



LUCAS VIEIRA DOS SANTOS

**SELEÇÃO GENÉTICA DE PROGÊNIES DE *Pinus elliottii* NA
REGIÃO SUL DE MINAS**

**LAVRAS – MG
2022**

LUCAS VIEIRA DOS SANTOS

**SELEÇÃO GENÉTICA DE PROGÊNIES DE *Pinus elliottii* NA
REGIÃO SUL DE MINAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Orientador
Me. Lavínia Barbosa Oliveira
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2022**

LUCAS VIEIRA DOS SANTOS

**SELEÇÃO GENÉTICA DE PROGÊNIES DE *Pinus elliottii* NA REGIÃO SUL DE
MINAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 08 de setembro de 2022.

Dr. Lucas Amaral de Melo

Me. Lavínia Barbosa Oliveira

Me. Rodolfo Soares de Almeida

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo

Orientador

Me. Lavínia Barbosa Oliveira

Coorientadora

**LAVRAS – MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, como homem de fé que sou, agradeço a Deus e Nossa Senhora Aparecida por ter me abençoado com saúde e resiliência para seguir em frente em meio a tantos momentos difíceis durante este período.

Aos meus pais, Artur Carlos Vieira dos Santos e Márcia Evangelista dos Santos, por todo apoio, paciência e incentivos, além de todo esforço financeiro e por cuidar tão bem do meu filho Enzo Emanuel Gomes Vieira durante o meu período enquanto acadêmico, por quase dez anos. Vocês são responsáveis por essa conquista.

Ao meu filho Enzo Emanuel e a minha noiva e companheira Fábria Castro, por toda a compreensão e carinho nos momentos em que mais precisei. Foi e sempre será por vocês.

Às minhas professoras e amigas que fizeram parte da minha formação como Técnico em Florestas, Ana Catarina Mori e Glauciana da Mata Ataíde, responsáveis por despertar em mim o sonho (agora próximo de se realizar) de um dia me tornar engenheiro florestal.

Agradeço a todos os colegas de Universidade e especialmente, aqueles do Laboratório de Estudos em Silvicultura e Restauração Florestal, em especial, Rodolfo Soares de Almeida, Anatoly Queiroz Abreu Torres, José Pedro de Oliveira, dentre tantos outros, os quais foram fundamentais em minha formação técnica e ajudaram em cada experimento e pesquisas realizadas, gerando retorno para sociedade.

Ao orientador e amigo professor Dr. Lucas Amaral de Melo pela amizade, conselhos, por toda a orientação e oportunidades que me foram concedidas por meio da sua generosidade.

À coorientadora Lavínia Barbosa, por toda a dedicação e empenho para que este trabalho fosse realizado da melhor maneira possível.

Ao Sr. Generci Assis Neves e a empresa Resineves Agroflorestal pela oportunidade de participar deste projeto de pesquisa durante todo o meu período enquanto discente da Universidade Federal de Lavras. Estendo este agradecimento ao seu funcionário Denilson, sempre prestativo e disposto a ensinar com maestria como executar implantação e condução de projetos florestais com qualidade.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de ser bolsista do programa PIBIC UFLA durante quatro anos e a todos aqueles que fizeram parte dessa jornada.

RESUMO

O *Pinus* é o segundo gênero de maior importância econômica no setor florestal brasileiro, sendo superado apenas pelo *Eucalyptus*. Neste cenário, o *Pinus elliottii* se destaca como uma das principais espécies produtora de resina, suprindo demandas em escala industrial. A variabilidade genética, a taxa de crescimento, a idade, o porte e o estado fitossanitário das árvores são fatores que afetam diretamente a produtividade da resina. Dessa maneira, testes de progênies dentro de um programa de melhoramento genético tornam-se uma ferramenta essencial para selecionar genótipos com qualidade superior. Portanto, o presente estudo teve como objetivo estimar os parâmetros genéticos e efetuar a seleção para o crescimento em diâmetro em progênies de meios irmãos de *P. elliottii* aos 84 meses de idade na região do Sul de Minas Gerais. Foi avaliado o diâmetro à altura do peito (DAP) de 13 progênies de *P. elliottii*, instaladas em delineamento de blocos casualizados completos, com 30 repetições e uma planta por parcela. A predição de valores genéticos foi obtida utilizando o software Selegen-Reml/Blup, obtendo-se os valores das herdabilidades individual restrita (h_a^2) e média da progênie ($h_{m,p}^2$), o coeficiente de variação genética entre progênies ($CV_{g,p}\%$), o coeficiente de variação genética individual ($CV_{g,i}\%$), as variações genéticas aditiva (V_a), residual (V_e) e fenotípica (V_f), bem como a média do DAP apresentado pelas progênies. Destacam-se como os principais resultados, a variação genética aditiva de 9,3, a elevada $h_{m,p}^2$ (0,78) e moderada h_a^2 (0,43), os coeficientes de variação genética individual e entre progênies sendo, respectivamente, 21,17% e 10,58%. Estes resultados evidenciam a existência de uma variabilidade entre as progênies e a possibilidade de obter ganhos com a seleção para o caractere em questão. Observou-se que as progênies P72, P74, P76 e P81 apresentaram, aos 84 meses idade, maior ganho em seleção e DAP no teste de progênies implantado em Ijaci-MG, sul de Minas Gerais.

