentaram uma amplitude similar para a variável altura.

Conforme verificamos na Figura 1, os valores de tamanho de parcela na variável DAP variaram de 3 a 4 unidades básicas (UB) para o Grupo A enquanto no Grupo B foram encontrados tamanhos de 4 UB para os três representantes. Os coeficientes de variação ficaram entre 5,68 a 9,09 % no grupo A e 5,80 a 11,07 % no grupo B.

Araújo (2015) utilizou o método REML/BLUP em testes clonais de eucalipto, determinando que para a variável DAP são necessárias 6 plantas por UB, fato que não foi verificado neste e trabalhos anteriormente citados com a utilização do método da máxima curvatura, dando a entender que é possível reduzir duas plantas por parcela sem prejuízo da precisão experimental.

Na variável Altura os valores de tamanho de parcela variaram de 1 a 5 para o grupo A, de 3 a 5 para o grupo B sendo os coeficientes de variação de 2,97 a 16,73 % no grupo A e 3,23 a 15,44 % no grupo B. Nesta variável, foram encontradas as maiores amplitudes entre os representantes de cada classe. Mas em ambas a recomendação será de 5 UB.

O trabalho de Araújo (2015) mostra que para essa variável o número ideal de unidades básicas é de 6 UB por parcela para clones de eucalipto, utilizando o procedimento da máxima verossimilhança restrita (REML). Com a utilização do Método da máxima curvatura modificado, o resultado foi superior ao encontrado neste trabalho, uma vez que esse método se adequa melhor para esse tipo de situação.

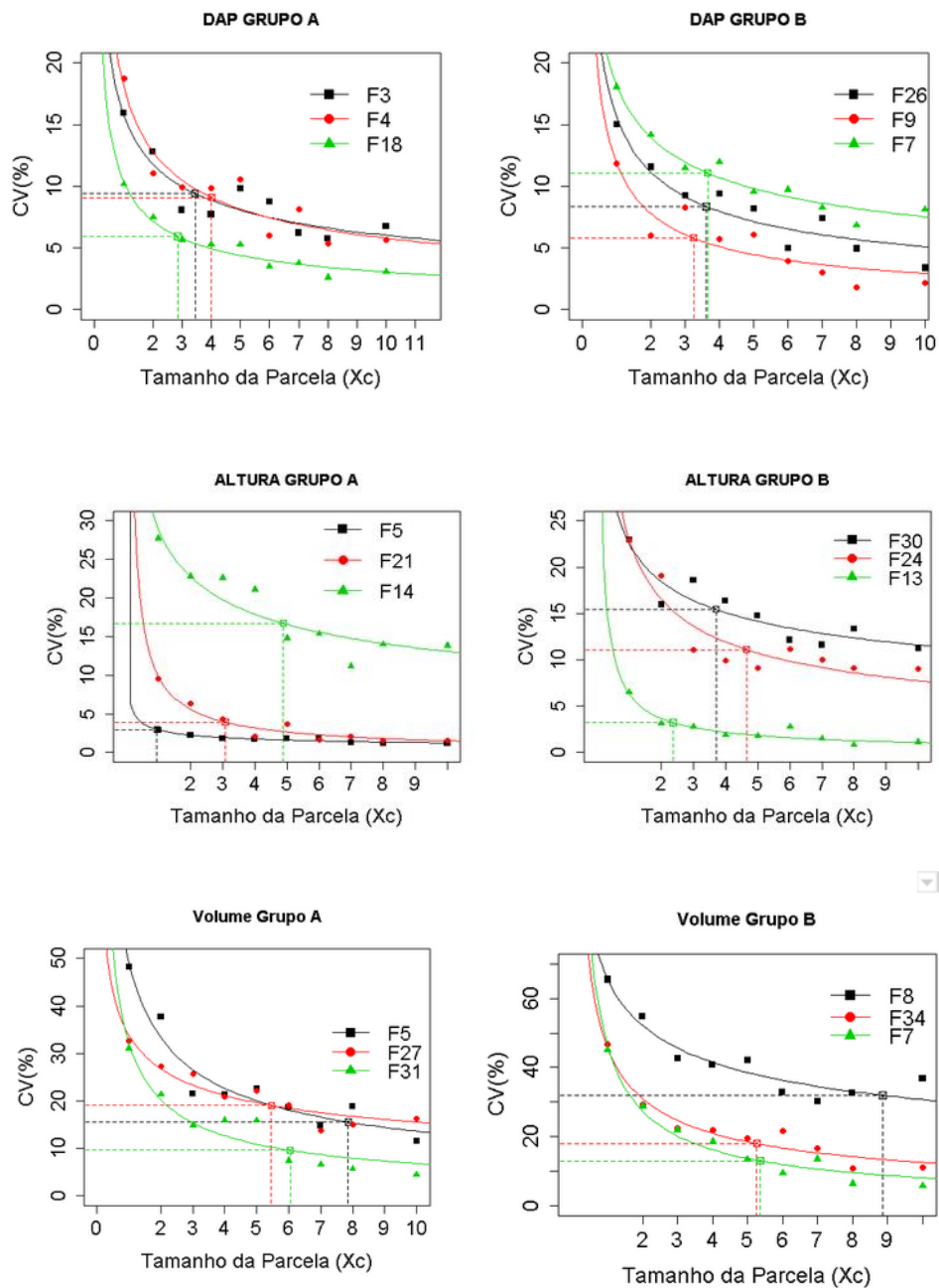
Na variável Volume os valores do tamanho de parcela obtidos variaram de 5 a 8 para o Grupo A e de 5 a 9 para o Grupo B. Os coeficientes de variação equivalentes ao ponto ótimo foram de 9,60 a 19,08 % para o Grupo A e de 7,44 a 31,95 para o grupo B. Nessa variável, o valor recomendado por Araújo (2015) foi de 6 UB, menor do que o recomendado para este trabalho.

Silva *et al.* (2003) utilizaram a mesma metodologia para cálculo de TP, recomendando 5 UB para altura e 7 para DAP, valores próximos aos encontrados neste trabalho. Lopes *et al.* (2020) recomendaram o uso de 6 UB para estudos gerais, também utilizando o método da máxima curvatura modificado para experimento em casa de vegetação. Assim, o método aplicado se mostra eficiente e versátil em diversas situações e diferentes espécies.

Muniz *et al.* (2006) usando métodos lineares determinaram que o tamanho ótimo de parcelas é de 1 UB. Contudo, esse método ao contrário do método da máxima curvatura modificado, não leva em consideração o CV do ensaio, o que traz discrepâncias aos resultados

encontrados neste trabalho, em que a curva de máxima curvatura mostra o comportamento dos CV em relação ao aumento do tamanho de parcelas. O método da máxima curvatura modificado traz maior precisão das estimativas obtidas e melhores ajustes a diversas situações (BRITO *et al.*, 2012).

Figura 1 - Visualização dos pontos de Máxima Curvatura dos grupos A e B para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), Altura e Volume. As cores identificam as famílias que apresentaram maior média (preto), média mediana (vermelho) e maior média (verde).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em todas as variáveis, os parâmetros $\hat{a}$ e $\hat{b}$ do modelo se encaixaram dentro dos limites do intervalo de confiança (Apêndice A), ou seja, todos os parâmetros foram aceitáveis, pois, nos intervalos não estava contido o número 0 (zero). Uma vez que o intervalo apresenta o zero os resultados são descartados, significando que os resultados obtidos pelo método da máxima curvatura modificada foram validados pelos intervalos de confiança obtidos.

Dentro dos limites encontrados para o parâmetro $\hat{a}$, na variável DAP, a família 18 assim tendo a maior amplitude (6,26) e a família 22 apresentou a menor amplitude (2,23). Na variável Altura, a maior amplitude foi encontrada na família 24 (7,99) e a menor amplitude foi encontrada na família 5 (2,7). Para a variável Volume a família 8 resultou a maior amplitude (8,59) e a família 7 a menor amplitude (6,12). Essas diferenças entre as amplitudes são devido às diferenças genéticas encontradas entre famílias, também incluindo as variâncias ambientais envolvidas (JUNIOR, 2017), uma vez que o evento de transgenia afeta aleatoriamente o DNA, isso pode gerar uma diferença significativa nas medidas encontradas.

Para o parâmetro $\hat{b}$, na variável DAP, todos os valores encontrados foram abaixo de 1, sendo que o maior (0,60) foi encontrado na família 9, e o menor (0,57) na família 4. Para as variáveis Altura e Volume, todos os valores encontrados para o parâmetro $\hat{b}$ também foram abaixo de 1, sendo que para altura o maior valor foi de 0,81 na família 21 e, para volume o maior valor foi 0,75 na família 7.

