

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE - UNICENTRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**PROGRESSO GENÉTICO PARA CARACTERES DE CRESCIMENTO,
FORMA DO FUSTE E RESISTÊNCIA DA MADEIRA À PERFURAÇÃO**
*EM *Pinus maximinoi* H.E. moore*

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MATHEUS PEREK

IRATI-PR

2020

MATHEUS PEREK

**PROGRESSO GENÉTICO PARA CARACTERES DE CRESCIMENTO,
FORMA DO FUSTE E RESISTÊNCIA DA MADEIRA À PERFURAÇÃO
EM *Pinus maximinoi* H.E. moore**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Genética e Melhoramento Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi

Orientador

Dr. Fabricio Antônio Bienarski

Coorientador

Prof. Dr. Everton Hilling

Coorientador

IRATI-PR

2020

AGRADECIMENTOS

À Empresa Klabin S.A por ceder os dados de seus experimentos de teste de progênies para elaboração da pesquisa, e por fornecer auxílio financeiro, mão de obra e equipamentos para realizar todas as atividades, em especial ao Fabricio Antônio Bienarski por todo apoio e orientações.

Aos meus familiares, em especial a meus pais Clodoaldo Perek e Joelma Perek, pelo apoio e incentivo de sempre. Aos meus amigos e colegas de laboratório quais me auxiliaram nas estimativas, João Gabriel Zanon Paludeto e Mateus Chagas Andrade.

Um agradecimento em especial para o amor da minha vida Michele Moro que sempre esteve do meu lado nas horas difíceis, me apoiando e auxiliando ao longo de toda a pesquisa.

Sou muito grato ao meu orientador prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi, que me orientou com destreza, dedicação e confiança. Agradeço por seus conselhos, paciência e ensinamentos, sendo mais que um orientador e sim um grande amigo, tenho imenso prazer em ser seu orientado.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste pela disponibilidade da infraestrutura e aos seus funcionários, por todo suporte prestado. Aos mestres que passaram por minha formação, desde a base até a pós-graduação, pelas horas de conversa, incentivo, auxílio e amizade.

À Capes, pela concessão da bolsa e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Catálogo na Publicação
Rede de Bibliotecas da Unicentro

P436p

Perek, Matheus

Progresso genético para caracteres de crescimento, forma de fuste e resistência da madeira à perfuração / Matheus Perek. – Irati, 2020.
ix, 53 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Genética e Melhoramento Florestal, 2020.

Orientador: Evandro Vagner Tambarussi

Coorientador: Fabricio Antônio Bienarski

Coorientador: Everton Hilling

Banca examinadora: Fabricio Antônio Biernaski, Ananda Virginia de Aguiar, Fabiana Schmidt Bandeira Peres, Evandro Vagner Tambarussi

Bibliografia

1. Ciências Florestais. 2. Melhoramento Genético Florestal. 3. Índice de seleção. 4. Pomar de sementes por mudas. 5. Resistômetro. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

CDD 634.9

TERMO DE APROVAÇÃO

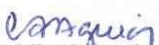
Defesa Nº 139

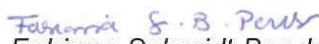
Matheus Perek

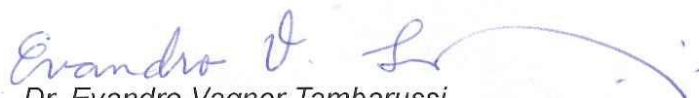
“Progresso genético para caracteres de crescimento, forma do fuste e resistência da madeira à perfuração em *Pinus maximinoi* H.E. Moore”

Dissertação aprovada em 18/02/2020, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:


Dr. Fabricio Antonio Biernaski
Klabin
Primeiro Examinador


Dra. Ananda Virginia de Aguiar
Embrapa Florestas
Segunda Examinadora


Dra. Fabiana Schmidt Bandeira Peres
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Terceira Examinadora


Dr. Evandro Vagner Tambarussi
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR

2020

“Great works are performed not by
strength, but by perseverance.”

Samuel Johnson

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESES.....	4
3. OBJETIVOS GERAIS	4
3.1 Objetivos específicos.....	4
4. REVISÃO DE LITERATURA	5
4.1 Descrição do gênero Pinus	5
4.2 Descrição da espécie	6
4.3 Melhoramento genético.....	11
4.4 Parâmetros genéticos.....	12
4.5 Índice de seleção	14
4.6 Resistência da madeira à perfuração	15
5. MATERIAL E MÉTODOS	16
5.1 Descrição do experimento.....	16
5.2 Avaliação de crescimento.....	18
5.3 Avaliação de forma do fuste e disposição dos ramos.....	19
5.4 Resistência da madeira à perfuração	19
5.5 Parâmetros genéticos.....	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6.1 Parâmetros genéticos.....	26
6.2 Correlações genéticas e fenotípicas.....	30
6.3 Estimativas do progresso genético	32
7. CONCLUSÕES.....	39
8. RECOMENDAÇÕES	40
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
10. ANEXOS.....	52

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - A- Fuste do <i>P. maximinoi</i> aos 5 anos de idade (Autor, 2019); B- Plantio aos 21 anos de idade (SHIMIZU, 2008); C- Amentilhos (EARLE, 2005); D- Cone (EARLE, 2005); E- Acículas (MONTIEL); F- Sementes (EARLE, 2005).....	7
Figura 2 - Distribuição geográfica da ocorrência natural da espécie do <i>Pinus maximinoi</i> (pontos pretos) e matrizes de coletas de sementes da CAMCORE. Fonte: Gapare, Hodge e Dvorak (2001).	10
Figura 3 – Teste de progênie de <i>Pinus maximinoi</i> , localizado no município de Telêmaco Borba - PR. Imagem obtida na data 07/02/2018. Fonte: GoogleEarth (2019).....	18
Figura 4 - Avaliação da resistência da madeira com Resistógrafo IML Resistograph® em teste de progênies de <i>Pinus maximinoi</i> aos 5 anos de idade em Telêmaco Borba, PR. Fonte: O Autor (2019).	20
Figura 5 - Visualização de um perfil gráfico no programa PD-Tools Pro, produzido pelo resistógrafo, correlacionando os picos de amplitudes do gráfico com os anéis de crescimento de uma bagueta em teste de progênies de <i>P. maximinoi</i> aos 5 anos de idade em Telêmaco Borba, PR. Fonte: CAMCORE, 2017.	21
Figura 6 - Gráfico de saída (ilustrativo), produzido pelo script (Acosta e Hodge, 2018) dentro do ambiente estatístico R. Fonte: O Autor (2019).....	21
Figura 7 - Árvores selecionadas com fita azul, raspagem e identificação do tratamento. Fonte: autor 2018.....	25
Figura 8 - Ordenamento dos 78 tratamentos de <i>Pinus maximinoi</i> e as 4 testemunhas de <i>Pinus taeda</i> aos cinco anos de idade em Telêmaco Borba, PR, utilizando o índice de seleção (IS)..	33
Figura 9 - Ordenamento dos 78 tratamentos de <i>Pinus maximinoi</i> e as 4 testemunhas de <i>Pinus taeda</i> aos cinco anos de idade em Telêmaco Borba, PR, utilizando o BLUP tradicional para carácter de volume.....	34
Figura 10 – Árvores de <i>Pinus maximinoi</i> selecionadas para formar o pomar de sementes por mudas (PSM), desbastado aos 6 anos de idade em Telêmaco Borba - PR. Fonte: Autor 2018.	35
Figura 11 – Teste de progênies de <i>Pinus maximinoi</i> desbastado aos 6 anos de idade em Telêmaco Borba - PR. Imagem obtida na data 04/04/2019. Fonte: GoogleEarth (2019).	36

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do experimento de teste de progênies de <i>Pinus maximinoi</i> aos 5 anos de idade em Telêmaco Borba, PR.	17
Tabela 2 - Critérios para classificação dos indivíduos quanto a forma do fuste e disposição dos ramos para <i>Pinus maximinoi</i>	19
Tabela 3 - Porcentagem de importância do carácter no índice de seleção (IS) para o teste de progênie de <i>Pinus maximinoi</i> aos cinco anos de idade em Telêmaco Borba, PR.	24
Tabela 4 - Estimativas de parâmetros genéticos dos caracteres de crescimento, resistência da madeira à perfuração, forma do fuste e disposição dos ramos, para o teste de progênie de <i>Pinus maximinoi</i> aos cinco anos de idade, implantado no município de Telêmaco Borba – PR.....	26
Tabela 5 -Estimativas de Correlações genéticas (acima da diagonal) e correlações fenotípicas (abaixo da diagonal) entre pares de caracteres de crescimento de <i>Pinus maximinoi</i> , aos cinco anos de idade, em Telêmaco Borba, PR.	31
Tabela 6 - Estimativas de ganho genético da população selecionada com o índice de seleção (IS) e com o BLUP de volume de <i>Pinus maximinoi</i> , mensurados aos cinco anos de idade, em Telêmaco Borba, PR, para cada carácter avaliado.	37

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Informações das procedências utilizadas, para instalação do teste de progênies de <i>Pinus maximinoi</i> implantadas em Telêmaco Borba - PR.	52
--	----

RESUMO

O *Pinus maximinoi* H. E. Moore é uma espécie que apresenta rápido crescimento e desenvolvimento volumétrico, porém apresenta também uma alta variabilidade genética e algumas procedências apresentam deformações no fuste como bifurcações e *fox-tail*. Dessa forma, a presente pesquisa teve como principal objetivo determinar o controle genético dos caracteres de crescimento, forma do fuste e resistência da madeira à perfuração de um teste de progênie de *P. maximinoi*, bem como o ganho genético por meio de um índice de seleção, afim de estabelecer um pomar de sementes por mudas (PSM). O teste de progênies está implantado no município de Telêmaco Borba – PR com cinco anos de idade em um delineamento experimental de blocos completos ao acaso, contendo 78 progênies de polinização aberta, em parcelas de uma única planta, 20 repetições e espaçamento de 2,5 m x 3,0 m. A avaliação consistiu em mensurar os caracteres de crescimento como diâmetro a altura do peito (DAP, cm), altura (ALT, m), volume (VOL, m³), forma do fuste (FF), disposição dos ramos (DR) e resistência da madeira à perfuração (RES). Para FF e DR, notas entre 1 a 4 foram usadas para a sua classificação. A RES foi obtida utilizando o aparelho resistógrafo *IML Resistograph*®. Foi utilizado um índice de seleção (IS), que agrupou os BLUPs dos caracteres de interesse para formar um novo carácter que foi utilizado para seleção dos melhores materiais genéticos. A variabilidade genética estimada para o teste indica a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos com a seleção. Os valores de coeficiente de variação genético (CV_g %), variaram de 14,42% para VOL a 4,11% para RES. Os coeficientes de herdabilidade no sentido restrito (h_a^2) foram elevados para o carácter ALT (0,55) e para os demais caracteres foram medianos (DAP: 0,32; VOL: 0,42; RES: 0,42; FF: 0,33 e DR: 0,29). O IS foi utilizado para seleção dos melhores indivíduos do teste de progênies, o qual foi transformado em um PSM por meio do desbaste das árvores inferiores, proporcionando ganhos estimados de seleção para DAP (11,6 %), FF (12,2 %), VOL (11,68 %), RES (1,1 %) e FF (12,2 %). Os resultados evidenciaram a existência de variabilidade genética e altas herdabilidades para os caracteres avaliados, com isso, há a possibilidade de ganhos genéticos pronunciados nas sementes colhidas do Pomar de Sementes por Mudas.