Palavras-chave: Melhoramento florestal. Teste de progênies. Silvicultura.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista superior da área experimental em Ijaci, MG.	12
Figura 2 - Avaliação do DAP em <i>Pinus elliottii</i> , aos 84 meses de idade, em Ijaci, MG.	14
Figura 3 - Ranqueamento de progênies de <i>P. elliottii</i> para o caractere DAP 84 meses de em Ijaci, MG.	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de <i>deviance</i> (ANADEV) para DAP aos 84 meses após plantio em Ijaci, Sul de Minas Gerais.	17
Tabela 2 - Parâmetros genéticos para DAP, aos 84 meses após plantio, em Ijaci, Sul de Minas Gerais.	17
Tabela 3 - Estimativas de herdabilidade individual (ha2) no sentido restrito em <i>P. elliottii</i> para o caractere DAP, em diferentes idades, para diferentes estudos, comparados aos resultados encontrados neste estudo.	18
Tabela 4 - Estimativas de valores aditivos (a), ganhos de seleção (GS) e média para as quatro progênes de <i>P. elliottii</i> mais promissoras, aos 84 meses de idade, em Ijaci, Sul de Minas Gerais.	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1	SILVICULTURA DE <i>PINUS</i> SPP. NO BRASIL	9
2.2	<i>PINUS ELLIOTII</i>	10
2.3	SELEÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS	11
3	MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	12
3.2	ÍMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	13
3.3	LEVANTAMENTO DE DADOS	13
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5	CONCLUSÃO	21
	REFERÊNCIAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus* compreende aproximadamente 600 espécies florestais e atualmente é o segundo grupo de espécies florestais mais cultivado no Brasil. Conforme último relatório publicado pelo IBÁ (2021), 78% da área de florestas plantadas do país é composta pelo cultivo de eucalipto com 7,47 milhões de hectares, e 18% de pinus, com aproximadamente 1,7 milhão de hectares. Destes, Minas Gerais possui cerca de 1,75 milhão de hectares de eucalipto e 47 mil hectares de pinus, respectivamente.

No Brasil, o pinus se adaptou ao clima na região sul e sudeste do país, tornando-se atrativo no mercado florestal, abrangendo os setores de paletes, embalagens, mobiliário, construção civil e a indústria de papel e celulose (SHIMIZU, 2008). Em sua maioria, os plantios de *Pinus* do estado de Minas Gerais são compostos pela espécie *Pinus elliottii*, nativa da região Sul dos Estados Unidos, onde é amplamente cultivada para a produção de madeira destinada para a produção de celulose, papel e extração de resina (AGUIAR; SOUZA; SHIMIZU, 2014). Entretanto, o cultivo de *P. elliottii* não se restringe apenas ao uso da madeira, pois a resinagem caracteriza-se como uma das mais importantes explorações econômicas desses plantios (MISSIO et al., 2015).

Conforme Cademartori (2012), o processo de resinagem é relevante pela sua abrangência em termos de mercado consumidor e escala industrial, já que é considerada como uma forma secundária e rentável de aproveitamento da floresta plantada. Segundo Ferreira (2009), inúmeras e significativas pesquisas acerca da resinagem de árvores de espécies de pinus, têm demonstrado que as variações de espécies, genótipos, taxa de crescimento, idade, dimensões e estado fitossanitário afetam a produção e a qualidade da goma-resina.

Através do melhoramento genético é possível selecionar genótipos com as características ideais para a produção de resina. Nesse sentido, os testes de progênies dentro de um programa de melhoramento são essenciais para a determinação de parâmetros fenotípicos e genéticos, bem como, para avaliar a eficiência dos métodos de seleção e estimar os progressos genéticos pela seleção, que resultem principalmente no aumento de produtividade e melhoria da qualidade dos produtos madeireiros e não madeireiros derivados do gênero *Pinus* (SAMPAIO; RESENDE; ARAÚJO, 2000).

Portanto, o presente estudo teve como objetivo estimar os parâmetros genéticos e efetuar a seleção para o crescimento em diâmetro em progênies de meios irmãos de *P. elliottii* aos 84 meses de idade na região sul do estado de Minas Gerais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Silvicultura de *Pinus* spp. no Brasil

A introdução de uma gama de espécies florestais exóticas iniciou-se no Brasil na década de 1960, através de uma estratégia de desenvolvimento implementada por meio de incentivos fiscais, que visava garantir o suprimento de matéria-prima para a indústria madeireira (SOARES et al., 2014; NIERI 2019). Nesse período, o *Pinus* spp. e o *Eucalyptus* spp. foram preferíveis por seu rápido crescimento, podendo abastecer o setor madeireiro em um curto espaço temporal. Esses recursos madeireiros vêm minimizando a taxa de desmatamento dos remanescentes naturais, constituindo um aspecto de extrema importância para a economia florestal brasileira (SILVA et al., 2020).

Segundo Krambeck et al. (2016), o bom desenvolvimento das áreas florestais está diretamente relacionado com as técnicas de manejo utilizadas, dentre as quais podemos citar: a localização, a qualidade do solo, o material genético utilizado, mudas, o espaçamento de árvores, as técnicas de proteção, o sistema de desbaste e de poda. Neste âmbito, Ortolan (2019), destaca que as principais espécies que respondem bem ao manejo intensivo são os eucalipto e os pinus.

Os primeiros pinus trazidos para o Brasil serviam apenas para fins ornamentais, entretanto, devido à necessidade de suprimentos madeireiros, as espécies de *P. elliottii* e *P. taeda* passaram a ser cultivadas na década de 1960 em escala comercial visando atender, principalmente, as indústrias civis e de celulose (HOMMA et al., 2018). Ambas as espécies são tolerantes a geadas, porém a espécie *P. taeda* se desenvolveu mais na região sul do país, mais precisamente no planalto do norte do Paraná. Já a espécie *P. elliottii*, além da região sul, também pode ser encontrada na região sudeste, no estado de São Paulo e sul de Minas Gerais (SCHNEIDER, 2019).