4.2.2 Considerando apenas as famílias com a mesma classificação no agrupamento em todas as variáveis

Para representar cada um dos grupos foram escolhidas apenas as famílias que a classificação pelo teste de Scoot-Knott foi comum em todas as variáveis (Tabela 3). As representantes escolhidas (Tabela 6) no Grupo A foram as famílias 3, 4, 5, 18, 27 e 31, para o Grupo B foram utilizadas as famílias 7, 10, 11, 13, 24, 29 e 30.

Tabela 6 - Famílias escolhidas por variável, a partir da classificação comum em todas as variáveis, por grupo, para os caracteres (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume) de famílias transgênicas de *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade.

Grupo	Família	Média		
		DAP	Altura	Volume
A	3	16,69	21,36	0,14
	4	16,88	22,80	0,14
	5	16,88	23,03	0,20
	18	15,65	22,43	0,21
	27	16,86	22,90	0,21
	31	15,70	22,66	0,17
B	7	11,4	19,54	0,23
	10	14,45	18,96	0,22
	11	14,33	19,19	0,19
	13	13,44	21,64	0,17
	24	14,51	22,12	0,18
	29	14,63	19,80	0,17
	30	14,76	19,81	0,18

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em todas as variáveis, as estimativas dos parâmetros $\hat{a}$ e $\hat{b}$ do modelo se encaixam dentro dos limites do intervalo de confiança (Apêndice B). Para o parâmetro $\hat{a}$ na variável DAP a maior estimativa (18,81) foi obtida na família 10B e a menor estimativa (9,86) na família 27A (Tabela 7). Na variável Altura, o maior valor de $\hat{a}$ foi encontrado na família 10B (27,22) e o menor valor foi encontrado na família 5A (2,7). Para a variável Volume a família 3A apresentou a maior valor de $\hat{a}$ (75,60) e a família 3B o menor valor (26,30).

Tabela 7 - Estimativa dos parâmetros de coeficiente de regressão do modelo ($\hat{a}$) e coeficiente de variação experimental ($\hat{b}$), Coeficiente de variação e coeficiente de regressão do modelo para o método da máxima curvatura, considerando as famílias que obtiveram o mesmo agrupamento a partir da classificação comum em todas as variáveis, por grupo, para as variáveis crescimento (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume)) de famílias transgênicas de um c *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade.

Variáveis	Grupo	Família	$\hat{a}$	$\hat{b}$	R ²	X _c	CV _I
DAP	A	3	15,84	0,42	0,86	3,45	15,93
		4	16,38	0,68	0,79	4,05	15,93
		5	10,59	0,43	0,75	2,63	10,81
		18	18,81	0,51	0,90	4,16	18,72
		27	9,86	0,49	0,81	2,67	9,47
		31	12,72	0,61	0,91	3,40	13,12
	B	7	18,13	0,43	0,88	3,81	18,04
		10	27,61	0,58	0,89	5,47	27,64
		11	24,74	0,53	0,84	5,04	22,99
		13	13,67	0,36	0,82	2,88	14,61
		24	15,30	0,56	0,87	3,73	15,52
		29	21,74	0,62	0,93	4,75	20,99
		30	20,93	0,47	0,82	4,37	20,56
Altura	A	3	6,12	0,47	0,90	1,88	6,10
		4	3,89	0,47	0,81	1,37	3,79
		5	2,76	0,40	0,93	0,97	2,90
		18	7,77	0,61	0,87	2,49	7,43
		27	4,04	0,45	0,87	1,39	3,94
		31	5,21	0,56	0,88	1,87	5,01
	B	7	7,37	0,66	0,88	2,49	7,49
		10	27,22	0,47	0,86	5,22	26,84
		11	22,72	0,26	0,81	3,54	23,29
		13	6,17	0,41	0,94	1,75	6,47
		24	24,56	0,56	0,74	5,04	22,94
		29	23,24	0,45	0,76	4,64	22,91
		30	24,48	0,57	0,78	5,09	22,92
Volume	A	3	75,60	0,69	0,86	10,01	72,98
		4	56,10	0,60	0,76	8,55	54,70
		5	47,89	0,61	0,86	7,73	48,18
		18	37,00	0,64	0,86	6,59	35,73
		27	33,83	0,56	0,84	6,21	32,62
		31	29,14	0,68	0,75	5,70	31,02
	B	7	26,30	0,57	0,89	5,29	25,74
		10	31,79	0,49	0,91	5,84	32,26
		11	41,54	0,47	0,83	6,96	40,18
		13	32,81	0,60	0,87	6,11	30,90
		24	39,50	0,54	0,78	6,84	37,33
		29	40,80	0,70	0,86	6,94	40,65
		30	29,14	0,68	0,75	5,69	37,30

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na variável DAP o maior valor (0,68) da estimativa de $\hat{b}$ foi encontrado na família 4A, e o menor (0,04) na família 13B (Tabela 7). Para a variáveis Altura o maior valor de $\hat{b}$ foi de 0,66 na família 13B e o menor 0,26 para a família 10B. Para volume o maior valor da estimativa de $\hat{b}$ foi 0,70 na família 29B e o menor valor (0,47) na família 11B.

Em todas as variáveis analisadas os coeficientes de determinação encontrados foram superiores a 74%, mostrando bom ajuste do modelo ao conjunto de dados, sendo que o maior valor encontrado para DAP foi de 93% na família 5A, para altura de 94% na família 13B. Para Volume o maior coeficiente encontrado foi de 91% na família 10B (Tabela 7).

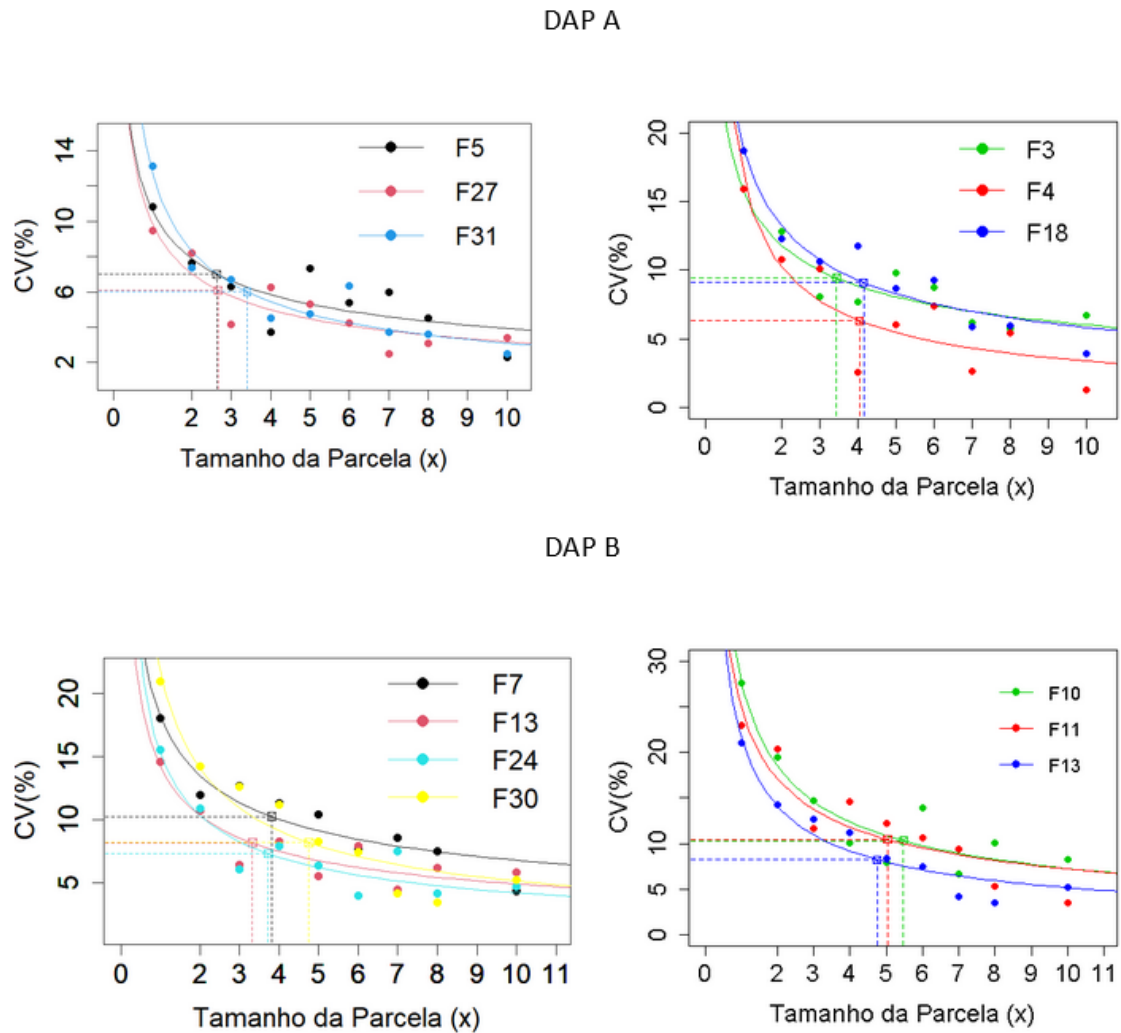
As estimativas do tamanho de parcela encontrados para o grupo A variaram de 2,63 (3UB) a 4,16 (5UB) na variável DAP, para altura variaram de 0,97 (1UB) a 2,49 (3UB) para as famílias 5 e 18 respectivamente (Tabela 7). Para o grupo B os tamanhos variaram de 2,88 (3UB) a 5,47 (6UB) para DAP e para altura variaram de 1,75 (2UB) a 5,22 (6UB), nas famílias 13 e 10 respectivamente.