Palavras chave: Melhoramento Genético Florestal; Índice de seleção; Pomar de sementes por mudas; Resistógrafo.

ABSTRACT

Although the species *Pinus maximinoi* H. E. Moore shows rapid growth and volumetric development, it also has high levels of genetic variability and source populations have deformations in the shaft, such as bifurcations and foxtailing. Thus, the main objectives of the present study were to assess the genetic control of growth characteristics, stem form factor, and wood resistance in a *P. maximinoi* progeny test as well as develop a selection index for genetic gains to establish a seedling seed orchard. The progeny test was established in the municipality of Telêmaco Borba, Paraná State, Brazil, with a randomized complete block design, containing 78 open pollinated progenies, in single plant plots, 20 repetitions, and a spacing of 2.5 x 3.0 m. Measurements of growth characteristics were taken at five years of age and included diameter at breast height (DBH, cm), height (ALT, m), volume (VOL, m³), stem form factor (FF), branch arrangement (DR), and wood resistance to drilling (RES). For FF and DR, a classification system was used with a ranking of 1 to 4. RES was obtained with the IML Resistograph®. A selection index (IS) was developed by grouping the BLUPs of the characteristics of interest to create a new index to select the best genetic materials. The estimated genetic variability for the progeny test indicates the possibility of obtaining genetic gains with selection. The coefficient of genetic variation (CV_g %) ranged from 14.42% for VOL to 4.11% for RES. The coefficient of narrow sense heritability (h_a^2) was high for height (0.55) and average for the other characteristics (DBH: 0.32; VOL: 0.42; RES: 0.42; FF: 0.33; and DR: 0.29). The IS was used to select the best individuals from the progeny test, which was transformed into a seedling seed orchard by thinning the poorer performing trees, providing estimated gains through selection for DBH of 11.6%, VOL of 11.68%, RES of 1.1%, and FF of 12.2%. The results show the existence of genetic variability and high levels of heritability for the evaluated traits, and as such there is the possibility of pronounced genetic gains in the seeds harvested from the seed orchard.

Keywords: Forest Genetic Improvement; Selection index; Seedling seed orchard; Resistograph.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus* spp. pertence à família Pinaceae e é composto por 111 espécies, tendo o hemisfério norte como seu centro de origem (PRICE et al., 2000). Este gênero apresenta grande potencial silvicultural devido a sua ampla adaptação edafoclimática e alta produtividade, sua madeira gera múltiplos produtos como madeira para serraria, chapas e laminados, fibras para produção de celulose, entre outros (VITALE et al. 2010; MACEDO et al., 2015; MISSIO et al., 2015).

A espécie *Pinus maximinoi* H.E. Moore é a segunda espécie mais comum na América Central (DVORAK et al., 2000), essa espécie normalmente apresenta fustes retos e alturas que variam entre 20 a 35 m (PERRY, 1991). Porém algumas procedências apresentam tortuosidade excessiva e ramos grossos sendo necessária uma seleção para esses caracteres de forma do fuste e disposição dos ramos. A espécie ainda está nos seus primeiros ciclos de melhoramento, porém está se destacando dentro do setor florestal. Existem vários bancos de materiais genéticos desta espécie, os quais possibilitam explorar grande variabilidade genética garantindo ganhos a curtos, médios e longos prazos (COTTERILL, 1986; SHIMIZU, 2008; AGUIAR, et al., 2011).

O *P. maximinoi* é uma espécie tropical que vem ganhando destaque nas indústrias de celulose por apresentar boa qualidade de polpa celulósica e incremento volumétrico superior às outras espécies de *Pinus* comerciais tradicionalmente utilizadas (FRITZSONS et al., 2013). A madeira desta espécie apresenta baixo teor de extrativos em relação a outras espécies de pinus tropicais, como *P. caribaea hondurensis* ou *P. oocarpa*, e é adequada tanto para a polpação Kraft quanto para a polpação termomecânica (DVORAK et al., 2000). Também é adequada para construções, celulose de fibra longa e painéis de fibras, aglomerados, compensados (WRIGHT; WESSELS, 1992; IWAKIRI et al. 2001 e 2009; MENDES, 2001) e para celulose e papel (KLOCK, 2000).

Os programas de melhoramento genético das espécies florestais têm, como principal objetivo, o aumento da produtividade e da matéria-prima de maior qualidade, a resistência a pragas e doenças, adaptação as condições edafoclimáticas e manutenção da variabilidade genética (MORI, 1993). A forma do fuste tem influência significativa sobre as atividades de colheita, processamento, transporte e picagem da madeira e devido aos seus efeitos na com a formação de madeira pelo espessamento da parede de compressão (ZOBEL e TALBERT, 1984).

A análise de densidade básica da madeira é uma técnica de avaliação destrutiva e trabalhosa e onerosa, necessitando de mão de obra qualificada e equipamentos (XAVIER et al., 1997), e dentro do programa de melhoramento o abate de indivíduos selecionados geneticamente, para avaliação da densidade da madeira se torna inconveniente, pois se trata de um material genético único.

Atualmente, os programas de melhoramento priorizam a aplicação de novas ferramentas e técnicas, como a avaliação não destrutiva da madeira para determinação da densidade básica, como a utilização do equipamento *IML Resitograph*® que prediz a resistência da madeira à perfuração, indicando de forma indireta a densidade da madeira. A utilização do resistógrafo para determinar a densidade da madeira, já foi atestada por vários autores para as espécies *Pinus* (BARRIA et al., 2017; FUNDOVA et al., 2018) e para *Eucalyptus* (DOWNES et al., 2018; SILVA, 2019).

Para realizar uma seleção que engloba vários caracteres devemos utilizar um índice de seleção (IS), o qual é definido como a escolha de múltiplos caracteres de interesse de maneira rápida e eficiente, aumentando o valor genético agregado dos indivíduos superiores, utilizando um conjunto de informações de diferentes parâmetros para gerar um valor único (LAMBE et al., 2008; CUNNINGHAM; TAUEBERT, 2009).

O melhoramento genético de espécies perenes é baseado em testes de procedências e progênies que são utilizados para predizer os valores genéticos e genotípicos dos indivíduos e seus genitores, bem como para estimar os parâmetros genéticos (RESENDE, 1991). Caracteres de interesse econômico como os de crescimento (diâmetro, altura e volume) e os de forma do fuste, ramos e resistência da madeira à perfuração, apresentam forte controle genético, sendo esses caracteres passíveis de melhoramento mediante poucos ciclos de seleção (MORI, 1988; RESENDE, 1999).

As estimativas dos parâmetros genéticos desses caracteres são fundamentais para os melhoristas realizarem a seleção de indivíduos superiores e garantirem o avanço dos programas de melhoramento genético. Com a seleção dos indivíduos de maiores valores genéticos e o desbaste do teste de progênie, são estabelecidos os pomares de sementes por mudas (PSM). Isto garantirá a produção de sementes geneticamente superiores para produção de mudas seminais, visto que a propagação vegetativa via estaquia a partir de árvores adultas de *Pinus* é restrita ou inviável (MORI, 1988).

O objetivo desta pesquisa é o de estimar os parâmetros genéticos e prever os valores genéticos de um teste de progênie de *Pinus maximinoi*, bem como o ganho genético a partir de um índice de seleção, para estabelecer um pomar de sementes por mudas, com variabilidade genética suficiente garantir avanço de gerações por vários ciclos de seleção.

2. HIPÓTESES

O presente estudo se baseou na hipótese de que há variabilidade genética entre e dentro das progênes de *P. maximinoi* para garantir ganho genéticos com o avanço dos ciclos de seleção recorrente. Trabalhamos com a hipótese de que a utilização de um índice de seleção que possa ser indicativo dos indivíduos do teste com melhor performance em crescimento, forma do fuste e qualidade da madeira, para formar um único caráter, para embasar o melhorista a realizar a seleção dos materiais geneticamente superiores, mantendo a variabilidade genética sem a perda de alelos favoráveis.

3. OBJETIVOS GERAIS

Estimar os parâmetros genéticos de um teste de progênie de polinização aberta de *Pinus maximinoi* predizendo os valores genotípicos, bem como o ganho genético por meio de um índice de seleção, a fim de estabelecer um pomar de sementes por mudas, com variabilidade genética suficiente para avançar gerações de melhoramento genético.

3.1 Objetivos específicos

- Estimar os parâmetros genéticos dos caracteres de crescimento (diâmetro a altura do peito, altura e volume), forma do fuste, disposição dos ramos e da resistência da madeira a perfuração.
- Estimar a variabilidade genética do teste de progênie e do tamanho efetivo populacional.
- Estimar as correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres.
- Predizer ganhos genéticos a partir de um índice de seleção.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Descrição do gênero *Pinus*

O gênero *Pinus* spp. pertence ao grupo das *Gymnospermas* conhecidas como coníferas, é um dos onze gêneros da família Pinaceae e compreende 111 espécies, são monóicas e seu sistema reprodutivo é preferencialmente alógamo, com até 19% de autofecundação (MATHESON et al., 1989). Seu centro de origem é no hemisfério norte englobando Europa, Ásia, América do Norte e Central (PRICE et al., 2000; DVORAK et al., 2000).

Este gênero tem grande importância econômica garantindo o abastecimento do setor madeireiro com o manejo das florestas plantadas (SHIMIZU, 2008). Apresenta grande importância no setor de celulose e papel, sendo fonte de fibras longas, fundamentais para dar resistência na fabricação dos papéis (MACEDO et al., 2015; MISSIO et al., 2015). O diferencial deste gênero é a capacidade de gerar multiprodutos, como uso nas indústrias de laminação, compensados e serrarias, e para o setor industrial de papel e celulose, entre outros produtos (CARGNIN, 2005; AGUIAR et al., 2011).