As florestas plantadas de *Pinus* spp. são de grande importância para o setor florestal brasileiro. São florestas que agregam valor, desde o pequeno produtor, até os vários segmentos industriais, sendo fonte de matéria-prima para o desenvolvimento da indústria florestal, abastecendo um mercado altamente diversificado, como a produção de serrados e laminados, chapas, resina e de papel e celulose (AGUIAR; SOUZA; SHIMIZU, 2014).

Conforme Nieri (2019), constantes investimentos em pesquisa sobre a silvicultura de pinus ocorreram de modo a consolidar o seu uso em plantios comerciais e impulsionar pesquisas voltadas para o melhoramento genético.

A obtenção de populações melhoradas que satisfaçam as exigências da produtividade florestal, depende da capacidade de identificar genótipos desejados na população sob seleção.

Uma estratégia de eficiência comprovada para seleção desses genótipos é a combinação dos testes de progênes (SAMPAIO; RESENDE; ARAÚJO, 2000).

Shimizu e Pinto Júnior (1988) relataram que esses ensaios permitem ao melhorista a obtenção simultânea de informações sobre a variação geográfica e diferenças genéticas entre árvores de cada progênie. Portanto, a seleção de genótipos torna-se uma técnica primordial para o sucesso da introdução de uma espécie em um determinado ambiente.

2.2 *Pinus elliottii*

O *P. elliottii* é uma conífera da família Pinaceae, com expressiva importância econômica no Brasil, em função da sua exploração madeireira e resinosa (RODRIGUES, 2008). Essa espécie pode apresentar de 15 a 30 metros de altura, com folhas aciculadas, 2-3 por fascículo e margem finamente denteada (VALERI; DE PAULA, 2009). Outra característica desta espécie refere-se ao fato de ser altamente dependente da associação de fungos micorrízicos aumentando sua área de absorção de nutrientes (GALLOTTI, 2002).

Segundo Lazarotto (2020), a espécie *P. elliottii* faz homenagem a Stephen Elliott, botânico da Carolina do Sul que a distinguiu como uma variedade botânica do *Pinus taeda*. Ainda segundo a autora, o *P. elliottii* é comumente associado ao *P. taeda*, no entanto, o comprimento e o número de acículas por fascículo, cones e casca podem diferenciá-los, sendo encontrado naturalmente nas planícies costeiras da Carolina do Sul até a Florida Central e oeste da Louisiana.

Devido ao seu potencial produtivo e adaptação, o *P. elliottii* foi introduzido em larga escala em diferentes países (Brasil, Chile, Argentina, Venezuela, China, África do Sul, Nova Zelândia e Austrália) para produção de madeira (VALERI; DE PAULA, 2009). No Brasil, foi introduzido mais precisamente em 1948 por iniciativa do Serviço Florestal do estado de São Paulo, se destacando pela facilidade nos tratamentos culturais, rápido crescimento e reprodução intensa (SHIMIZU, 2008).

Apesar dos reflorestamentos com *P. elliottii* terem sido estabelecidos com a finalidade de produção de madeira, a resina se destacou como um subproduto de rentabilidade atrativa, passando a figurar como item de exportação e provocando uma rápida ascensão do setor, muito em função das condições ecológicas das regiões Sul e Sudeste que favorecem o rápido crescimento da espécie (SHIMIZU e SPIR, 1999).

Segundo Nunes et al. (2016), o *P. elliotti* apresenta grande valor econômico devido à sua alta densidade de madeira, boas características de resina e rápido crescimento, passando a ser a segunda espécie do gênero mais utilizada no Brasil para reflorestamento. Ademais, esta

espécie apresenta potencial silvicultural, ou seja, apresenta características para sustentar a demanda industrial.

A resina de *P. elliotii* pode ser utilizada na fabricação de solventes, adesivos, materiais impermeáveis, tintas, fragrâncias, aromatizantes alimentares e na indústria farmacêutica como precursores de princípios ativos (RODRIGUES et al., 2013). Porém seu rendimento está associado ao diâmetro da árvore e ao número e volume do canal de resina radial (RODRIGUES et al., 2014). Já a composição química da resina é dependente das características genéticas e de fatores ambientais (DE OLIVEIRA JUNKES et al., 2019).

Ao contrário da maioria dos extrativos da madeira, a resina apresenta sua maior concentração no alburno, tornando-se, portanto, mais abundante à medida que a planta cresce em altura do fuste. Isto pode significar, também, que árvores de rápido crescimento, que atinjam grandes dimensões antes de começarem a formar cerne são, potencialmente, grandes produtoras de resina (KOCH, 1972). No Brasil, o rendimento médio de resina de uma árvore não melhorada de *P. elliotii* varia de 1 a 3 kg.arv⁻¹.ano⁻¹ (AGUIAR; SOUZA; SHIMIZU, 2014).

Conforme Shimizu e Spir (1999), estudos realizados com diversas espécies de pinus levam a concluir que esse caráter é de alta herdabilidade e permite um rápido melhoramento genético mediante seleção criteriosa das matrizes produtoras.