Na variável volume (Tabela 7) a variação do tamanho de parcela no grupo A foi de 5,7 (6UB) a 10,01 (11UB), nas famílias 31 e 3. No grupo B foi de 3,54 (4UB) e 6,94 (7UB) nas famílias 11 e 29, respectivamente.

Zanon e Storck (1997) trabalharam com o tamanho de parcela em *Eucalyptus saligna* Smith pelo método de Pimentel Gomes, que considera para seus cálculos também a bordadura do experimento, a recomendação dos autores foi 81 UB para a variável Altura, 63 UB para DAP e 64 UB para Volume, valores superiores ao encontrado neste trabalho para todas as variáveis pelo método 2 e para Altura e DAP pelo método 1.

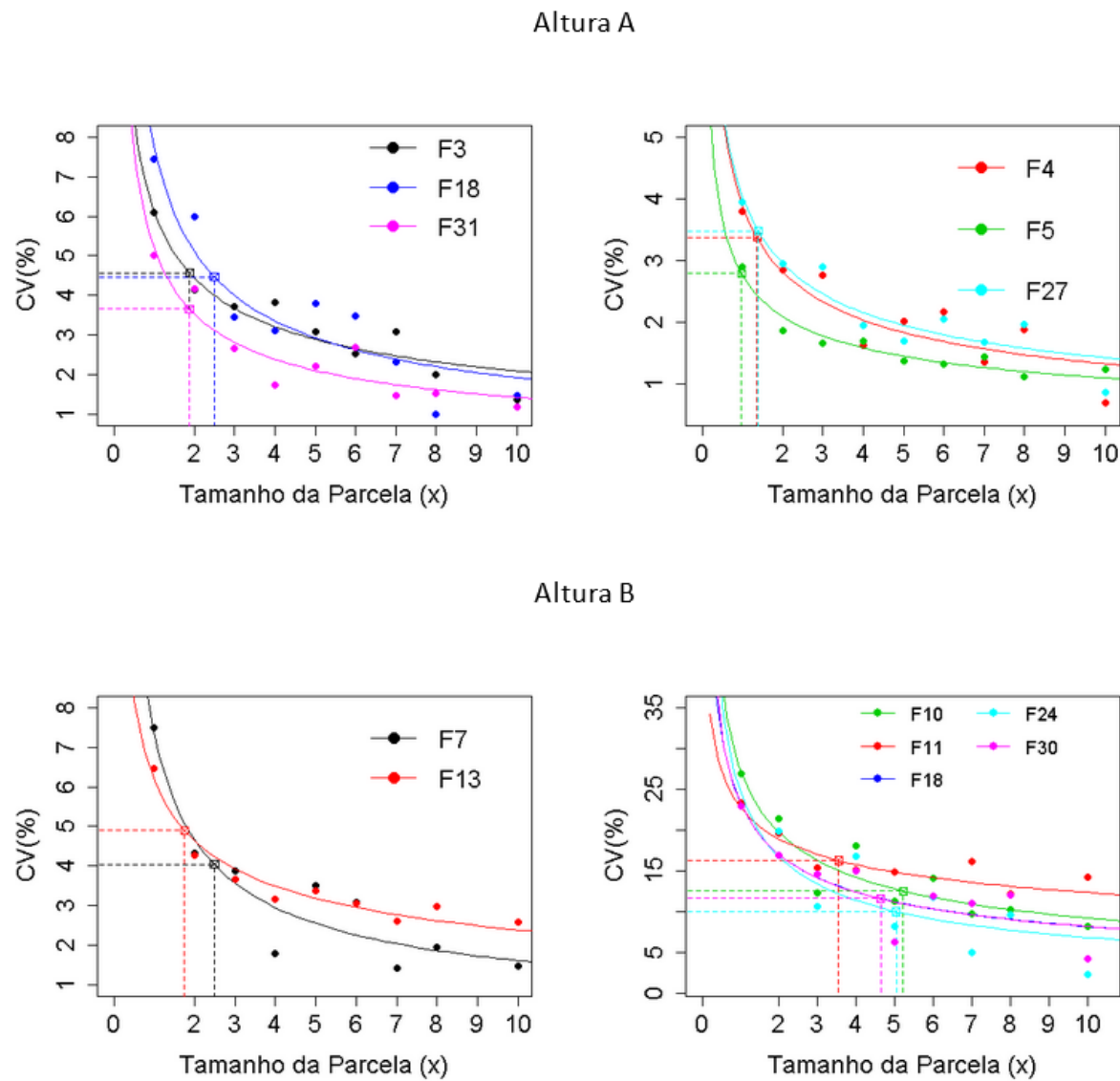
Zanon e Storck (2000) utilizaram o método de Pimentel Gomes em *Eucalyptus saligna* Smith, recomendam o tamanho de parcela de 6 UB para Altura, 4 UB para DAP e 10 UB para Volume, valores mais próximos aos encontrados neste trabalho, com exceção de Volume pelo método 2. Resultados estes similares aos encontrados por Silva *et al.* (2003) com testes clonais de eucalipto, sendo recomendado o tamanho de parcela de 3 UB para Altura, 4 UB para DAP e Volume.

Figura 2 - Visualização dos pontos de máxima curvatura dos grupos A e B para a variável DAP. As cores identificam as famílias escolhidas para cada grupo.