Os primeiros plantios comerciais de *Pinus* no Brasil foram estabelecidos na década de 1960 implantadas pelo Instituto Florestal de São Paulo, nas regiões Sul e Sudeste com a finalidade de produzir madeira para laminação, aglomerados, celulose, madeira para serraria e produção de móveis (AGUIAR et al., 2011). São plantadas diversas espécies do gênero *Pinus* no Brasil com interesse comercial, devido a seus caracteres de rápido crescimento e adaptação as condições edafoclimáticas. Dentre estas espécies estão o *P. taeda* L, *P. elliottii* Engel., *P. patula* Schltldl & Cham., *P. caribaea* Mor., *P. tecunumanii* e *P. maximinoi* (SEBBENN et al., 2008a).

As florestas plantadas de *Pinus* atualmente ocupam 1,6 milhões de hectares e concentram-se na região do sul do Brasil, principalmente nos estados do Paraná, com 42% dos plantios e Santa Catarina com 34%. Nessas regiões as condições edafoclimáticas são favoráveis ao bom desenvolvimento das espécies. Em 2018, o Brasil liderou o ranking global de produtividade florestal, com uma média de 30,1 m³/ha ao ano nos plantios de *Pinus*, de acordo com as informações reportadas pelas principais empresas do setor (IBÁ, 2019).

4.2 Descrição da espécie

A espécie de *Pinus maximinoi* H.E. Moore é a segunda espécie mais comum na América Central, ocorre naturalmente do México ao norte da Nicarágua. Onde ocorrem precipitações médias de 900 mm a 2.200 mm por ano. Apresenta maior incidência em áreas cuja precipitação é superior a 1.200 mm e as altitudes variam de 700 m a 2.400 m (DVORAK et al., 2000).

Normalmente apresenta fustes retos e alturas que variam entre 20 a 35 m, os galhos são horizontais e possuem copa densa e arredondada (PERRY, 1991; AGUIAR et al., 2011), apresentam acículas com comprimentos de 15 a 28 cm, pendentes, com as margens ligeiramente serrilhadas, geralmente em grupos de cinco. Os cones são longos e ovalados, assimétricos, em grupos de três a quatro, fixos em pedúnculos de 10 a 15 mm (Figura 1) (SHIMIZU, 2005). Apresenta algumas procedências com tortuosidade excessiva e ramos grossos sendo necessário o melhoramento dos caracteres associadas à forma do fuste, disposição dos ramos. Portanto, deve-se trabalhar a variabilidade genética da espécie para esses caracteres dentro das estratégias do programa de melhoramento (COTTERILL, 1986).

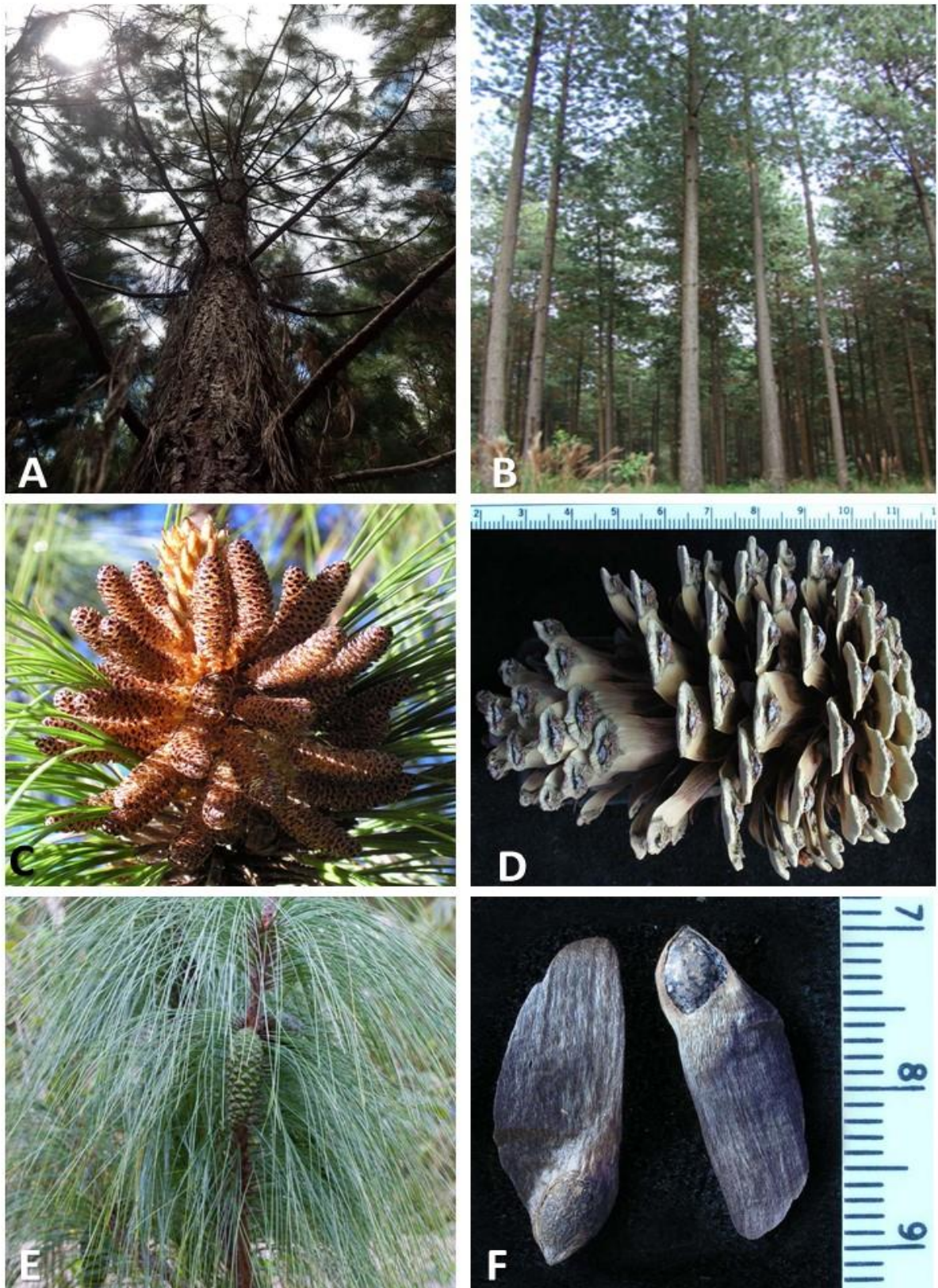


Figura 1 - **A**- Fuste do *P. maximinoi* aos 5 anos de idade (Autor, 2019); **B**- Plantio aos 21 anos de idade (SHIMIZU, 2008); **C**- Amentilhos (EARLE, 2005); **D**- Cone (EARLE, 2005); **E**- Acículas (MONTIEL); **F**- Sementes (EARLE, 2005).

Estudos de melhoramento genéticos e de caracteres tecnológicos da madeira de *P. maximinoi* ainda são poucos, e se fazem cada vez mais necessário para a introdução desta espécie em plantios comerciais e abastecer o mercado florestal. Os programas de melhoramento estão nos primeiros ciclos de seleção e os materiais genéticos de *P. maximinoi* já destacam, apresentando incremento volumétrico superior, às espécies comumente plantadas (FRITZSONS et al., 2013). Segundo Aguiar et al. (2011), os bancos de materiais genéticos disponíveis ainda possuem uma grande variação genética e que pode ser explorada, gerando indivíduos geneticamente superior. Dessa forma, esta é mais uma espécie que tem como opção para a diversificação de espécies em plantios comerciais propostos para a produção de madeira sólida e polpa celulósica.

Em plantios na África do Sul aos dez anos de idade, a madeira de *P. maximinoi* possui densidade de 0,456 g/cm³ (WRIGHT e WESSELS, 1992). No Brasil no município de Telêmaco Borba - PR a densidade básica da madeira aos 14 anos 0,417 g/cm³ (COELHO, 2017). Klock (2000) obteve densidade básica da madeira de 0,409 g/cm³ para *P. maximinoi* aos 11 anos de idade na região de Ventania-PR. Trianoski et al. (2013) obteve 0,467 g/cm³ para a espécie aos 18 anos de idade. Apresenta uma coloração clara e é considerada de alta qualidade pois pode ser usada para produção de celulose e papel e para processamentos mecânicos (SHIMIZU, 2008; AGUIAR et al., 2011). A madeira é adequada para diversas utilizações, como madeira serrada, painéis, celulose e papel (DVORAK et al., 2000; MALAN, 2006; IWAKIRI et al., 2012).

A cooperativa *Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative* (CAMCORE), com sede na Universidade da Carolina do Norte, vem realizando testes com essa espécie em diferentes países como Brasil, Colômbia, Honduras, México, África do Sul, Venezuela e Zimbábue, utilizando um material de origem com 26 procedências e mais de 800 matrizes (DVORAK et al., 2000).

No Brasil há alguns trabalhos desenvolvidos com esta espécie, confirmando o seu potencial para produção em escalas comerciais (FIER, 2001; COELHO, 2017; BIENARSKI, 2018; SANTOS et al., 2018), no estado do Paraná, no município de Telêmaco Borba-PR. Fier (2001) mostrou que a espécie *P. maximinoi* com oito anos de idade, obteve incremento volumétrico superior a espécie *Pinus taeda* L., a mais plantada no estado. Outros autores

encontraram resultados semelhantes (GAPARI et al.,2001; KLOCK, 2000; FRITZSONS et al.,2013) que demonstram o grande potencial produtivo desta espécie.

Algumas procedências de *P. maximinoi* têm apresentado boa forma do fuste e alto incremento na região sul e cerrado, indicando o potencial para ser plantado em toda a região tropical e subtropical, porém em lugares onde ocorre baixa altitude, a espécie tende a apresentar alta incidência de rabo-de-raposa “*fox-tail*” (AGUIAR et al., 2011). Além de desenvolver o *fox-tail*, outra das suas limitações de plantio é a baixa tolerância às geadas, principalmente, nos primeiros anos do plantio (SHIMIZU e SEBBENN, 2008), onde causam a morte dos brotos terminais dos ramos, a deformação do fuste e até a morte da planta (DVORAK e DONAHUE, 1992). Uma de suas limitações é a baixa disponibilidade de sementes comerciais, sendo importante o desenvolvimento de um programa de melhoramento genético, visando a produção de pomares de sementes geneticamente melhoradas (SHIMIZU, 2008).

A distribuição geográfica natural e a coleta de sementes das matrizes da espécie de *Pinus maximinoi* pela *Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative* (CAMCORE) é apresentada na Figura 2 (GAPARE; HODGE; DVORAK, 2001).