2.3 Seleção de espécies florestais

A adoção de estratégias eficientes de melhoramento genético de espécies perenes depende, sobretudo, da utilização de acurados métodos de seleção. Dentre os métodos mais usados para o desenvolvimento de um programa de melhoramento florestal, está a seleção de árvores matrizes e a sua propagação (RESENDE e OLIVEIRA, 1997). Segundo Nieri (2015), de maneira geral, o conceito de seleção, refere-se à eliminação de determinados genótipos presentes na população, sendo essa realizada por meio natural ou artificial.

Nesse contexto, a seleção de genótipos superiores por meio do melhoramento genético, torna-se uma ferramenta fundamental para gerar florestas mais produtivas e adaptadas a diferentes regiões de acordo com o interesse do melhorista. Todavia, para uma eficaz identificação de genótipos superiores, o uso de métodos de seleção capazes de explorar eficientemente o material genético disponível é fundamental para se obter o máximo ganho genético em relação às características de interesse (ODA et al., 2007).

Diferentes tipos de seleção podem ser aplicados em diferentes etapas em programas de melhoramento genético florestal, por exemplo, a seleção massal, a seleção direta, indireta, em

tandem, entre outras (BESPALHOK et al., 2007). Contudo, todas possuem um objetivo único e comum: aumentar a frequência de alelos favoráveis nos *loci* influentes da característica em seleção (KIMATI et al., 1997).

A seleção por sua vez não cria novos alelos, somente visa em localizar e reter os indivíduos que apresentam uma combinação superior de alelos favoráveis (KLUG et al., 2010). Selecionar indivíduos com genótipos superiores não é uma tarefa simples, pois não mensuramos o genótipo diretamente. Todavia, se utilizamos testes genéticos em delineamento estatísticos para mensurar o fenótipo e estimar o genótipo, conseguimos realizar a seleção (BESPALHOK et al., 2007). Portanto, é de suma importância que o melhorista realize um correto planejamento e estudo sobre a espécie que está trabalhando para que o mesmo possa aplicar as ferramentas apropriadas no processo de melhoramento genético.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

A área experimental está localizada na Fazenda Palmital, propriedade pertencente à Universidade Federal de Lavras que se encontra na cidade de Ijaci, sul do estado de Minas Gerais. O local onde o experimento foi implantado apresenta coordenadas latitude $21^{\circ}15'95,1''S$ e longitude $44^{\circ}93'26,7''W$, a 833 metros acima do nível do mar (Figura 1).

Figura 1 - Vista superior da área experimental em Ijaci, MG.



Fonte: Google Earth (2022).

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Cwb, temperado úmido com inverno seco e verão temperado, temperatura média anual de 20,2°C, precipitação média anual de 1237 mm, com chuvas concentradas nos meses de outubro a março (ALVARES et al., 2013).

3.2 Implantação do experimento

O teste foi composto por 13 progênies, obtidas de árvores matrizes com polinização aberta, localizadas em plantios comerciais da Empresa Resineves Agroflorestal LTDA, Itapeva-SP. As mudas foram produzidas pela própria empresa em tubetes de 55 cm³, preenchidos com substrato comercial.

O plantio foi realizado em agosto de 2015, em espaçamento de 3 x 3 m, sendo as covas abertas no momento do plantio com auxílio de uma ferramenta chamada chucho, após o solo ter sido preparado por meio de aração e gradagem em área total. Em cova, juntamente com a muda de pinus, foram aplicados esporos de fungos micorrízicos, coletados de frutificação encontrada no interior de povoamentos de *Pinus* spp., e 200 ml de solução com polímero hidrorretentor, na concentração de 1 g de polímero por planta. Após o plantio, aplicou-se sobre o coleto de cada muda uma solução de cupinícida para o controle de cupins subterrâneos.

O experimento foi disposto em delineamento de blocos casualizados completos, com 30 repetições e uma planta por parcela. Para controlar o efeito de borda, todo o experimento foi circundado por duas linhas de plantas com a mesma espécie. Os tratamentos correspondem a 13 progênies de *Pinus elliottii*.

Nas primeiras semanas pós-plantio foi necessário irrigar as mudas com o auxílio de um caminhão com reservatório de água e regadores para favorecer a sobrevivência inicial das mudas, até o início do período chuvoso. Em todo o período, realizou-se o monitoramento de formigas cortadeiras e o controle de plantas daninhas por meio de roçadas mecanizadas (4x2 TDA) e uso de herbicidas pós-emergentes de amplo espectro.

3.3 Levantamento de dados

Aos 84 meses após o plantio, foram avaliados a sobrevivência e o diâmetro à altura do peito (DAP), conforme observado na Figura 2. O percentual de sobrevivência por progênies foi quantificado por meio da contagem do total de indivíduos que sobreviveram aos 84 meses,

dividido pelo total de indivíduos implantados na área experimento (30) e multiplicado por 100.

Figura 2 - Avaliação do DAP em *Pinus elliottii*, aos 84 meses de idade, em Ijaci, MG.



Fonte: Do autor (2022).

Após a medição, as estimativas dos parâmetros genéticos foram realizadas para o caráter mensurado pelo método REML/BLUP – SELEGEN (RESENDE, 2007). Deste modo, foi possível obter o BLUP individual a partir dos componentes de variância (RESENDE, 2002). As análises foram realizadas utilizando o modelo 19- Blocos ao acaso, progênies de meios irmãos, uma planta por parcela, utilizando o seguinte modelo, Equação 1:

$$y = Xb + Za + e \quad (1)$$

Em que: y é o vetor de observações; b é o vetor dos efeitos de repetição (fixos); a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios); e é o vetor dos resíduos (aleatório). X e Z representam as matrizes de incidência para os efeitos citados.