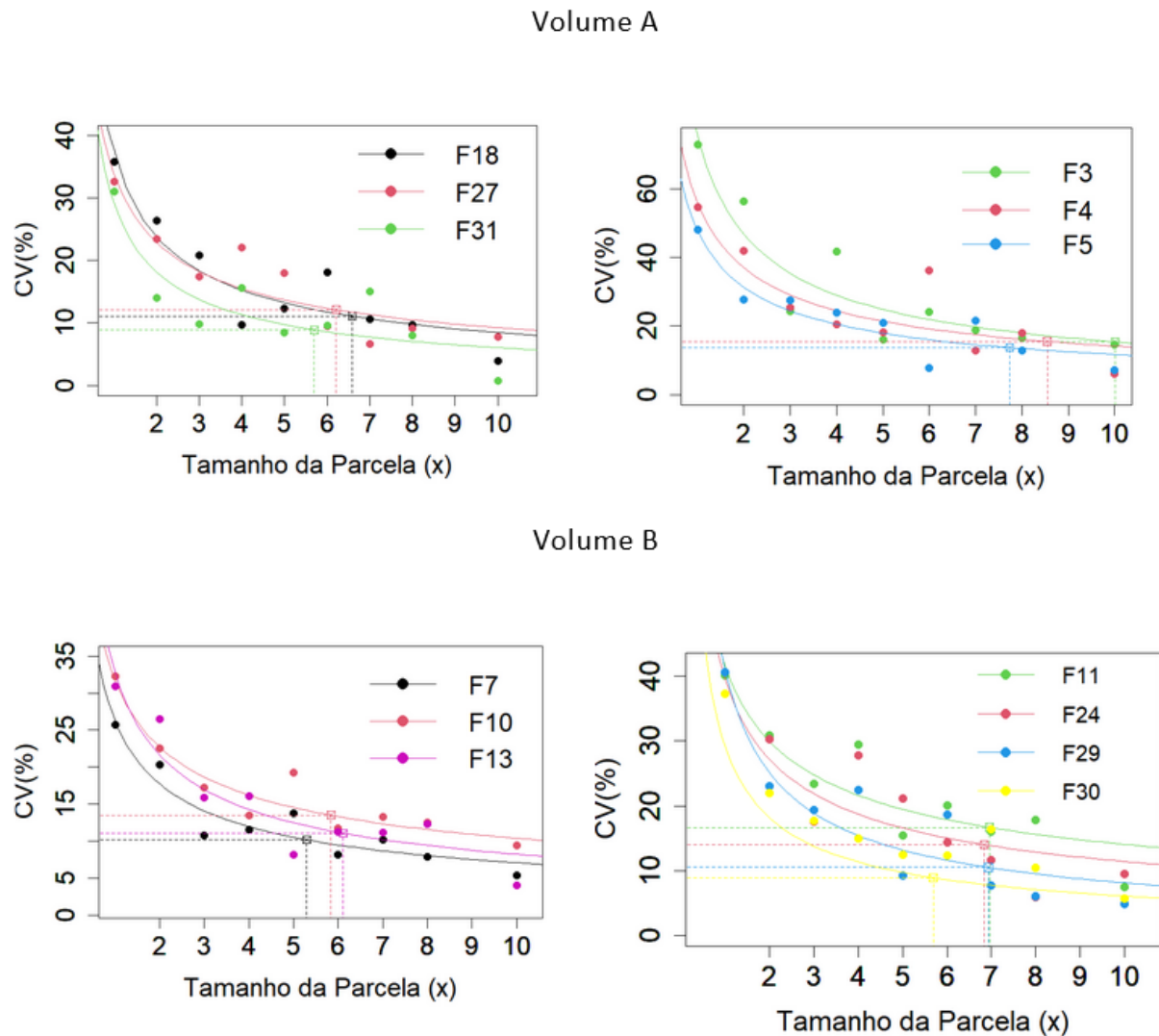
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 - Visualização dos pontos de máxima curvatura dos grupos A e B para a variável Altura. As cores identificam as famílias escolhidas para cada grupo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4 - Visualização dos pontos de máxima curvatura dos grupos A e B para a variável Volume. As cores identificam as famílias escolhidas para cada grupo



Fonte: Elaborado pelos autores.

O método 2 apresentou tamanhos de parcelas maiores de 7 UB para o estudo das três variáveis. Isso ocorre devido aos valores de CV encontrados para esse método. Tais resultados corroboram com o trabalho de Lopes *et al.* (2020) que recomenda o uso de 6 UB para eucalipto em casa de vegetação, bem como, pelo trabalho de Silva *et al.* (2003), onde é encontrado o valor de 5 UB para avaliar parâmetros gerais.

4.3 NÚMERO DE REPETIÇÕES

O número de repetições foi calculado baseado nos valores de Tamanho de Parcela encontrados anteriormente pela metodologia de Hatheway (Equação 4), utilizando dois métodos distintos para calcular: Método 3 - baseada na variação individual de cada família, com valor de CV_I e b por família, e, Método 4 - baseada em valores médios fixos de CV_I e $\hat{b}$ obtidos pela média dos valores encontrados em todas as famílias selecionadas, ambos em todas as variáveis analisadas.

4.3.1 Considerando TP, CV E b aleatório por família

Neste método, os parâmetros CV_I e $\hat{b}$, utilizados na equação 4, são de acordo com a simulação individual de cada família, dentre as escolhidas pelos dois métodos, conforme verificado nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

4.3.1.1 Considerando cada variável individualmente

Neste método, os parâmetros CV_I e b utilizados na equação 4, são variáveis de acordo com a simulação individual de cada família, dentre as escolhidas, considerando os limites superior e inferior e o valor mediano em cada agrupamento, para cada uma das variáveis individualmente, conforme item 4.2.1.

Pode-se verificar na Tabela 8, que as famílias com maior variação (CV_I) exigem tamanhos de parcelas maiores e consequentemente maior número de repetições, pois esta medida é dependente tanto do tamanho da parcela (equação 1) quanto do coeficiente de variação (equação 4).

Uma vez que esta variação citada é utilizada para calcular o tamanho de parcelas, pode-se dizer que ao utilizarmos a equação 1 já estamos avaliando a variação existente. Portanto, a metodologia proposta para avaliação individual por família, considerando os limites superiores e inferiores e a mediana das médias obtidas nas variáveis em estudo, vai gerar grande amplitude de valores, por usarmos extremos e por usarmos valores de CV distintos para cada família (Tabela 8).

O maior número de repetições encontrado (147) foi obtido para a variável volume na família 8B (Tabela 8) que apresentou o maior tamanho de parcela experimental (9 UB). Para esta variável o menor número de repetições (14) foi encontrado na família 7B, que foi

responsável pelo maior valor de repetições (14) na variável DAP. Nesta variável os menores números de repetições (5) ocorreram nas famílias 4A, 22A e 9B.

Tabela 8 - Número de repetições ideal para cada uma das famílias escolhidas a partir dos limites inferior e superior (Li e Ls) e mediana (Md), por grupo, para os caracteres (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume) em famílias transgênicas de *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade.

Variáveis	Grupo	Medida	Família	X_c	CV_1	$\hat{b}$	NR
Dap	A	Ls	4	3,00	10,80	0,57	5
		Md	18	4,00	18,72	0,49	13
		Li	22	2,85	10,16	0,53	5
	B	Ls	26	3,60	14,98	0,48	9
		Md	9	3,23	11,83	0,60	5
		Li	7	3,65	18,03	0,38	14
Altura	A	Ls	5	0,94	2,89	0,37	1
		Md	21	3,07	9,53	0,81	3
		Li	14	4,88	27,72	0,34	32
	B	Ls	30	3,70	22,91	0,28	26
		Md	24	4,65	22,94	0,47	18
		Li	13	2,36	6,47	0,76	2
Volume	A	Ls	5	7,86	48,17	0,55	52
		Md	27	5,44	32,62	0,33	43
		Li	31	6,03	31,02	0,67	21
	B	Ls	8	8,86	65,48	0,32	147
		Md	34	5,26	26,63	0,56	20
		Li	7	5,35	25,73	0,75	14

Nota: X_c : ponto de máxima curvatura; CV_1 : coeficiente de variância correspondente ao ponto de máxima curvatura calculado, NR: número de repetições, Li: limite inferior, Ls: limite superior, Md: Mediana.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por este método a amplitude do número de repetições mostra-se grande nas três variáveis (Tabela 8). A maior amplitude foi observada na variável volume, grupo B, com

amplitude de 133, entre a família 8 (147 repetições) e a família 7 (14 repetições), pelo método de Hatheway (1961). As outras variáveis apresentaram amplitudes menores.

Esse comportamento pode ser associado ao método de Hatheway (Equação 4), pois o número de repetições é diretamente proporcional ao TP e ao CV, ou seja, a variabilidade estará presente em duas estatísticas, justificando o aumento dos números de repetições nas famílias que apresentam os maiores CV e nas famílias que apresentam os maiores TP (Equação 1).

A partir do método de Hatheway (equação 4) o número de repetições recomendado é 9 (Tabela 8), valor superior aos indicados por Araújo (2015), com *Eucalyptus urograndis*, que recomendou três repetições, utilizando o método da máxima verossimilhança restrita (REML). Esses valores se aproximam dos encontrados nas variáveis DAP e Altura, levando em conta as famílias que apresentaram os menores CV (Tabela 8).

De Moraes (2014), também utilizou o método de Hatheway para a determinação do número de repetições para videiras, obtendo valores entre 4 e 6 repetições.

4.3.1.2 Considerando as famílias com mesma classificação para todas as variáveis

Neste método, os parâmetros CV_l e $\hat{b}$ utilizados na equação 4 são variáveis de acordo com a simulação individual de cada família, dentre as escolhidas considerando a mesma classificação por agrupamento para todas as variáveis, conforme verificado no item 4.2.2.

Apesar do número de repetições calculado por este método ter sido mais amplo do que o anterior, por utilizar um método de agrupamento para todas as variáveis, também foram utilizado os valores de TP e CV variáveis para o cálculo do número de repetições (equação 4). Portanto serão encontrados números de repetições distintos também entre tamanhos de parcelas próximos, pois o valor do CV irá interferir diretamente neste cálculo (Tabela 9).