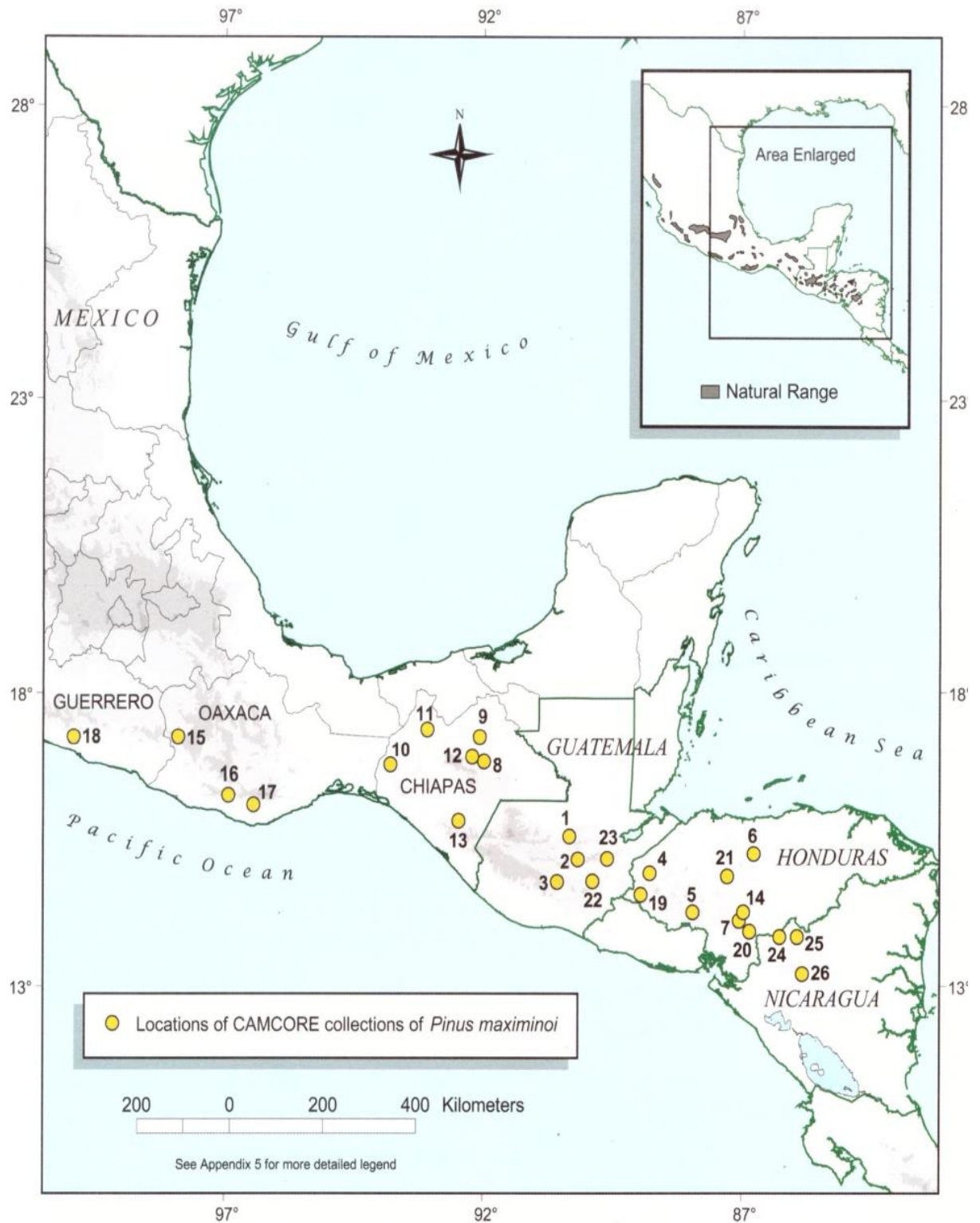


Figura 2 - Distribuição geográfica da ocorrência natural da espécie do *Pinus maximinoi* (pontos pretos) e matrizes de coletas de sementes da CAMCORE. Fonte: Gapare, Hodge e Dvorak (2001).

4.3 Melhoramento genético

Um programa de melhoramento genético busca selecionar indivíduos geneticamente superiores que contemplem os caracteres desejados, conforme o objetivo do produto final da madeira. Portanto, deve-se selecionar materiais mais produtivos com grande plasticidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, tolerância a pragas e doenças e manter a diversidade genética da população para garantir avanço genético a curto e longo prazo (KAGEYAMA; VENCovsky, 1983; MORI, 1993; FOELKEL, 2012; GAPARE, 2013). Para alcançar um bom programa de melhoramento florestal deve-se estabelecer estratégias eficientes com base nos mecanismos genéticos que controlam as heranças dos caracteres (RESENDE, 1999).

Para as espécies florestais, após a seleção do material a ser melhorado devemos estabelecer a sua população base inicial a ser trabalhada, a qual deve conter variabilidade genética elevada, garantindo o progresso genético das futuras gerações. Segundo Resende (1999) o ideal é obter um número elevado de procedências para a implantação da população base, garantindo grande intensidade de seleção e mantendo o tamanho efetivo da populacional. A partir das populações base, estabelecemos testes de progênies e obtemos os parâmetros genéticos possibilitando inferir sobre a população testada, inclusive com correlações genéticas e fenotípicas entre idades precoces e de corte, diminuindo o tempo de seleção (FALCONER, 1987; MORI, 1993).

O melhoramento genético de *Pinus* no Brasil, foi implementado inicialmente por empresas florestais, principalmente indústrias de celulose e papel e instituições públicas e privadas de ensino e pesquisa, onde foram obtidos ganhos genéticos operacionais relevantes, e quais continuam obtendo ganhos e aumentando a variabilidade genética, inserindo novas espécies com caracteres de interesse (AGUIAR et al., 2011).

Uma etapa de suma importância para os programas de melhoramento genético de *Pinus* é a produção de sementes geneticamente superiores, devido à baixa taxa de propagação vegetativa destas espécies, sendo fundamental a implantação de pomares de sementes (MORI, 1988). Portanto define-se um PSM como uma plantação de árvores selecionadas geneticamente através de um teste de progênies, estabelecida através de mudas oriundas de sementes e isoladas para evitar a polinização indesejada de indivíduos inferiores, (FONSECA et al., 2010; SHIMIZU et al., 2017), intensivamente manejada para a máxima produção de sementes e com

condições de fácil colheita. As árvores matrizes componentes do pomar são selecionadas para algumas características específicas como alta produtividade em alguma região específica, rápido crescimento, densidade da madeira, tolerância a fatores adversos do ambiente (HOPPE et al., 2004).

Para implantação do PSM, os indivíduos geneticamente inferiores são removidos do teste de progênie, para ocorrer a polinização aberta ou cruzamentos controlados entre as árvores selecionadas geneticamente (FOELKEL, 2011). A intensidade de seleção do PSM deve manter um tamanho efetivo (N_e) de ≥ 100 , após o desbaste dos indivíduos inferiores (FONSECA et al., 2010).

4.4 Parâmetros genéticos

Os parâmetros genéticos são valores numéricos que possibilitam fazer inferências sobre a estrutura genética de uma população para vários caracteres obtidos a partir de dados coletados em testes de progênies (RESENDE, 1991). Dentro de um programa de melhoramento, os principais parâmetros genéticos são as variâncias genéticas aditivas (σ_A^2) e não aditivas (σ_{NA}^2), os coeficientes de herdabilidades, as correlações genéticas entre os caracteres, e a interação entre os efeitos ambientais com os efeitos genéticos (ROBINSON e COCKERHAM, 1965).

Os testes de progênies, tanto a partir de áreas de polinização livre como de cruzamentos controlados, são de grande importância nos programas de melhoramento, já que se prestam para a determinação do valor reprodutivo dos indivíduos selecionados e estimação dos parâmetros genéticos da população (ODA et al., 1986).

Os estudos da variação genética entre populações naturais são fundamentais para o conhecimento da estrutura das populações. Esses estudos podem ser realizados eficientemente a partir do uso de testes de procedências e progênies. Os parâmetros como o coeficiente de variação genética entre progênies e dentro de progênies, obtidos a partir desses testes, permitem avaliar a variabilidade genética das espécies, sendo muito utilizados para estudos genéticos iniciais com espécies nativas (RESENDE, 1999). Primordialmente, para se obter estimativas de parâmetros genéticos devemos estabelecer um teste de progênies, pois estes garantem informações sobre o potencial genético dos indivíduos testados (RESENDE, 1991). Para a

obtenção dos parâmetros genéticos se faz necessário as estimativas dos componentes de variância, para a predição dos ganhos genéticos (MORI, 1993). Desses os que mais interessam do melhorista, quando se avalia progênes são as variâncias genéticas aditivas e não aditivas, os componentes de herdabilidade, as interações genéticas e ambientais e as correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992; COSTA, 1999).

Um dos principais parâmetros que deve ser verificado é a herdabilidade, pois garante a confiabilidade do valor fenotípico indicando o valor reprodutivo. No entanto, estas estimativas de herdabilidades não são um parâmetro constante pois são uma razão entre variâncias, as quais variam em função do caráter, condições ambientais, idade (WRIGHT, 1976). As herdabilidades expressam a quantidade da variabilidade genética disponível dentro da população. Estes coeficientes de herdabilidades estão presentes em todas as fórmulas relacionadas com os ganhos genéticos (ZOBEL e TALBERT, 1984; BOREM, 1997; MIRANDA, 2012).

Dentre os parâmetros genéticos, a variância genética aditiva (σ_A^2) é o componente mais importante, pois é a principal causa da semelhança entre parentes, logo ela é o principal indicador das propriedades genéticas observadas em uma população e sua resposta à seleção (FALCONER, 1981; VENCOVSKY, 1987). As correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres, indicam o grau de associação entre eles, portanto por meio da alteração de um caráter influenciaremos no comportamento de outro (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Para a obtenção dos parâmetros genéticos dentro do melhoramento florestal, atualmente, a metodologia mais utilizada é a de REML/BLUP (Restricted Maximum Likelihood / *Best Linear Unbiased Prediction*), pois ela apresenta a característica de corrigir os dados para os efeitos ambientais, realizando comparações simultâneas dos indivíduos, produzindo dados com maior acurácia e não viesados. Sua aplicação se faz necessária quando se tem dados desbalanceados e maximiza o ganho genético considerando o parentesco entre os indivíduos dentro do melhoramento genético florestal das espécies (RESENDE, 2007a; PIRES et al., 2011).