A solução dos efeitos fixos (b) e dos efeitos aleatórios (a) do modelo foi obtida resolvendo a seguinte equação (HENDERSON et al., 1959):

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1} \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix}$$

Em que: A^{-1} é a inversa da matriz de relacionamento aditivo com base no pedigree, utilizando o índice de endogamia. Foram assumidas as seguintes distribuições e estruturas de médias e variâncias:

$$\begin{aligned} y|b, V &\sim N(Xb, V) \\ a|A, \sigma_a^2 &\sim N(0, A\sigma_a^2) \\ e|\sigma_e^2 &\sim N(0, I\sigma_e^2) \end{aligned}$$

Os parâmetros genéticos estimados foram a herdabilidade individual (h_i^2), a herdabilidade individual no sentido restrito (h_r^2) (equação 2), a herdabilidade da média de progênies (h_m^2) (equação 3), a acurácia seletiva a nível de progênies (r_{gg}) (equação 4), o coeficiente de variação genética (CV_g) (equação 5) e o coeficiente de variação residual (CV_e) (equação 6).

$$\hat{h}_r = \frac{\hat{\sigma}_i^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_f^2} \quad (2)$$

$$\hat{h}_m = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\frac{\hat{\sigma}_f^2}{nb} + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{b} + \hat{\sigma}_g^2} \quad (3)$$

$$\hat{r}_{gg} = \left(\frac{1 - PEV}{\sigma_g^2} \right)^{1/2} \quad (4)$$

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\hat{m}} \cdot 100 \quad (5)$$

$$CV_e = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{\hat{m}} \cdot 100 \quad (6)$$

Em que: variação aditiva (V_{a_i}); variação genética ($\hat{\sigma}_g^2$); variação residual (V_e); variação fenotípica (V_f); variação do erro de predição (PEV) e média (\hat{m}).

Para testar a significância dos efeitos aleatórios do modelo se realizou a análise de *deviance*, por meio do teste da razão da máxima verossimilhança (LRT) para o caractere DAP (RESENDE, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As progênes de *P. elliottii* apresentaram sobrevivência de 91,8%, percentual alto para a região sul de Minas Gerais. Essa prerrogativa pode ser considerada indicativo inicial do potencial da espécie para a região em questão (MACEDO et al., 2010; MACEDO et al., 2013).

O DAP médio apresentado pelas progênes de *P. elliottii* foi de 14,41 cm. Apesar de analisados em idades diferentes, este resultado apresenta similaridade ao encontrado por Santos et al. (2013), que ao avaliarem a estimativa de parâmetros genéticos para os caracteres DAP, altura e volume em progênes de *P. elliottii* aos 48 meses de idade, encontraram DAP médio de 10,77 cm. Por sua vez, Martinez et al. (2012), ao estudarem a interação entre genótipo e ambiente em progênes de *P. taeda* por meio da análise de parâmetros genéticos aos 72 meses de idade, constataram DAP médio de 17,75 cm.

A análise de *deviance* (ANADEV) para os parâmetros genéticos e estatísticos das progênes de *P. elliottii* demonstram diferença significativa entre as progênes testadas para a variável DAP em Ijaci, Minas Gerais, aos 84 meses de idade (Tabela 1). Deste modo, pode-se inferir que existe variabilidade entre as progênes e que existe possibilidade de obter ganhos com a seleção para o caractere em questão.

Tabela 1. Análise de *deviance* (ANADEV) para DAP aos 84 meses após plantio em Ijaci, Sul de Minas Gerais.

Efeito	DEV	LRT ¹
Modelo Completo	1382,50	
Modelo reduzido para efeito de progênie	1402,84	20,34*

¹Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; *significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de qui-quadrado.

Fonte: Do autor (2022).

Conforme observado na Tabela 2, a variância genética aditiva (V_a) para o caractere DAP foi de 9,303. Segundo Cruz (2005), a importância de um indivíduo para uma população, está fundamentada primeiramente no seu genótipo. No entanto, tão importante quanto o genótipo, é a sua capacidade de repassá-lo aos seus descendentes. Nesse sentido, entende-se que por meio da propagação sexuada, o indivíduo não possui a habilidade de repassar seus genótipos, mas sim, seus alelos. Portanto, a variância aditiva é a parte herdável da variância genotípica, pois os indivíduos irão passar para seus descendentes seus alelos, não seu genótipo.

Tabela 2 - Parâmetros genéticos para DAP, aos 84 meses após plantio, em Ijaci, Sul de Minas Gerais.

Parâmetros	Diâmetro a altura do peito (DAP)
Variância genética aditiva (V_a)	9,303
Variância residual (V_e)	12,322
Variância fenotípica individual (V_f)	21,626
Herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2)	0,430206 +- 0,1966
Herdabilidade média da progênie (h_{mp}^2)	0,783
Acurácia de seleção da progênie (Acprog)	0,885
Herdabilidade aditiva dentro (h_a^2d)	0,362
Coefficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi} %)	21,171
Coefficiente de variação genética entre progênies (CV_{gp} %)	10,586
Coefficiente de variação residual (CV_e %)	30,493
Coefficiente de variação relativa (CV_r)	0,347
Variância do erro de predição dos valores genotípicos (PEV)	0,504
Desvio padrão do valor genotípico predito (SEP)	0,710
Média geral (\hat{m})	14,407

Fonte: Do autor (2022).