O maior número de repetições encontrado (76) foi obtido para a variável volume na família 2A (Tabela 9) que apresentou o maior tamanho de parcela experimental (10 UB). Para esta variável o menor número de repetições (18) foi encontrado na família 7B. Para variável DAP o maior valor de repetições (20) ocorreu na família 10B, e o menor número de repetições (4) ocorreu na família 27A.

Tabela 9 - Número de repetições ideal para cada uma das famílias escolhidas a partir da mesma classificação para todas as variáveis, por grupo, para os caracteres (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume) em famílias transgênicas de *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade.

	DAP					Altura				Volume			
	Família	X_C	CV_1	$\hat{b}$	NR	X_C	CV_1	$\hat{b}$	NR	X_C	CV_1	$\hat{b}$	NR
A	3	3,45	15,93	0,42	11	1,88	6,10	0,47	2	10,01	72,98	0,69	76
	4	4,05	15,93	0,68	7	1,37	3,79	0,47	1	8,55	54,70	0,60	58
	5	2,63	10,81	0,43	6	0,97	2,90	0,40	1	7,73	48,18	0,61	47
	18	4,16	18,72	0,51	12	2,49	7,43	0,61	3	6,59	35,73	0,64	27
	27	2,67	9,47	0,49	4	1,39	3,94	0,45	1	6,21	32,62	0,56	27
	31	3,40	13,12	0,61	6	1,87	5,01	0,56	2	5,70	31,02	0,68	21
B	7	3,81	18,04	0,43	13	2,49	7,49	0,66	3	5,29	25,74	0,57	18
	10	5,47	27,64	0,58	20	5,22	26,84	0,47	24	5,84	32,26	0,49	31
	11	5,04	22,99	0,53	16	3,54	23,29	0,26	28	6,96	40,18	0,47	45
	13	2,88	14,61	0,36	11	1,75	6,47	0,41	3	6,11	30,90	0,60	23
	24	3,73	15,52	0,56	9	5,04	22,94	0,56	15	6,84	37,33	0,54	35
	29	4,75	20,99	0,62	12	4,64	22,91	0,45	19	6,94	40,65	0,70	30
	30	4,37	20,56	0,47	15	5,09	22,92	0,57	15	5,69	37,30	0,68	30

Nota: X_C : ponto de máxima curvatura; CV_1 : coeficiente de variância correspondente ao ponto de máxima curvatura calculado, NR: número de repetições.

Fonte: Elaborado pelos autores.

No grupo B (Tabela 8) observa-se a permanência de valores altos de CV, mesmo em um método de agrupamento diferente, podendo assim dizer que o método de Hatheway (1961) não apresenta resultados satisfatórios quando o conjunto de dados apresenta altos valores de CV.

Cargnelutti Filho *et al* (2022b), usou o método de Hatheway para a determinação do tamanho ótimo de parcelas utilizando simulações do número de repetições. O trabalho mostra que com o aumento do número de repetições os resultados tendem a aumentar o CV associado, uma vez que pode-se apresentar uma maior dispersão dos dados. Por outro lado, o método em questão pode ser recomendado quando se busca uma maior variabilidade genética. Para estudos de recombinação e seleção genética é interessante manter uma variabilidade alta, para não perder o tamanho efetivo de recombinações que podem ser feitas com o material (GUERRA, 2009).

4.3.2 Considerando tp variável por família, CV_1 E $\hat{b}$ fixos

Uma vez que pelo método convencional (4.3.1.1) foi encontrada uma ampla variabilidade para os números de repetições em relação ao tamanho de parcelas ideal para cada

família, foi proposta uma metodologia para que a variabilidade existente entre as famílias não interferisse no cálculo do número de repetições.

4.3.2.1 Considerando cada variável individualmente

Neste método, os parâmetros CV_1 e $\hat{b}$ utilizados na equação 4 são variáveis de acordo com a simulação individual de cada família, dentre as escolhidas considerando os limites superior e inferior e o valor mediano em cada agrupamento para cada uma das variáveis individualmente, conforme verificado nos itens 4.2.1.

Neste método para calcular o NR (equação 4) foram utilizados valores variáveis de TP (equação 1) de acordo com as variações (equação 2) encontradas em cada família, dentre as escolhidas considerando os limites superior e inferior e o valor mediano em cada agrupamento para cada uma das variáveis individualmente (4.3.1.1), mas os valores de CV_1 e $\hat{b}$ foram fixos por variável, sendo este valor determinado pela média da variação entre as famílias por variável.

Para a variável DAP os valores obtidos para CV_1 e $\hat{b}$ foram de 14,09 e 0,51; para Altura foram utilizados 15,41 e 0,50; e para Volume foram utilizados 38,27 e 0,53; respectivamente. Os menores valores para NR foram encontrados na variável DAP, a amplitude de variação entre o menor (7) e o maior valor (9), famílias 18A e 22A respectivamente, foi de 2 unidades. Para Altura a amplitude de valores de NR foi de 10 unidades, sendo menor valor 8 (famílias 14A e 24B) e o maior valor 18 para a família 5A. A variável volume apresentou os maiores valores para NR sendo que o menor valor obtido foi de 32 (família 8B) e o maior valor foi 65 (família 5A).

Tabela 10 - Número de repetições ideal baseado em valores médios fixos do coeficiente de variação correspondente ao ponto de máxima curvatura (CV_I) e $\hat{b}$ para cada uma das famílias escolhidas a partir dos limites (Li e Ls) e mediana (Md), por grupo, para os caracteres (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume), em famílias transgênicas de *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade.

Variáveis	Grupo	Medidas	Família	X_c	NR
Dap	A	Ls	4	3,00	8
		Md	18	4,00	7
		Li	22	2,85	9
	B	Ls	26	3,60	8
		Md	9	3,23	8
		Li	7	3,65	8
Altura	A	Ls	5	0,94	18
		Md	21	3,07	10
		Li	14	4,88	8
	B	Ls	30	3,70	9
		Md	24	4,65	8
		Li	13	2,36	11
Volume	A	Ls	5	7,86	65
		Md	27	5,44	42
		Li	31	6,03	40
	B	Ls	8	8,86	32
		Md	34	5,26	43
		Li	7	5,35	42

Nota: X_c : ponto de máxima curvatura, NR: número de repetições, Li: limite inferior, Ls: limite superior, Md: Mediana.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a metodologia 1 o número de repetições na variável Volume (Tabela 10) encontra-se muito superior ao obtido por Araújo *et al.* (2015), que recomenda o uso do tamanho de parcela de 6 UB e 3 repetições. Tais diferenças podem ser associadas aos altos CV encontrados na variável Volume, já as demais variáveis mostraram o número de repetições abaixo, juntamente com o CV relacionado.

Pode ser observado na Figura 4 e Tabela 10 que os valores de CV são discrepantes, o que influencia diretamente no cálculo do número de repetições, ressaltando que o número de repetições é diretamente proporcional ao CV pelo método de Hatheway. Desta forma, se observa a diferença entre os demais trabalhos citados acima. Os altos valores de CV também podem ser relacionados aos eventos de transgenia que influenciam cada família de forma diferente, acarretando uma maior variabilidade.

Em outras culturas (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2022a, CARGNELUTTI FILHO *et al.* 2022b) que utilizam o quadrado médio e modelagem matemática, para a obtenção do número

de repetições, foram encontrados valores menores, o que pode decorrer do fato que os métodos aplicados não dependem diretamente do CV atrelado ao experimento.

4.3.2.2 Considerando as famílias com a mesma classificação para todas as variáveis

Neste método para calcular o NR (equação 4) foram utilizados valores variáveis de TP (equação 1) de acordo com as variações (equação 2) encontradas em cada família, considerando a mesma classificação por agrupamento para todas as variáveis (4.2.2), mas os valores de CV_1 e $\hat{b}$ foram fixos por variável, sendo este valor determinado pela média da variação entre as famílias por variável.

Para a variável DAP os valores encontrados para CV_1 e $\hat{b}$ foram 17,26 e 0,51; para Altura foram utilizados 12,46 e 0,49; e para Volume foram utilizados 39,97 e 0,60; respectivamente. Para DAP a amplitude de valores de NR foi de 4 unidades, sendo menor valor 9 (família 10B) e o maior valor 13 para as famílias 5A, 27A e 13B (APÊNDICE A). Os menores valores para NR foram encontrados na variável Altura, com amplitude de variação 7 sendo o menor 5 (progênie 10 B, 24 B e 30 B) e o maior valor 12, progênie 5A. A variável volume apresentou os maiores valores para NR, sendo que o menor valor obtido foi de 28 (família 3A) e o maior valor foi 41 (família 7B), com uma amplitude de 13, valor inferior a amplitude de 25 unidade encontrada pelo método anterior para a mesma variável (Tabela 9).