O tamanho efetivo populacional (N_e) deve ser considerado nos programas de melhoramento genético, pois indica a possibilidade de haver endogamia dentro da população selecionada a longo prazo (RESENDE, 1999). O N_e refere-se ao tamanho genético de uma

população reprodutiva e não a sua composição em número de indivíduos (VENCOVSKY e CROSSA, 2003). Um N_e pequeno, indica que apenas certo número de indivíduos participa efetivamente do intercruzamento, com vista à regeneração da nova população, conduzindo a uma ocorrência de deriva genética e o aumento da endogamia na nova população (PINTO JÚNIOR, 2004).

Para manter ganhos genéticos a longo prazo, um programa de melhoramento deve manter uma população base com capacidade de manter a variabilidade durante várias gerações (RESENDE e BARBOSA, 2005), a fim de evitar a perda de alelos favoráveis ao longo dos ciclos de melhoramento (FONSECA et al., 2010). O N_e necessário para a obtenção do teto seletivo, de maneira geral, não é de grande magnitude, sendo considerado de 30 a 60 o suficiente para manter a manutenção de variabilidade genética para o melhoramento em curto e longo prazo (RAWLINGS, 1980; KANG, 1979; PEREIRA; VENCOVSKY, 1988; RESENDE, 1995a; LEONARDECZ-NETO et al., 2003).

4.5 Índice de seleção

A introdução da utilização de índices de seleção no melhoramento de plantas se deu pelo autor Smith (1936) e posteriormente por Hazel (1943) em culturas agrícolas. Atualmente, vem apresentando resultados expressivos na área florestal principalmente com *Eucalyptus* (RESENDE et al., 1990; PIRES et al., 1996; PAULA et al., 2002).

O índice de seleção é definido como a escolha de múltiplos caracteres de interesse de maneira rápida e eficiente, aumentando o valor genético agregado dos indivíduos superiores, utilizando um conjunto de informações de diferentes parâmetros para gerar um valor único (LAMBE et al., 2008; CUNNINGHAM e TAUEBERT, 2009). Dessa forma, adicionamos esta técnica aos programas de melhoramento genético florestal para obter maior eficiência, aplicando porcentagem de importância para cada carácter conforme os objetivos definidos para o programa de melhoramento genético (DUBEUF e BOYAZOGLU, 2009; LÔBO et al., 2010).

Para aumentar a eficiência do índice de seleção, podemos elaborá-los a partir de estimativas de parâmetros genéticos de cada carácter obtidos pelo método de análise de variâncias de modelos mistos REML/BLUP, estimando os valores genéticos para adicionar ao

índice aumentando sua acurácia (RESENDE, 2002). A utilização de índices de seleção é uma estratégia eficaz para obter ganhos simultâneos em vários caracteres, pois permite a combinação de vários caracteres desejáveis durante a seleção, e atender os objetivos finais do melhoramento (RESENDE et al., 1990; BHERING et al., 2012).

4.6 Resistência da madeira à perfuração

A densidade básica da madeira é um dos principais caracteres da madeira que são avaliados dentro dos programas de melhoramento. Isto é devido à alta correlação que apresenta com o consumo específico ($\text{m}^3/\text{tonelada}$ de celulose), quanto maior for a densidade, menor será seu consumo ($\text{m}^3/\text{tonelada}$) no digestor, ocasionando um aumento na produção de celulose (BERGER, 2000; GOMIDE, 2010).

A avaliação convencional da densidade básica da madeira depende do abate da árvore o que é um grande obstáculo, pois se trata de um material genético de valor único dentro da população. A fim de contornar esse obstáculo, algumas técnicas estão sendo testadas e aprimoradas (GONÇALVES et al., 2007), entre os vários métodos de avaliação não destrutivos para determinação da densidade da madeira, destaca-se o resistógrafo (LIMA et al., 2007) com grande potencial para avaliação da qualidade da madeira. A aplicação de ferramentas que permitam uma eficiente amostragem, baixo custo e não destrutiva são fundamentais na avaliação da qualidade da madeira, para os programas de melhoramento florestal (OLIVEIRA et al., 2017).

O equipamento *IML Resistograph*[®] é um instrumento que faz a avaliação indireta de densidade, por meio da resistência da madeira à perfuração, é de fácil utilização, rápido e confiável em suas mensurações (MANTILLA et al., 2013; DIAS et al., 2017). O equipamento resistógrafo utiliza uma broca de 3 mm de diâmetro, a qual perfura a madeira a uma determinada velocidade, registrando a profundidade e as amplitudes a cada centímetro em que a broca avança, esses valores são registrados no aparelho, gerando gráficos, que posteriormente podem ser correlacionados com a densidade da madeira (ISIK et al., 2003). As variações na resistência da broca ao perfurar são ocasionadas pelas alterações da densidade da madeira dentro e entre os anéis de crescimento e com as mudanças das camadas de cerne e alborno (SILVA, 2019).

A utilização do resistógrafo tem como vantagem a praticidade e portabilidade do equipamento, avaliação não destrutiva (CARDIN, 2011), confiabilidade dos dados e relativamente barato, mensuração de grandes números de árvores em pouco período de tempo (OLIVEIRA et al., 2017). Essas características possibilitam o seu uso nas avaliações de testes de progênies e em áreas de conservação auxiliando a seleção em programas de melhoramento genético (ISIK et al., 2003).

Os dados produzidos pelo aparelho são o diâmetro interno sem casca, a resistência média observada pela agulha do equipamento (*Core_Resistance*), e a resistência média circular ponderada (*Disk_Resistance*). Estes valores de resistência são utilizados para determinar a seleção dos melhores indivíduos sem a necessidade de convertê-los para densidade básica, pois apresentam correlações positivas com a densidade básica da madeira.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição do experimento

Para o desenvolvimento do projeto, foram avaliadas sementes de progênies polinização livre de *P. maximinoi* de um pomar sementes por mudas de primeira geração, foram coletadas na empresa Klabin S.A. no município de Telêmaco Borba, Paraná. Foi implantado um teste de progênie que possui um total de 78 progênies e quatro testemunhas de *P. taeda*. O delineamento experimental utilizado foi de blocos completos ao acaso, com uma planta por parcela (*Single Tree Plot*) com 20 repetições, e com bordadura quádrupla (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados do experimento de teste de progênies de *Pinus maximinoi* aos 5 anos de idade em Telêmaco Borba, PR.

Parâmetros	Descrição
Teste de progênie	<i>P. maximinoi</i>
Latitude	24°21'59,19" S
Longitude	50°30'3,44" O
Altitude (m)	800
Data de plantio	11/02/2013
Área total	1.8 ha
Número de tratamentos	82
Número de repetições	20
Número de árvores por parcela	1
Espaçamento inicial (m)	2,5 x 3,0
Nº de árvores estabelecidas	1.640
Precipitação média anual (mm)	1.646
Temperatura média anual (°C)	18,6
Classificação de Köppen e Geiger	Cfa/Cfb
Tipo de solo	Latossolo vermelho distrófico

Fonte: O Autor (2019).

O teste de progênie foi implantado na região florestal denominada Agronomia, no município de Telêmaco Borba, estado do Paraná (Figura 3). As procedências utilizadas para implantação do teste de progênie podem ser observadas no Anexo 1. O clima conforme a classificação de Köppen e Geiger (1936) é Cfa/Cfb - Subtropical transicional para o temperado, úmido, mesotérmico, sem estação seca definida, com pluviosidade média anual de 1.646 mm com temperatura média de 18,6 °C (IAPAR 2018).



Figura 3 – Teste de progênie de *Pinus maximinoi*, localizado no município de Telêmaco Borba - PR. Imagem obtida na data 07/02/2018. Fonte: GoogleEarth (2019).

5.2 Avaliação de crescimento

Foram mensurados os seguintes caracteres: diâmetro a altura do peito (DAP a 1,30 m do solo), altura individual das progênies (H, m), e assim estimando o volume (VOL, m³) de todas as árvores aos cinco anos de idade. Para obtenção do caráter volume foi utilizada a equação 1.

$$Vol = 0,00003 * dap^2 * h \quad (1)$$

5.3 Avaliação de forma do fuste e disposição dos ramos

Para os caracteres forma do fuste (FF) e disposição dos ramos (DR) foram utilizados critérios de avaliação visual em toda a extensão do fuste. Estas avaliações consistiram em atribuir notas classificatórias de 1 a 4 considerando a retidão, disposição dos ramos, espessura dos ramos e bifurcações (Tabela 2). A determinação destas notas ocorreu após a uma avaliação fenotípica preliminar do teste de progênie de *Pinus maximinoi*.

Tabela 2- Critérios para classificação dos indivíduos quanto a forma do fuste e disposição dos ramos para *Pinus maximinoi*.

FF1	Fuste com problema grave, bifurcada ou <i>fox-tail</i>
FF2	Fuste tortuoso
FF3	Fuste com leve tortuosidade
FF4	Fuste reto
DR1	Muitos ramos, grossos e tortuosos
DR2	Ramos tortuosos e grossos
DR3	Ramos tortuosos e finos
DR4	Copa bem definida, com ramos finos

FF: Forma do fuste; DR: Disposição dos ramos. Fonte: O Autor (2019).

Estas avaliações serviram como base de dados para as análises genéticas e assim determinar o ordenamento dos melhores indivíduos a serem selecionados no programa de melhoramento.

5.4 Resistência da madeira à perfuração

A Resistência da madeira à perfuração (RES) foi obtida utilizando o aparelho furadeira *IML Resistograph*[®] (Figura 4), que possui correlação positiva com a densidade básica da madeira.



Figura 4 - Avaliação da resistência da madeira com Resistógrafo *IML Resistograph*[®] em teste de progênies de *Pinus maximinoi* aos 5 anos de idade em Telêmaco Borba, PR. Fonte: O Autor (2019).

Os dados foram obtidos no diâmetro a altura do peito (1,30 m) com o equipamento ajustado para 100 cm/minutos e 2.500 rpm. Manteve-se o cuidado com a orientação da broca do resistógrafo no tronco, de maneira que ela atravessasse o mais proximamente possível da região da medula. O aparelho registra as informações em um gráfico de amplitudes permitindo a visualização das oscilações existentes ao longo do perfil transversal que representam as variações existentes de resistência e densidade entre o lenho tardio e juvenil (Figura 5).