Parâmetros genéticos como herdabilidade e ganhos genéticos são de suma importância para o melhoramento, uma vez que visam diminuir o tempo para completar um ciclo de seleção e possibilitam a maximização do ganho genético (SANTOS et al., 2021). Souza et al. (2017) e Nieri (2019), estimam a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo e, portanto, a herdabilidade participa frequentemente de expressões voltadas à predição de ganho, servindo como ferramenta na tomada de decisões dos melhoristas nos programas de melhoramento genético.

Para a estimativa da herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2), obteve-se como resultado o valor de 0,43. Considerando a classificação de Resende (2002), em que herdabilidades menores que 0,15 são consideradas de baixa magnitude, entre 0,15 e 0,49 são consideradas de média magnitude e por sua vez, as que apresentam valores superiores a 0,50 são consideradas de alta magnitude, classifica-se a herdabilidade individual no sentido restrito como de média magnitude para o caráter em análise.

Squillace (1965) e Bengtson (1961) ao avaliarem qualidade da madeira e produtividade de resina em experimentos com *P. elliotii*, encontraram herdabilidades variando de 0,45 a 0,90, aos 84 meses após o plantio, o que corrobora com os resultados encontrados. Gurgel Garrido et al. (1999), no entanto, aos 24 meses após plantio, observaram herdabilidades variando de 0,57 a 0,77, ao avaliarem um teste de progênies de meios-irmãos de *P. elliotii*. Na tabela 3 é possível comparar valores de h_a^2 , para o caractere DAP, encontrados em estudos com *P. elliotii*, em diferentes idades.

Tabela 3 - Estimativas de herdabilidade individual (h_a^2) no sentido restrito em *P. elliotii* para o caractere DAP, em diferentes idades, para diferentes estudos, comparados aos resultados encontrados neste estudo.

Idade (meses)	(h_a^2) DAP	Autores
60	0,38	Pswarayi et al. (1996)
60	0,37	Romanelli (1995)
72	0,30	Romanelli (1995)
84	0,45 a 0,90	Squillace (1965)
84	0,43	Santos (2022)
96	0,22	Romanelli (1995)
96	0,30	Pswarayi et al. (1996)
84	0,43	Do autor (2022)

Fonte: Do autor (2022).

Em relação à acurácia de seleção das progênies (Acprog), foi obtido o valor de 0,885. Resende e Duarte (2007) salientam que valores referentes à acurácia devem ser superiores a 0,70 quando se trata de processos de seleção em melhoramento de plantas. Em similaridade,

Martinez et al. (2012) ao realizarem o estudo da interação entre genótipos x ambientes, em progênies de *P. taeda* aos seis anos de idade, encontraram acurácia de seleção das progênies na ordem de 0,842, o que indica um expressivo controle genético.

Conforme Nieri (2019), o coeficiente de variação genética, expressa a variabilidade genética encontrada entre as progênies. Quanto mais elevado for este coeficiente, maior será a variabilidade existente entre as progênies. Santos et al. (2021) ressaltam que as estimativas do coeficiente de variação genotípico CV_{gi} e CV_{gp} são importantes, pois quanto maior o seu valor, maior é a heterogeneidade dos genótipos para as características estudadas e maior é a possibilidade de se obter indivíduos superiores.

O coeficiente de variação genética aditiva individual, CV_{gi} pode ser considerado alto (21,17%), sendo um dos mais importantes componentes da variância fenotípica, uma vez que se refere aos efeitos aditivos dos genes. Já o coeficiente de variação genética entre progênies, CV_{gp} , apresentou média resultante de 10,59%. Estes valores são superiores por exemplo, aos encontrados por Coutinho et al. (2017), que ao avaliarem, aos 96 meses pós-plantio, a viabilidade da seleção de *P. taeda* para o caractere DAP, obtiveram resultados abaixo dos citados anteriormente, tendo CV_{gi} o valor de 7,84 e CV_{gp} o valor de 3,92. Por sua vez, para a região sul de Minas, na cidade de Lavras – MG, Nieri (2019) ao avaliar a adaptabilidade e seleção em progênies de pinus tropicais, aos 36 meses após o plantio, observou valores de CV_{gi} e na ordem de 19,52, resultado similar ao encontrado neste trabalho, embora os estudos e avaliações tenham sido realizados em escalas temporais distintas e com espécies também diferentes.

O coeficiente de variação relativa (CV_r) permite avaliar o potencial do ensaio para a seleção. Valores próximos a 1,0 indicam uma situação altamente favorável para a seleção (ROMANELLI e SEBBENN, 2004). O resultado encontrado de 0,347 não se encontra próximo do ideal recomendado pelos autores. Todavia, o DAP é um parâmetro altamente influenciado pelo ambiente, o que pode explicar um coeficiente de variação relativa abaixo do ideal.