Tabela 11 - Número de repetições ideal baseado em valores médios fixos do coeficiente de variação correspondente ao ponto de máxima curvatura (CV_1) e $\hat{b}$ para as famílias escolhidas a partir da mesma classificação para todas as variáveis, por grupo, para os caracteres (Diâmetro a altura do peito (DAP), altura comercial do fuste (Altura) e volume comercial (Volume) em famílias transgênicas de um c *E. urograndis* em Paranapanema – SP aos 75 meses de idade.

	Família	DAP		Altura		Volume	
		X_c	NR	X_c	NR	X_c	NR
A	3	3,45	11	1,88	8	10,01	28
	4	4,05	11	1,37	10	8,55	31
	5	2,63	13	0,97	12	7,73	33
	18	4,16	10	2,49	7	6,59	36
	27	2,67	13	1,39	10	6,21	38
	31	3,40	12	1,87	9	5,70	40
B	7	3,81	11	2,49	7	5,29	41
	10	5,47	9	5,22	5	5,84	39
	11	5,04	10	3,54	6	6,96	35
	13	2,88	13	1,75	9	6,11	38
	24	3,73	11	5,04	5	6,84	36
	29	4,75	10	4,64	6	6,94	35
	30	4,37	10	5,09	5	5,69	40

Nota: NR: número de repetições

X_c : ponto de máxima curvatura, NR: número de repetições.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O número de repetições no método 1 foi significativamente maior se comparado ao método 2. Um dos resultados em destaque foi o da família 8 na variável Volume, que apresentou como resultado o número de repetições de 147 quando utilizadas 8 UB. Tal resultado se deve ao CV de 65,48% (Tabela 8), o maior encontrado neste trabalho.

Conforme explicado anteriormente, por este método os valores de TP, CV e $\hat{b}$ são independentes, ou seja, nele as variações diretas de TP e CV influenciam diretamente o NR pelo método de Hatheway, de forma que quando utilizadas seis parcelas, o número de repetições recomendado diminuiria para 21 (Tabela 8). As outras variáveis apresentam CV menores, consequentemente tamanhos de parcelas menores.

Esses resultados sugerem que o número efetivo de árvores necessárias para realizar este experimento poderia ser diminuído consideravelmente, conservando a precisão do experimento. Esses resultados corroboram com os encontrados por Lopes *et al.* (2021), apesar dos autores terem trabalhado com eucalipto em casa de vegetação, recomendaram 6 UB para altura e 4 UB para diâmetro, o que mostra resultados aproximados com este trabalho, uma vez que para DAP e Altura foi indicado 5 UB por parcela.

Em outras culturas, diversos autores (Lopes *et al.*, 2021; Faria *et al.*, 2020; e Faria *et al.*, 2020), escolheram o método da máxima curvatura para determinação do tamanho de parcela, mostrando assim sua eficácia de tamanho de parcela.

Não foram encontrados trabalhos para determinar o tamanho ideal de parcelas com transgênicos, o que torna este estudo muito importante para nortear o pesquisador. Mas, tendo em vista que faltam resultados nessa área e a grande variabilidade de material genético existente, tornam-se necessários novos estudos, que permitam novas amostragens, para que sejam obtidos resultados comparativos e que produzam resultados que englobam outras variáveis de interesse aos pesquisadores.

5 CONCLUSÃO

Para trabalhos que objetivem variáveis individualmente, o TP ideal é 3 UB para DAP e Altura, e, 6 UB para Volume.

Para trabalhos que objetivem avaliar as variáveis de modo conjunto, o ideal são 7 UB.

O NR ideal para trabalhos que objetivem variáveis individualmente, considerando TP ideal de 3 UB para DAP e Altura, e, 6UB para Volume, é de 9 repetições para DAP e 11 repetições para Altura e 43 repetições para volume.

O NR ideal para trabalhos que objetivem avaliar as variáveis de modo conjunto, é de 35 repetições.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando o trabalho tem como objetivo o estudo das variáveis DAP e Altura o tamanho ótimo da parcela é de 3 unidades básicas pelo método da máxima curvatura modificado. Já para análise da variável volume o tamanho ótimo de parcela é de 6 unidades, também pelo método da máxima curvatura modificado. Tais resultados decorrem dos CV baixos encontrados quando utilizados as famílias consideradas pelos limites superiores, inferiores e mediana (Método 1).

Por outro lado, quando a necessidade de avaliação são as três variáveis, DAP, Altura e Volume em conjunto, o tamanho ótimo de parcela é de 7 unidades básicas, utilizando o teste de Scott-Knott onde as famílias obtiveram a mesma classificação (Método 2).

Deste modo, ao comparar as metodologias apresentadas no trabalho, verifica-se que o Método 1 forneceu os melhores ajustes aos dados, uma vez que os R^2 encontrados são superiores a 82%. No Método 2 os valores também se ajustaram bem, mas com menor eficácia, já que os valores são superiores a 74%. Assim, o Método 1 é mais vantajosa, diante dos melhores ajustes obtidos, ainda que mais trabalhosa de ser realizada.

O número de repetições para variáveis estudadas individualmente, conforme a metodologia 1 e tamanhos ótimos acima mencionados (3 UB para DAP e Altura, 6 UB para volume), resultou em 9 repetições para DAP, 11 repetições para altura e 43 repetições para Volume. Já para a metodologia 2, destinada para todas as variáveis em conjunto, obteve-se o número de repetições de 35.

O método da máxima curvatura modificado mostrou ajustar-se bem ao conjunto de dados, sendo um método versátil, que pode ser aplicado à diferentes situações de pesquisa e culturas diversificadas.

Para o cálculo de número de repetições a partir do tamanho ótimo de parcelas, como sugere o método de Hatheway, não devem ser utilizados coeficientes distintos para CV e b , pois a variabilidade estará sendo aplicada às equações. Com isso, o método de Hatheway não é recomendado para trabalhos com altos CV e $\hat{b}$.

A utilização do método de Hatheway, necessita de um estudo prévio de CV, uma vez que o número de repetições tende aumentar juntamente com o CV, já que a equação coloca o número de repetições diretamente proporcional ao coeficiente de variação.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Fabíola Oliveira Lino de *et al.* Constituintes químicos e efeito ecotoxicológico do óleo volátil de folhas de *Eucalyptus urograndis* (Mirtaceae). **Química Nova**, São Paulo, v. 33, p. 1510-1513, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700016>. Acesso em: 25 out. 2022.

ARAÚJO, Márcio José de *et al.* Número de repetições, de plantas por parcela e de avaliações para testes clonais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, p. 923-931, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001000008>. Acesso em: 15 jun. 2020.

BORÉM, Aluizio; MIRANDA, Glaucio V.; FRITSCHÉ-NETO, Roberto. **Melhoramento de plantas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

BRITO, Márcio *et al.* Avaliação do desempenho do algoritmo de reamostragem bootstrap na verificação da estimação do tamanho ótimo da parcela (pp. 255-259). **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, Ouro Preto, v. 3, n. 3, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufop.br/>. Acesso em: 27 dez. 2022.