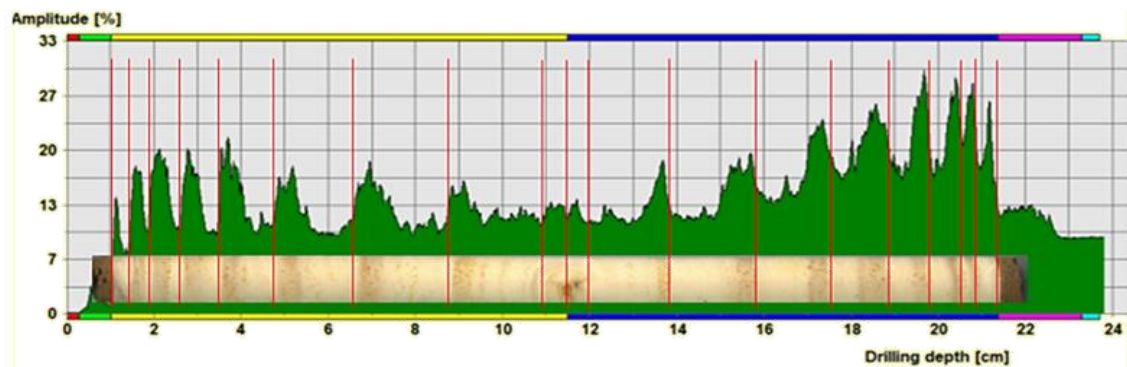


Figura 5 - Visualização de um perfil gráfico no programa PD-Tools Pro, produzido pelo resistógrafo, correlacionando os picos de amplitudes do gráfico com os anéis de crescimento de uma bagueta em teste de progênies de *P. maximinoi* aos 5 anos de idade em Telêmaco Borba, PR. Fonte: CAMCORE, 2017.

Os dados do gráfico de amplitudes foram convertidos em unidade de resistência no programa estatístico R (R Core Team, 2019), com um *script* desenvolvido pela CAMCORE (ACOSTA; HODGE, 2018) para extrair os valores de resistência da madeira à perfuração. O *script* gera uma apresentação gráfica de cada amostra (Figura 6) e os dados numéricos, em uma planilha com o diâmetro interno sem casca, *Core_Resistance* (resistência média observada pela agulha do equipamento) e a *Disk_Resistance* (resistência média circular ponderada). Assim, o programa atribui a cada observação um peso baseado em sua contribuição relativa em termos de sua circunferência.

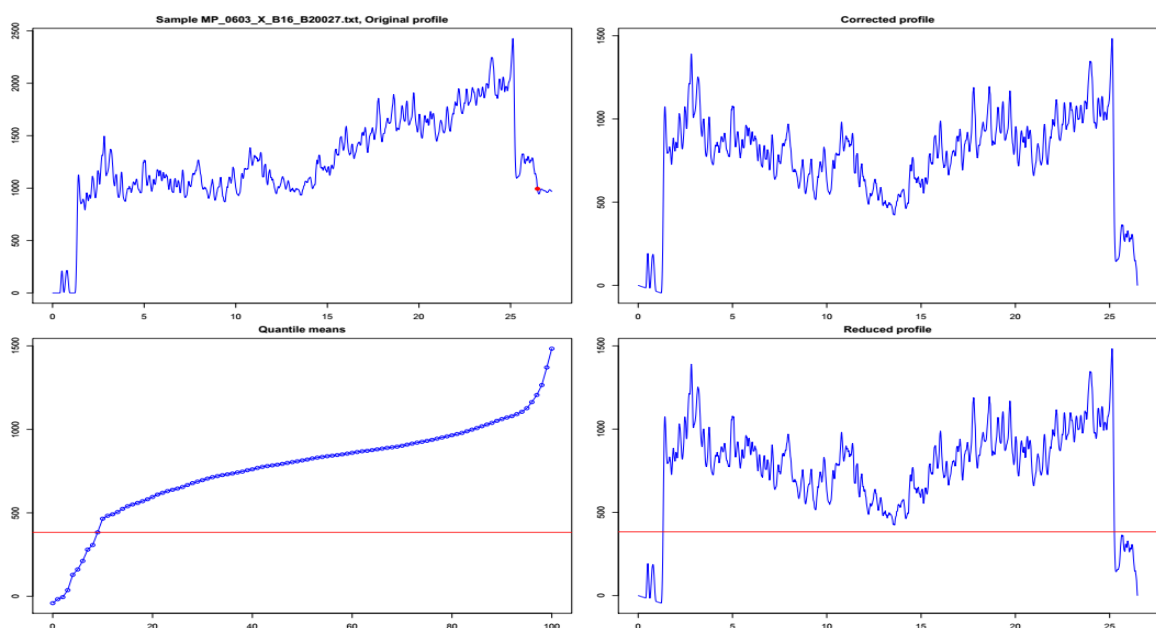


Figura 6 - Gráfico de saída (ilustrativo), produzido pelo *script* (Acosta e Hodge, 2018) dentro do ambiente estatístico R. Fonte: O Autor (2019).

5.5 Parâmetros genéticos

Para as estimativas dos componentes de variância foi utilizado o método *Restricted Maximum Likelihood* (REML) combinado com o procedimento de *Best Linear Unbiased Prediction* (BLUP) utilizando o pacote estatístico lme4 (BATES et al., 2015), por meio do ambiente estatístico R (R Core Team, 2018), pelo seguinte modelo (Equação 2):

$$y = X_{\beta} + Z_g + e \quad (2)$$

em que: X_{β} : vetor de efeitos fixos associados ao bloco; Z_g : vetor de efeitos aleatórios associados às progênes (Tratamentos); e : erro experimental. A significância dos efeitos aleatórios do modelo foi constatada por meio da razão de verossimilhança (LRT) utilizando o teste de qui-quadrado com 1 grau de liberdade.

Os coeficientes de herdabilidades foram estimadas ao nível individual no sentido restrito (h_a^2), equação 3, herdabilidade média entre progênes (h_m^2), equação 4.

$$h_a^2 = \frac{4\sigma_p^2}{\sigma_p^2 + \sigma_e^2 + \sigma_d^2} \quad (3) \quad h_m^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2 + \frac{\sigma_e^2}{b} + \frac{\sigma_d^2}{nb}} \quad (4)$$

em que: σ_g^2 : variância genotípica das progênes; σ_p^2 : variância das populações; σ_d^2 : variância dentro; σ_e^2 variância do erro dentro de progênes; b : número de repetições; n : plantas/parcela.

As estimativas dos coeficientes de variação genético (CV_g %) pela equação (5) foram obtidos por variação experimental (CV_e %) na equação 6. Para amparar a seleção das melhores progênes foi estimada a acurácia na seleção das progênes (r_{aa}) pela equação 7. Por meio de uma relação entre os coeficientes de variação obtivemos o coeficiente de variação relativa (\hat{b}) pela equação 8.

$$CV_g(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (5) \quad CV_e(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (6)$$

$$r_{aa} = \sqrt{h_m^2} \quad (7)$$

$$b = \frac{CV_{gi}}{CV_g} \quad (8)$$

Em que \bar{x} : média da variável em análise; e $\hat{\sigma}_e$: variância do erro.

As correlações genéticas (r_g) entre os caracteres foram avaliadas em nível de plantas individuais, usando a equação 9, em que $\sigma_{p_x p_y}$ é o produto genético cruzado dos caracteres x e y ; $\sigma_{p_x}^2$ e $\sigma_{p_y}^2$ são as variâncias genéticas entre progênies para os caracteres x e y , respectivamente. As correlações fenotípicas (r_f) foram estimadas de maneira similar. Os produtórios cruzados foram estimados por meio da análise de covariância, utilizando ambiente estatístico R (R Core Team, 2019), o teste de significância estatística utilizado foi o teste t .

$$r_g = \frac{\sigma_{p_x p_y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{p_x}^2 \hat{\sigma}_{p_y}^2}} \quad (9)$$

Para a estimativa do tamanho efetivo populacional foi utilizada a equação 10 abaixo, definida para seleção em populações experimentais monoicas alógamas com vários números de indivíduos selecionados por família de meios irmãos (RESENDE e BERTOLUCCI, 1995b), onde : N_e é o tamanho efetivo populacional; N_f é o número de progênies amostradas; \bar{K}_f é o número médio de indivíduos selecionados por progênies; σ_{kf}^2 é o variância do número de indivíduos selecionados por progênies.

$$N_e = \frac{4N_f \bar{K}_f}{\bar{K}_f + 3 + \left(\frac{\sigma_{kf}^2}{\bar{K}_f}\right)} \quad (10)$$

O ganho genético de seleção (G_s) foi estimado pela equação 11, onde ds é o diferencial de seleção ($ds = \bar{y}_s - \bar{y}_p$), sendo \bar{y}_s a média das progênies selecionadas e \bar{y}_p é a média de todas as progênies. Os ganhos genéticos de seleção em porcentagem ($G_s\%$) foram estimados por meio da equação 12:

$$G_s = ds * h_a^2 \quad (11)$$

$$G_s\% = \frac{G_s}{\bar{y}_p} * 100 \quad (12)$$

Os valores genéticos dos indivíduos foram obtidos pela metodologia REML/BLUP, realizando o ordenamento dos materiais geneticamente superiores (Equação 13).

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (13)$$

Após a obtenção dos BLUPs para todos os caracteres, foram elaborados quatro índices de seleção com diferentes graus de importância (Tabela 3) para os caracteres que são considerados essenciais para o programa de melhoramento genético da espécie. A porcentagem de importância foi determinada conforme as estratégias do programa de melhoramento. Realizou-se o ordenamento dos melhores indivíduos para os quatro índices de seleção, e por meio de uma avaliação gráfica e fenotípica dos indivíduos selecionados, determinou que o IS2 apresentou o melhor ordenamento, optando pela escolha deste índice de seleção para realizar a seleção genética dos melhores indivíduos.

Tabela 3- Porcentagem de importância do carácter no índice de seleção (IS) para o teste de progênie de *Pinus maximinoi* aos cinco anos de idade em Telêmaco Borba, PR.

Caracteres	IS1 %	IS2 %	IS3 %	IS4 %
Diâmetro a altura do peito (DAP) (cm)	50	45	40	60
Altura (ALT) (m)	15	10	10	5
Forma do Fuste (FF)	15	20	20	15
Diâmetro dos Ramos (DR)	5	10	10	5
Resistência da madeira à Perfuração (RES)	15	15	20	15
Total	100%	100%	100%	100%

Fonte: O Autor (2019).

Para o cálculo dos índices de seleção foi utilizada a equação 14.

$$IS = [(a_1 * G_{dap}) + (a_2 * G_h) + (a_3 * G_f) + (a_4 * G_g) + (a_5 * G_r)] \quad (14)$$

em que *IS* é uma função linear dos índices de seleção; *G* são os valores genéticos (BLUP) para cada um dos carácter de interesse; *a* são os valores de porcentagem de importância para o programa de melhoramento conforme o carácter (HAZEL, 1943).