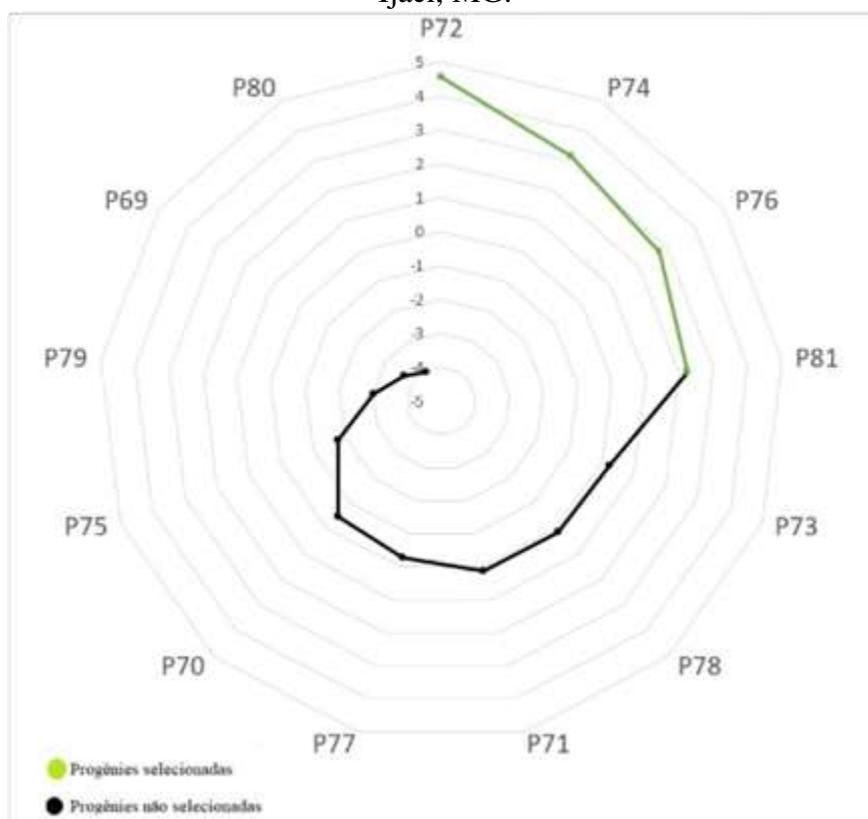
Conforme tabela 4 e Figura 3, nota-se que as melhores progênies P72, P74, P76 e P81 apresentam os maiores valores aditivos e ganhos de seleção.

Tabela 4 - Estimativas de valores aditivos (*a*), ganhos de seleção (**GS**) e média para as quatro progênes de *P. elliottii* mais promissoras, aos 84 meses de idade, em Ijaci, Sul de Minas Gerais.

Genitor	<i>a</i>(cm)	GS	Média
P72	4,54	1,954	18,95
P74	3,16	1,359	18,26
P76	2,74	1,178	17,89
P81	2,25	0,969	17,58
Média Geral	-	0	14,41

Fonte: Do autor (2022).

Figura 3 - Ranqueamento de progênes de *P. elliottii* para o caractere DAP 84 meses de em Ijaci, MG.



Fonte: Do autor (2022).

Macedo et al. (2018) e Nieri et al. (2018), ressaltam que o caractere DAP, permite constatar a adaptabilidade dos genótipos introduzidos em ambientes análogos aos de ocorrência natural, além de possibilitar a análise do seu potencial de estabelecimento.

Em síntese, pode-se inferir que as progênes P72, P74, P76 e P81 possuem potencial para serem indicadas para regiões com ambientes que apresentem condições edafoclimáticas e fitogeográficas similares às da cidade de Ijaci no sul de Minas Gerais. Entretanto, recomendam-se novos estudos que possam avaliar a correlação genética entre o DAP e a produção de resina, bem como a correlação entre os caracteres DAP e altura, visto que o

objetivo principal de plantios de *P. elliottii* é a obtenção de resina e a produção de madeira serrada.

5 CONCLUSÃO

Pode se inferir que existe variabilidade entre as progênes e a possibilidade de obter ganhos com a seleção para o caractere DAP.

As progênes P72, P74, P76 e P81 apresentaram, aos 84 meses idade, maior ganho em seleção e DAP no teste de progênes implantado em Ijaci-MG, sul de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V.; SOUZA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de Pinus**: espécies de pinus mais plantadas no Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Embrapa Florestas Sistema de Produção, 5. Disponível em: <https://tinyurl.com/yckp85yj>. Acesso em: 05 de ago. 2022.
- ALVARES, *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift Stuttgart**, v. 22, n. 6, 2013. p. 711-728.
- BENGTSON, G. W. Inheritance of gum yield and other characteristics of slash pine. In: SOUTH FOREST TREE IMPROVEMENT, 6., 1961. **Proceedings...** Savannah: United States Department of Agriculture – USDA, Forest Service Research Publications, 1961. p. 85-96.
- BESPALHOK, J. C.; GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. Noções de Genética Quantitativa. In: BESPALHOK, J. C.; GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. **Melhoramento de Plantas**. Disponível em: <https://www.bespa.agrarias.ufpr.br/conteudo>. Acesso em: 07 de ago. 2022.
- CADEMARTORI, Pedro Henrique Gonzalez de *et al.* Qualidade da madeira serrada de Pinus elliottii Engelm. procedente de florestas resinadas. **Cerne**, v. 18, p. 577-583, 2012.
- Camila Fernanda *et al.* Resin tapping transcriptome in adult slash pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii*). **Industrial Crops and Products**, v. 139, p. 111545, 2019.
- Coutinho *et al.* Viabilidade da seleção precoce de *Pinus taeda* L. em diâmetro a altura do peito em programa de melhoramento genético **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 205-219, mar. 2017. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.21](https://doi.org/10.18671/scifor.v45n113.21)
- CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. 1ed. Viçosa, Editora UFV, 2005.
- FERREIRA, A. T. B. **Caracterização da estrutura anatômica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de Pinus caribaea var. hondurensis Barr. et Golf**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 83 p.