BRITO, Márcio Cláudio Mercês *et al.* Estimação do tamanho ótimo de parcela via regressão antitônica. **Revista Brasileira de Biometria**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 353-366, 2012. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v30/v30_n3/A4_Marcio.pdf. Acesso em: 03 maio 2022.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto; STORCK, Lindolfo; DAL'COL LÚCIO, Alessandro. Identificação de variáveis causadoras de erro experimental na variável rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 707-713, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300009>. Acesso em: 15 fev. 2022.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto; STORCK, Lindolfo. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 17-24, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000100003>. Acesso em: 22 set. 2022.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto; RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo; STORCK, Lindolfo. Número de repetições para a comparação de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 2419-2424, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000900006>. Acesso em: 18 abr. 2021.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto; RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo. Número de repetições para avaliação de caracteres de produção, fenologia e morfologia de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, p. 2446-2453, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010001200002>. Acesso em: 15 nov. 2021.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, p. 336-343, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000300004>. Acesso em: 15 nov. 2021.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* Tamanho de Parcela e número de repetições em feijão de porco. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, p. 2142-2150, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140317>. Acesso em: 05 jan. 2023.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* Tamanho de parcela e número de repetições em ervilha forrageira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, p. 1174-1182, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141043>. Acesso em: 05 jan. 2023.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* Tamanho de unidades experimentais básicas e tamanho ótimo de parcelas para nabo-forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, p. 309-319, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000400003>. Acesso em: 16 nov. 2021.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* Dimensionamento Amostral para Avaliação de Altura e Diâmetro de Plantas de Timbaúva. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 25, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.121314>. Acesso em: 15 nov. 2021.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* Plot size, number of treatments and replicates and experimental precision in buckwheat. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, p. 1131-1139, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n428rc>. Acesso em 16 mar. 2022.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* Optimal plot size in forage sorghum with comparison of the methods of modified maximum curvature, linear response and plateau model and quadratic response and plateau model. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 18, n. 3, p. 24-33, 2022a. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/4227> . Acesso em: 05 jan. 2023.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* Comparação de métodos de estimação do tamanho ótimo de parcela em sorgo e crotalaria spectabilis. **Agrarian**, Dourados, v. 15, n. 55, p. e15207-e15207, 2022b. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/15207>. Acesso em: 05 jan. 2023.

CHAVES, Gabriela Görgen *et al.* Tamanho de parcela e número de repetições para avaliação de caracteres vegetativos em centeio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1-11, 2018. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v13i3a5563>. Acesso em 01 jan. 2023.

CONRADO, Thiago Vincenzi *et al.* Adjusting the Scott-Knott cluster analyses for unbalanced designs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 17, p. 1-9, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n1a1>. Acesso em: 09 jan. 2023.

COSTA, G. G. O. Estimativa bootstrap para o envezamento, erro padrão e intervalo de confiança do coeficiente de elasticidade da curva de Pareto. **Revista GEPROS Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, [s. l.], n. 1, p. 67-82, 2011. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/869>. Acesso em: 25 nov. 2022.

CRUZ, Cosme Damião. **Programa Genes: biometria**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006, v.1, 382 p.

DA SILVA, Davi Francisco *et al.* Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13172>. Acesso em: 10 jan. 2023.

DE ASSIS, Teotônio Francisco; ABAD, Júpiter Israel Muro; AGUIAR, Aurélio Mendes. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, p. 32-51, 1996. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2005_Melhoramento+Genetico+Eucalipto.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

DE MEDEIROS SILVA, William *et al.* Influência do tamanho de parcelas experimentais na seleção de progêies de *E. camaldulensis* Dehnh. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, p. 979-986, 2016.

DE MORAIS, Augusto Ramalho *et al.* Estimação do tamanho de parcela para experimento com cultura de tecidos em videira. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 113-123, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744139009.pdf>. Acesso em: 08 maio 2022.

DIAS, Kaio Olímpio das Graças *et al.* Tamanho de parcela e efeito de bordadura no melhoramento de *Urochloa ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, p. 1426-1431, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001100002>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues *et al.* Estimativas de tamanho de parcelas para avaliação de descritores fenotípicos em bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 957-969, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800003>. Acesso em 23 set. 2022.

DUARTE, João Batista. **Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal**. 2000. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-28022002-100846/en.php>. Acesso em: 08 mar. 2022.

EFRON, Bradley. **The jackknife, the bootstrap and other resampling plans**. Society for industrial and applied mathematics, 1982. Disponível em: <https://epUBs.siam.org/doi/pdf/10.1137/1.9781611970319.fm>. Acesso em: 20 jan. 2022.

ELIAS, Haroldo Tavares *et al.* Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1443-1449, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X200700100001>. Acesso em: 22 nov. 2022.

ELLIS, TH Noel *et al.* Mendel, 150 years on. **Trends in plant science**, Oxford, v. 16, n. 11, p. 590-596, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.06.006>. Acesso em: 10 abr. 2022.

FARIA, Glaucia Amorim *et al.* Tamanho de parcela experimental em maracujá. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 42, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452020125>. Acesso em: 30 ago. 2021.

FISHER, Ronald A. **The design of experiments**. [S. l.: s. n.], 1949.

GRILL, Jean-Bastien *et al.* Bootstrap your own latent-a new approach to self-supervised learning. **Advances in neural information processing systems**, San Mateo, v. 33, p. 21271-21284, 2020. Disponível em: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/f3ada80d5c4ee70142b17b8192b2958e-Abstract.html>. Acesso em: 10 jan. 2022.

HATHEWAY, W. H. Convenient plot size. **Agronomy Journal**, Madison, v. 53, n. 4, p. 279-280, 1961. Acesso em: 19 out. 2021.

HESTERBERG, Tim. Bootstrap. **Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics**, Hoboken, v. 3, n. 6, p. 497-526, 2011. Disponível em: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wics.182>. Acesso em: 09 fev. 2022.

HOLTZ, Anderson Mathias *et al.* Adaptação de *Thyrinteina arnobia* em novo hospedeiro e defesa induzida por herbívoros em eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 453-458, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000400002>. Acesso em: 8 out. 2022.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Anual IBÁ 2021**. Disponível em <https://www.iba.org/publicacoes/relatorios>. Acesso em: 15 dez. 2022.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Anual IBÁ 2022**. Disponível em <https://www.iba.org/publicacoes/relatorios>. Acesso em: 04 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura de 1986 a 2021**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=774>. Acesso em: 10 jan. 2023.

KRAUSE, Willian *et al.* Ganho de seleção no melhoramento genético intrapopulacional do maracujazeiro-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, p. 51-57, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100008>. Acesso em: 15 fev. 2022.

LEITE, Raquel Crosara Maia; FERRARI, Nadir; DELIZOICOV, Demétrio. A história das leis de Mendel na perspectiva fleckiana. **Revista brasileira de pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4175>. Acesso em: 15 maio 2022.

LESSMAN, K. J.; ATKINS, R. E. Optimum Plot Size and Relative Efficiency of Lattice Designs for Grain Sorghum Yield Tests 1. **Crop science**, Madison, v. 3, n. 6, p. 477-481, 1963. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci1963.0011183X000300060006x>. Acesso em: 10 mar. 2022.

LOPES, Beatriz Garcia *et al.* Calculation of the ideal plot size for experiments using eucalyptus. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, n. 8, p. e565985712, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5712>. Acesso em: 09 fev. 2022.

LOPES, Beatriz Garcia *et al.* Classification of the coefficient of variation for experiments with eucalyptus seedlings in greenhouse. **Revista Ciência Agronômica**, Itabira, v. 52, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210050>. Acesso em: 02 jun. 2022.

LÚCIO, Alessandro Dal'col; STORCK, Lindolfo. O manejo das culturas interfere no erro experimental. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 311-316, 1999. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/400>. Acesso em: 23 fev. 2022.

MARTINEZ-ESPINOSA, Mariano; SANDANIELO, Vera Lúcia Martins; LOUZADA-NETO, Francisco. O método de bootstrap para o estudo de dados de fadiga dos materiais. **Revista de Matemática e Estatística**, Marília, v. 2, p. 41-54, 2006. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v24/v24_n2/A3_Mariano_Louzada.pdf. Acesso: 15 mar. 2022.

MARTINI, Augusto Jeronimo. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 2004. Dissertação (Mestrado em História Social) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8138/tde-04062004-231644/es.php>. Acesso em: 01 abr. 2022.

MARTINS, Cibele Chalita *et al.* Metodologia para seleção de linhagens de soja visando germinação, vigor e emergência em campo. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 47, p. 455-461, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160055>. Acesso em: 25 maio 2022.

MARQUES, Rui C.; SILVA, Duarte. Inferência estatística dos estimadores de eficiência obtidos com a técnica fronteira não paramétrica de DEA: uma metodologia de Bootstrap. **Investigação Operacional**, Lisboa, v. 26, n. 1, p. 89-110, 2006. Disponível em: <http://apdio.pt/documents/10180/15548/n5.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2021.

MUNIZ, Joel Augusto *et al.* Estudo do tamanho de parcelas experimentais em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill, usando parcelas lineares. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 33, p. 1002-1010, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000400009>. Acesso em: 01 maio 2021

PARANAÍBA, Patrícia Ferreira; FERREIRA, Daniel Furtado; DE MORAIS, Augusto Ramalho. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. **Revista Brasileira de Biometria**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 255-268, 2009a. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v27/v27_n2/Patricia.pdf. Acesso em: 08 out. 2022.