Para a comparação, foram estimados os ganhos genéticos de seleção utilizando o índice de seleção e outro com os dados dos BLUP do carácter volume. Após o ordenamento e seleção dos melhores genótipos, foi realizado o desbaste do teste de progênie, removendo os indivíduos inferiores, a fim de formar um pomar de sementes por mudas (PSM).

Para essa prática foi verificado fenotipicamente o ordenamento dos melhores materiais genéticos no campo, e assim foram selecionados e marcados os materiais que permaneceriam após o desbaste (Figura 7). A seleção foi realizada entre os tratamentos buscando manter pelo menos um indivíduo geneticamente superior por tratamento para preservar o material genético. Então foi realizado um desbaste seletivo com um *Harvester*, removendo os indivíduos inferiores geneticamente.



Figura 7 - Árvores selecionadas com fita azul, raspagem e identificação do tratamento. Fonte: autor 2018.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Parâmetros genéticos

Diferenças estatisticamente significativas entre as progênies para todos os caracteres avaliados foram observadas a partir de 1% de probabilidade pelo teste de razão de verossimilhança (LRT) (Tabela 4). Mostrando a existência de variabilidade genética entre as progênies que poderá ser explorada nos ciclos subsequentes de melhoramento genético.

Tabela 4 - Estimativas de parâmetros genéticos dos caracteres de crescimento, resistência da madeira à perfuração, forma do fuste e disposição dos ramos, para o teste de progênie de *Pinus maximinoi* aos cinco anos de idade, implantado no município de Telêmaco Borba – PR.

Carácter	DAP	ALT	VOL	RES	FF	DR
CV_g (%)	5,90	5,39	14,42	4,11	13,16	12,32
CV_e (%)	20,01	13,47	41,88	11,91	43,27	44,09
r_{aa}	0,682	0,785	0,737	0,737	0,693	0,662
b	0,295	0,40	0,344	0,345	0,304	0,279
h_a^2	0,320	0,552	0,424	0,425	0,339	0,290
h_m^2	0,465	0,616	0,542	0,543	0,481	0,439
Média	14,32	11,27	0,074	1016,86	2,50	1,94
Média testemunhas	12,39	8,88	0,044	925,56	2,65	2,17
LRT Progênies	195,3**	357,3**	263,54**	268,34**	204**	174,81**
LRT Bloco	1,49 ^{ns}	3,92**	1,03 ^{ns}	59,69**	1,10 ^{ns}	1,74*

** significativo a 1% de probabilidade; h_a^2 : Coeficiente de herdabilidade no sentido restrito; h_m^2 : Herdabilidade média de progênies; r_{aa} : Acurácia de seleção; CV_g (%): Coeficiente de variação genética; CV_e (%): Coeficiente de variação experimental; b : Coeficiente de variação relativa; LRT: Teste de razão da verossimilhança. DAP: Diâmetro a altura do peito; ALT: Altura total; VOL: Volume m³; RES: Resistência da madeira à perfuração; FF: Forma do fuste; DR: Disposição dos ramos. Fonte: O Autor (2019).

Para a LRT de blocos foi observado que para os carácter altura, resistência da madeira à perfuração e disposição dos ramos foram estatisticamente significativos. Os coeficientes de variação experimental (CV_e %) estimados, foram elevados para os caracteres disposição dos ramos (44,09 %), forma do fuste (43,27 %), volume (41,88 %) (Tabela 4), segundo a classificação Gomes e Garcia (2002) indicando forte influência ambiental sobre os caracteres avaliados. Um dos fatores que podem influenciar o aumento do CV_e % é a taxa de mortalidade, a qual foi de 9,45 % (155 árvores), afetando o controle do delineamento experimental de forma não aleatória, e beneficiando os indivíduos próximos das falhas. Para Resende (2007b), a qualidade experimental deve ser avaliada principalmente pela acurácia, e não somente pelo coeficiente de variação experimental.

Os demais caracteres apresentaram valores medianos a baixos, variando de 20,01% para diâmetro a altura do peito à 11,91% para resistência da madeira à perfuração (Tabela 4). Baixos e médios valores de CV_e indicam precisão na estimativa de componentes de variância. Os valores elevados para forma de fuste e disposição dos ramos podem ser explicados pela grande variação destes caracteres e pela avaliação ser fenotípica. Ettori et al. (2004), estudando *P. maximinoi*, também encontraram valores elevados de CV_e para forma (41,07 %) e disposição dos ramos (35,96 %). Volume apresentou um valor de CV_e alto o que é esperado, pois é estimado pela multiplicação dos dados de altura e diâmetro, acumulando erros de mensuração de ambas as variáveis (TAMBARUSSI et al., 2010). Outros estudos com espécies de *Pinus* têm demonstrado que os valores de CV_e estão variando de médios a altos em todos os caracteres (ROMANELLI et al., 2004; FREITAS et al., 2005; SOUZA, 2015; MOREIRA, 2017; SANTOS et al., 2018).

A acurácia de seleção (r_{aa}) representa a relação entre o valor genético verdadeiro e o estimado, indicando alta precisão na variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica (MORAES et al., 2007). Os valores observados de r_{aa} , variaram de 0,66 (disposição dos ramos) até 0,78 (altura), indicando boa qualidade experimental e precisão. De acordo com Resende (2002) valores de r_{aa} ideais são aqueles $\geq 0,70$ que garantem um bom acesso à variação genética real. Desta maneira quanto maior a acurácia maior a precisão e ganho genético na seleção.

O coeficiente de variação genética (CV_g %) expressa a magnitude da variação genética em relação à média do carácter (RESENDE, 1991). Os valores encontrados foram satisfatórios para todos os caracteres. Os maiores valores de CV_g % foram obtidos para volume (14,42 %), forma do fuste (13,16 %) e disposição dos ramos (12,32 %), sendo estes os valores mais altos. Para os demais caracteres os valores foram inferiores a 6 %. De acordo com Sebbenn et al. (1998), valores acima de 7 % são considerados altos e indicam a presença de variabilidade genética para ser trabalhada ao longo das gerações. Para os programas de melhoramento genético é imprescindível uma variabilidade genética satisfatória para garantir ganhos ao longo dos ciclos de melhoramento (PEREIRA e VENCOVSKY, 1988).

Sebben et al. (2008a) estudando *Pinus elliottii* com 25 anos de idade, encontrou valores similares de coeficiente de variação genética para os caracteres de DAP (5,8%) e volume (13,1%). Santos et al. (2018) também encontrou valores similares estudando *Pinus maximinoi* em que detectou CV_g de 4,39 para altura e 9,45 para DAP aos cinco anos de idade em Ventania, no Paraná. Os nossos valores foram superiores à média geral encontrados por outros autores estudando diferentes espécies de *Pinus* como Romanelli e Sebbenn (2004) que relatam CV_g variando de 2,4% a 3,8% para DAP, em progênies de *P. elliottii* var. *elliottii* aos 12 anos de idade. Freitas et al. (2005) detectou CV_g de 2,77% para DAP e 1,9% para altura em progênies de *P. caribaea* var. *bahamensis* aos 22 anos de idade. Sebbenn et al. (2005) detectou CV_g de 1,93% para DAP e 1,47% para altura, em procedências e progênies de *P. patula* ssp. *tecunumanii* aos 14 anos de idade. Quando se obtêm valores baixos, significa que uma porcentagem pequena dos efeitos genéticos das progênies será passada para a próxima geração.

O carácter altura apresentou menor valor de CV_g entre os caracteres de crescimento (Tabela 4). Segundo Macedo et al. (2013) destacam que este carácter em geral apresenta menor variação genética para progênies. Os caracteres de forma do fuste e disposição dos ramos apresentaram CV_g expressivos, superiores a 10 %, o que foi observado por outros autores que avaliaram estas características, como Callister et al. (2011) e Hamilton et al. (2015) estudando *Eucalyptus globulus*.

Os coeficientes de variação relativa (b) obtidos nesta pesquisa foram baixos, variando de 0,27 (DR) a 0,4 (ALT). Indicando o quanto mais próximo ou superior a 1, maior é o controle

genético dos caracteres e menor é a influência dos fatores ambientais no fenótipo, (VENCOVSKY, 1978). Esses valores baixos também foram encontrados por outros autores como Bienarski (2018) que estudando *P. maximinoi* aos cinco anos de idade e Missio et al. (2004) estudando *Pinus caribaea var. bahamensis*, aos 13 anos. Tais valores demonstram que o progresso genético será diminuído devido a influência do ambiente, e do estreitamento da base genética, como menor variabilidade dentro da população, por se tratar de uma população melhorada geneticamente (FURLAN et al., 2007; SEBBENN et al., 2009).

A herdabilidade no sentido restrito (h_a^2) quantifica a importância aditiva da variância genética que será transmitida para a próxima geração (VENCOVSKY, 1978). O carácter que apresentou maior h_a^2 foi a altura com 0,55 (Tabela 4). Conforme a classificação de Resende (1995a) que relata que herdabilidades entre 0,01 a 0,15 figuram como baixas, entre 0,15 a 0,50 são tidas como medianas e valores acima de 0,50 como altas. Os demais caracteres foram classificados como medianos, variando de 0,29 para disposição dos ramos à 0,42 para resistência da madeira à perfuração. Estes valores de herdabilidades estão de acordo com os normalmente encontrados em espécies de *Pinus* (GAPARE et al., 2001; SEBBENN et al., 2008b; AGUIAR et al., 2010; TAMBARUSSI et al., 2010).

As herdabilidades obtidas nesta pesquisa foram ligeiramente superiores as encontradas na literatura para a espécie de *P. maximinoi*. Bienarski (2018) estudando a espécie observou h_a^2 de 0,30 para DAP e 0,21 para altura, aos cinco anos de idade. Fier (2001) avaliou a espécie aos oito anos e obteve baixas herdabilidades para os caracteres DAP (0,27), altura (0,11), volume (0,24), retidão do fuste (0,18). Santos et al. (2018) avaliaram espécies aos 5 anos de idade e encontraram baixas herdabilidade para os caracteres altura, DAP e volume. Etori et al. (2004) mensuraram a espécie aos 11 anos e obtiveram herdabilidades inferiores a 0,1 para todos os caracteres para herdabilidade no sentido restrito.

O coeficiente de herdabilidade média entre progênies (h_m^2) para todos os caracteres foram próximos e superiores à herdabilidade no sentido restrito como era de se esperar por se tratar de valores médios, variaram de 0,43 para disposição dos ramos à 0,61 para altura (Tabela 4), esses valores altos favorecem o método de seleção baseado em médias de progênies, presumindo que grande parte da variação fenotípica total e média entre progênies é de origem genética (MIRANDA, 2012).