- GALLOTTI, G. J. M; **Importância da micorrização em viveiros de *Pinus* spp.** Agropec. Catarin., v.15, n.3, nov. 2002
- GURGEL GARRIDO, L. M. do A.; GARRIDO, M. A. de O.; KAGEYAMA, P. Y. Teste de progênies precoce de meios-irmãos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. de árvores superiores para a produção de resina. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 20, p. 31-39, 1999.
- HENDERSON, C.R., KEMPTHORNE, O., SEARLE, S.R. et al. 1959. The estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling. **Biometrics**, 15:192-218.
- HOMMA, AKO *et al.* Manejo e plantio de bacurizeiros (*Platonia insignis* Mart.): a experiência no manejo e domesticação de um recurso da biodiversidade amazônica. **Inclusão Social**, v. 12, n. 1, p. 65. 2018.
- Ibá – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual 2021 do setor florestal brasileiro de árvores plantadas.** São Paulo, 30 de abril de 2022. Disponível em: <HTTPS://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio/iba/2021.pdf>. Acesso em: 05 de ago. 2022.
- KLUG, W.; CUMMINGS, M.R.; SPENCER, C.A.; MICHAEL, A.P. **Conceitos de genética.** 9ed. Porto Alegre, Artmed, 2010.
- KOCH, P. **Utilization of the Southern Pines**, USDA. Forest Service. Southern Forest Experiment Station. V.1. 1972. 734p. (Agriculture Handbook, 420).
- KIMATI, H. *et al.* **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v.2, 774p.
- LAZAROTTO, S. **Silvicultura de *Pinus elliottii* Engelm: Desafios técnicos e legais para a sustentabilidade.** Tese (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2020. 81 p.
- MACEDO, H.R. *et al.* Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênies de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade em Batatais-SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 533-540, dez. 2013.
- MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B.; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais.** Lavras: Editora UFLA, 2010. 331p.
- MACEDO, R.L.G. *et al.* **Eucalipto em sistemas agroflorestais.** 2 ed. Lavras: UFLA, 2018. 352 p.
- MARTINEZ, D. T., *et al.* ESTUDO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE EM PROGÊNIES DE *Pinus taeda* POR MEIO DA ANÁLISE DE PARÂMETROS GENÉTICOS. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 3, p. 539 - 552, jul./set. 2012.

- MISSIO, A. L. *et al.* Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.8, p.1432-1438, ago, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130475>. Acesso em: 05 de ago. 2022.
- NIERI, E. M. *et al.* Comportamento silvicultural de espécies florestais em arranjo para integração pecuária floresta. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 2, p. 195- 202, 2018.
- NIERI, E. M. **Adaptabilidade e seleção em progênies de pinus tropicais aos três anos**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, 2019. 67 p.
- ODA, S. *et al.* Melhoramento florestal. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biotecnologia Florestal**. Viçosa: UFV, 2007. p.51-71.
- RAMALHO, M.A.P *et al.* **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA. 2012. 522 p.
- RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: Editora UFLA. 2012. 328p.
- RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, E. B. SISTEMA "SELEGEN" - SELEÇÃO GENÉTICA COMPUTADORIZADA PARA O MELHORAMENTO DE ESPÉCIES PERENES. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.32, n.9, p.931-939, set. 1997.
- RESENDE, M. D. V. (2002). **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes** (975 p.). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Resende, M. D. V. (2007).
- RESENDE, M.D.V. Software Selegen- REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop breeding and applied biotechnology**, Viçosa, v. 16, p. 330- 339, sep. 2016.
- ROMANELLI, R. C.; SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção para produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii*, no sul do Estado de São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 11-23, jun. 2004.
- RODRIGUES, K.C.S. 2008. Extração de oleoresina de *Pinus elliottii* no Sul do Brasil: caracterização e perspectivas. **Revista da Madeira**, 116:86-90.
- SANTOS, W. *et al.* **Estimativas de parâmetros genéticos em progênies de meios-irmãos de *Pinus elliottii* para a produção de madeira**. In: 7º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 2013, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas (SBMP), 2013. p.37-153.
- SANTOS, H. G. *et al.* (2021). Parâmetros genéticos para caracteres silviculturais em cedro australiano. **Scientia Forestalis**, 49(130), e3467. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.05>
- SAMPAIO, P. T. B; RESENDE, M. D. V; ARAÚJO, A. J; Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus caribaea* var.

- Hondurensis*. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.11, p.2243-2253, nov. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001100017>. Acesso em: 21 de ago. 2022.
- SCHNEIDER, PR. **Introdução manejo florestal**. Belo Horizonte: Editora Buqui. 2019.
- SHIMIZU, J.Y.; PINTO JÚNIOR, J.E. **Diretrizes para credenciamento de fontes de material genético melhorado para reflorestamento**. Curitiba: Embrapa-CNPQ, 1988. 15p. (Embrapa-CNPQ. Documentos, 18).
- SHIMIZU, J. Y.; SPIR, I. H. Z. SELEÇÃO DE *Pinus elliottii* PELO VALOR GENÉTICO PARA ALTA PRODUÇÃO DE RESINA. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 103-117, jan./jun. 1999.
- SHIMIZU, Jarbas Yukio (Ed.). **Pínus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 226 p.
- SOARES, N.S.; SILVA, M.L.; CORDEIRO, S.A. Produto interno bruto do setor florestal brasileiro, 1994 a 2008. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.4, p.725-732, 2014.
- SOUZA, T.S. *et al.* Variação genética em caracteres quantitativos em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 177- 185, mar. 2017.
- SQUILLACE, A. E. Combining superior grown and timber quality with gum yield in slash pine. In: SOUTHERN CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 8., 1965, Savannah. **Proceedings...** Savannah: Georgia Forest Resources Council, 1965. p. 73-76.
- VALERI, Sérgio Valiengo; DE PAULA, Rinaldo César. **Síntese das principais características do gênero pinus**. 2009.