PARANAÍBA, P. F.; MORAIS, AR de; FERREIRA, D. F. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: comparação de métodos em experimentos de trigo e mandioca. **Revista Brasileira de Biometria**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 81-90, 2009b. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v27/v27_n1/A6_Patricia.pdf. Acesso em: 08 out. 2022.

PAULA, Rinaldo Cesar de *et al.* Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 159-165, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000200007>. Acesso em: 20 out. 2022.

PEIXOTO, Ana Patricia Bastos; FARIA, Gláucia Amorim; MORAIS, Augusto Ramalho de. Modelos de regressão com platô na estimativa do tamanho de parcelas em experimento de conservação in vitro de maracujazeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 1907-1913, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011001100010>. Acesso em: 30 out. 2022.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PINTO JUNIOR, J. E. *et al.* **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

RANGEL, Paulo Hideo Nakano *et al.* Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Meio-Norte do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 1595-1604, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000800012>. Acesso em: 08 dez. 2022.

SANTOS, Ana *et al.* Tamanho ótimo de parcela para a cultura de girassol em três arranjos espaciais de plantas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, p. 265-273, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n430rc>. Acesso em: 03 nov. 2022.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **International Biometric Society**, [s. l.], v. 30, p. 507-512, 1974. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2529204>. Acesso em: 08/01/2022.

SILVA, Rogério Luiz da. **Influência do tamanho da parcela experimental em testes clonais de eucalipto**. 2001. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11193>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SILVA, Rogério Luiz da *et al.* Determinação do tamanho ótimo da parcela experimental pelos métodos da máxima curvatura modificado, do coeficiente de correlação intraclasse e da análise visual em testes clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, p. 669-676, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000500009>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SOARES, Vássia Carvalho *et al.* Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, p. 543-549, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300017>. Acesso em: 15 dez. 2022.

STORCK, LINDOLFO *et al.* Tamanho ótimo de parcela em experimentos com milho relacionado a metodologias. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 01, 2006. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/169>. Acesso em: 02 dez. 2022.

STORCK, Lindolfo *et al.* Método de Papadakis e número de repetições em experimentos de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 977-982, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000027>. Acesso em: 14 dez. 2022.

SOUSA, Roberto Pequeno de; SILVA, Paulo Sérgio Lima; ASSIS, Janilson Pinheiro de. Tamanho e forma de parcelas para experimentos com girassol. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 47, p. 683-690, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160082>. Acesso em: 17 nov. 2022.

TIMPANI, Vivian Dagnesi; DO NASCIMENTO, Thialla Emille Costa. Uma Breve Introdução à Estatística Bayesiana Aplicada ao Melhoramento Genético Animal. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/33888466.pdf>. Acesso em: 27 out. 2022.

TOEBE, Marcos *et al.* Tamanho de amostra para estimação da média e do coeficiente de variação em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, p. 860-871, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100005>. Acesso em: 10 out. 2022.

TSUTSUMI, Claudio Yuji; BULEGON, Lucas Guilherme; PIANO, Jeferson Tiago. Melhoramento genético do feijoeiro, avanços, perspectivas e novos estudos. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 3, p. 217-223, 2015. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/2208>. Acesso em: 12 out. 2022.

TORRES, Francisco Eduardo *et al.* Número de repetições para avaliação de caracteres em genótipos de feijão-caupi. **Bragantia**, Campinas, v. 74, p. 161-168, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0393>. Acesso em: 11 out. 2022.

VARGAS-ROJAS, Jorge Claudio; NAVARRO-FLORES, Juan Ramón. Determinación de un tamaño adecuado de unidad experimental, utilizando el método de curvatura máxima, para ensayos de arroz (*Oryza sativa*), en Bagaces, Guanacaste. **InterSedes**, San Jose, v. 15, n. 31, p. 128-144, 2014. Acesso em: 11 nov. 2022.

VENTURA, José Aires. A engenharia genética como ferramenta no melhoramento de plantas. *In*: MARTINS, D. dos S.; DADALTO, G. G. (ed.). **III Simpósio "A agropecuária capixaba no limiar do século XXI: ameaças e oportunidades"**. Palestras, painéis e debates. Vitória, ES: SEEA, 13 de outubro de 2015. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/2374>. Acesso em: 10 nov. 2022.

WENDLING, Ivar *et al.* Produção de mudas de eucalipto. *In*: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E (ed.). **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 22., 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1131901>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ZANON, Magda Lea Bolzan; STORCK, Lindolfo. Tamanho de parcelas experimentais para *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, p. 589-593, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781997000400011>. Acesso em 02 dez. 2022.

ZANON, Magda Lea B.; STORCK, Lindolfo. OPTIMAL SIZE OF EXPERIMENTAL PLOTS FOR *Eucalyptus saligna* SMITH IN TWO PERIOD OF DEVELOPMENT. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 104-111, 2000. Disponível em: <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/507>. Acesso em: 29 nov. 2022.

APÊNDICE A - COEFICIENTES DE VARIAÇÃO (CV(%)) DE FAMÍLIAS TRANSGÊNICAS DE UM CLONE *E. UROGRANDIS* EM PARANAPANEMA - SP AOS 75 MESES DE IDADE.

Família	DAP	ALT	VD
	CV(%)		
1	20,30	22,87	58,53
2	26,15	8,34	35,37
3	15,92	6,09	72,98
4	10,8	3,78	54,70
5	7,76	2,89	48,17
6	17,61	9,20	47,17
7	18,03	7,48	25,73
8	14,26	3,74	65,48
9	11,83	5,01	43,41
10	27,64	26,84	32,26
11	22,99	23,29	40,17
12	25,62	17,15	53,41
13	14,60	6,47	30,90
14	26,00	27,72	35,38
15	15,42	9,62	25,98
16	15,65	6,67	29,06
17	16,45	5,90	26,00
18	18,72	7,42	35,73
19	18,47	7,01	41,57
20	22,93	14,64	44,86
21	18,34	9,53	40,16
22	10,16	4,06	45,03
23	15,52	6,96	39,67
24	20,00	22,94	37,33
25	15,12	5,41	41,35

Família	DAP	ALT	VD
	CV(%)		
26	14,98	6,39	45,96
27	9,46	3,93	32,62
28	12,98	5,50	48,48
29	20,99	22,91	40,64
30	20,55	22,91	37,29
31	13,11	5,01	31,02
32	18,97	9,61	29,14
33	13,18	4,95	29,87
34	20,39	13,55	26,63

Fonte: Elaborado pelos autores.

DAP - diâmetro da altura do peito, Alt - altura, VD - volume indireto em m³.

APÊNDICE B - TABELA DE INTERVALO DE CONFIANÇA PARA OS PARÂMETROS $\hat{a}$ E $\hat{b}$, JUNTAMENTE COM O LIMITE

Var	Gru po	Família	$\hat{a}$	IC	$\hat{b}$	IC
Dap	A	4	10,7388	[8,3991;13,1438]	0,5775	[0,3773;0,7907]
		18	18,0470	[14,9527;21,2150]	0,4939	[0,3447;0,6465]
		22	10,3721	[9,2646;11,4951]	0,5327	[0,4385;0,6288]
	B	26	15,5749	[12,9411;18,2752]	0,4847	[0,3409;0,6318]
		9	11,8280	[8,8138;14,9437]	0,6054	[0,3679;0,8647]
		7	18,2029	[16,5307;19,8997]	0,3834	[0,3106;0,4562]
Altura	A	5	2,9104	[2,5602;3,2675]	0,3714	[0,2764;0,4662]
		21	9,7819	[8,2234;11,3620]	0,8105	[0,6347;1,0072]
		14	28,8883	[24,3397;33,5620]	0,3441	[0,2215;0,4655]
	B	30	22,5377	[19,4096;25,7467]	0,2885	[0,1838;0,3915]
		24	22,9633	[19,0136;27,0030]	0,4730	[0,3251;0,6235]
		13	6,2627	[5,0664;7,4798]	0,7646	[0,5585;0,9985]
Volume	A	5	48,9382	[42,0827;55,9133]	0,5557	[0,4292;0,6865]
		27	33,8035	[29,5515;38,1492]	0,3372	[0,2402;0,4333]
		31	32,1214	[25,9691;38,4113]	0,6710	[0,4850;0,8736]
	B	8	65,4715	[57,9382;73,1498]	0,3287	[0,2399;0,4166]
		34	26,1441	[22,8293;29,5116]	0,5615	[0,4462;0,6805]
		7	26,4014	[23,3131;29,5253]	0,7544	[0,6313;0,8862]

Fonte: Elaborado pelos autores.