A utilização do resistógrafo mostrou-se rápida e prática para inferência indireta da densidade da madeira. Os parâmetros genéticos estimados para resistência da madeira à perfuração, foram satisfatórios (Tabela 4). Para o coeficiente de variação experimental foi baixo ($CV_e = 11,9\%$) e a herdabilidade no sentido restrito (h_a^2) foi mediana de 0,42 e h_m^2 de 0,54 indicando a probabilidade de sucesso na seleção de genótipos superiores para esse carácter. Esses resultados demonstram a possibilidade de selecionar materiais geneticamente superiores para resistência da madeira à perfuração sendo uma avaliação indireta com a densidade da madeira, por meio de uma avaliação não destrutiva (GOUVÊA et al., 2011; ANDREJOW, 2019).

Algumas pesquisas utilizando o equipamento resistógrafo demonstram altas correlações entre a densidade da madeira com os valores de amplitudes obtidos com o equipamento, Isik e Li (2003) verificaram o potencial do resistógrafo em mensurar em menor tempo e custo a densidade da madeira em testes de progênies de *P. taeda*.

Na literatura as correlações entre a resistência e a densidade da madeira variam de 0,54 a 0,85 em diferentes espécies florestais (BARRIA et al., 2017). Lima et al. (2007), avaliando a densidade da madeira de *Eucalyptus* encontraram altas correlações (0,706 a 0,812) entre a densidade básica e os valores de resistência da madeira à perfuração. Para a espécie *P. taeda* as correlações foram de 0,827 a 0,829 (CAMCORE, 2017). Tais resultados indicam que as avaliações de resistência da madeira à perfuração com resistógrafo podem subsidiar o melhorista para realizar a seleção e obter ganhos genéticos significativos para os caracteres em programas de melhoramento de *Pinus*.

6.2 Correlações genéticas e fenotípicas

As correlações genéticas (r_g) e fenotípicas (r_f) foram positivas, estatisticamente significativas e altas para os caracteres de crescimento diâmetro a altura do peito, altura e volume (Tabela 5), e para os caracteres forma do fuste e disposição dos ramos também foram altas e estatisticamente significativas. O carácter resistência da madeira à perfuração apresentou correlações negativas com os caracteres forma do fuste e disposição dos ramos, indicando a inexistência de interação.

Tabela 5 -Estimativas de Correlações genéticas (acima da diagonal) e correlações fenotípicas (abaixo da diagonal) entre pares de caracteres de crescimento de *Pinus maximinoi*, aos cinco anos de idade, em Telêmaco Borba, PR.

CARÁCTER	DAP	ALT	VOL	RES	FF	DR
DAP	-	0.732**	0.963**	0.107*	-0.005**	-0.291**
ALT	0.731**	-	0.812**	0.356**	0.015**	-0.193**
VOL	0.961**	0.807**	-	0.181**	-0.037*	-0.312**
RES	0.109*	0.337**	0.175**	-	-0.092 ^{ns}	-0.077 ^{ns}
FF	0.003**	0.025**	-0.025*	-0.083 ^{ns}	-	0.751**
DR	-0.284**	-0.180**	-0.304**	-0.072 ^{ns}	0.733***	-

** :significativo a 1% de probabilidade; * : significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo. DAP: Diâmetro a altura do peito; ALT: Altura; VOL: Volume m³; RES: Resistência da madeira à perfuração; FF: Forma do fuste; DR: Disposição dos ramos. Fonte: O Autor (2019).

As correlações entre altura e resistência da madeira à perfuração (r_g : 0.35 e r_f : 0.33) foram maiores e mais significativas que entre este último caráter e os demais. E as menores correlações foram observadas para diâmetro a altura do peito e disposição dos ramos (r_g : -0.29 e r_f : -0.28) indicando que árvores com maiores diâmetros tendem a apresentar galhos grossos e pior disposição dos ramos. A correlação entre volume e resistência da madeira à perfuração (0.18) é baixa, porém é positiva e estatisticamente significativa indicando a possibilidade em selecionar materiais genéticos com grandes volumes e manter certa resistência da madeira em um grau aceitável.

As r_g e r_f para os caracteres de crescimento foram altas e estatisticamente significativas, indicando a possibilidade de seleção indireta em um caractere com a seleção direta em outro. Como o diâmetro a altura do peito que apresentou alta correlação com o volume (0.96), podemos utilizar o caractere diâmetro a altura do peito que é de fácil mensuração a campo para obter ganhos genéticos em volume, resultados que corroboram com outros trabalhos (GWAZE et al., 2000; MORAES, 2007; TAMBARUSSI et al., 2010; WENG et al., 2015).

6.3 Estimativas do progresso genético

Com as estimativas dos valores genotípicos (BLUPs) de cada carácter, realizou-se o ordenamento dos melhores tratamentos, utilizando o índice de seleção (Figura 8). E para comparação foi realizado o ordenamento utilizando apenas os valores do BLUPs do carácter volume como tradicionalmente é realizado (Figura 8 e 9).

Percebe-se a presença de tratamentos nas posições positiva do gráfico em ambos ordenamentos, ressaltando a superioridade de alguns materiais genéticos, e alguns tratamentos que somente aparecem na região negativa do gráfico. Podemos observar no ordenamento com o índice de seleção que o tratamento 72 está ordenando com o terceiro melhor, já quando consideramos o ordenamento com os BLUPs de volume o mesmo tratamento cai para a décima oitava posição.

Demonstrando a diferença entre os ordenamentos, em que quando, se realizada a seleção utilizando os BLUPs de volume, estaríamos deixando de selecionar alguns materiais genéticos por não estarem presentes entre os melhores tratamentos. Por outro lado, já utilizando o ordenamento do índice de seleção estamos selecionando outros tratamentos, que podem conter alelos favoráveis de caracteres importantes para o programa de melhoramento.

Portanto a utilização do índice de seleção, garantiu o ganho genético de seleção do teste de progênie, em múltiplos caracteres de interesse de uma só vez, indicando os melhores indivíduos para a formação do pomar de sementes por mudas, avançando geração no programa de melhoramento da espécie.

Percebe-se que as testemunhas em ambos os ordenamentos (Figuras 8 e 9) ficaram entre os piores tratamentos. Indicando a superioridade genética das progênies de *P. maximinoi* em relação as testemunhas comerciais de *P. taeda*. Um dos motivos que explicam este comportamento, além do material genético ser superior, é de que o *P. maximinoi* tem um crescimento inicial mais rápido, ocasionando o fechamento de copa mais rapidamente, causando competição entre as copas das duas espécies, afetando negativamente o crescimento das árvores de *P. taeda*.

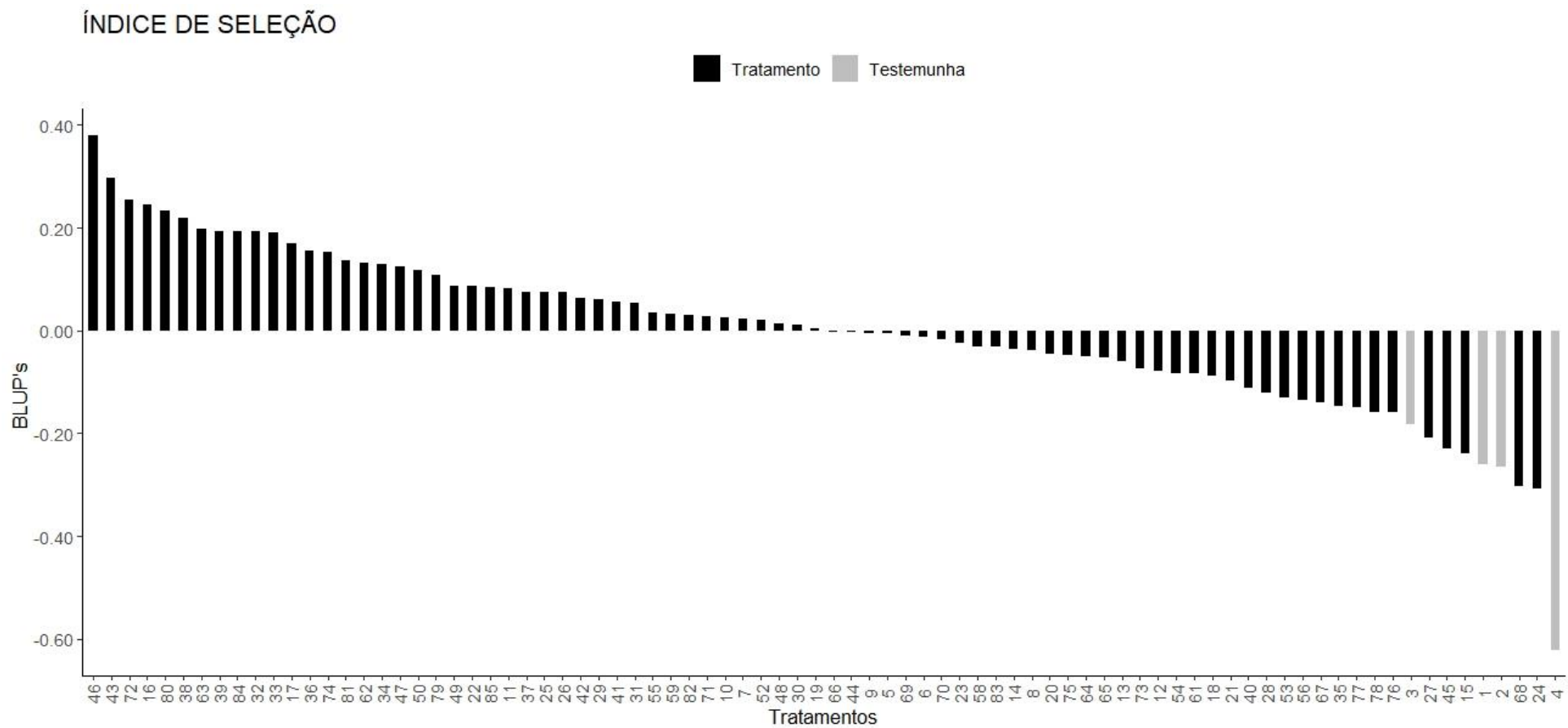


Figura 8 - Ordenamento dos 78 tratamentos de *Pinus maximinoi* e as 4 testemunhas de *Pinus taeda* aos cinco anos de idade em Telêmaco Borba, PR, utilizando o índice de seleção (IS).

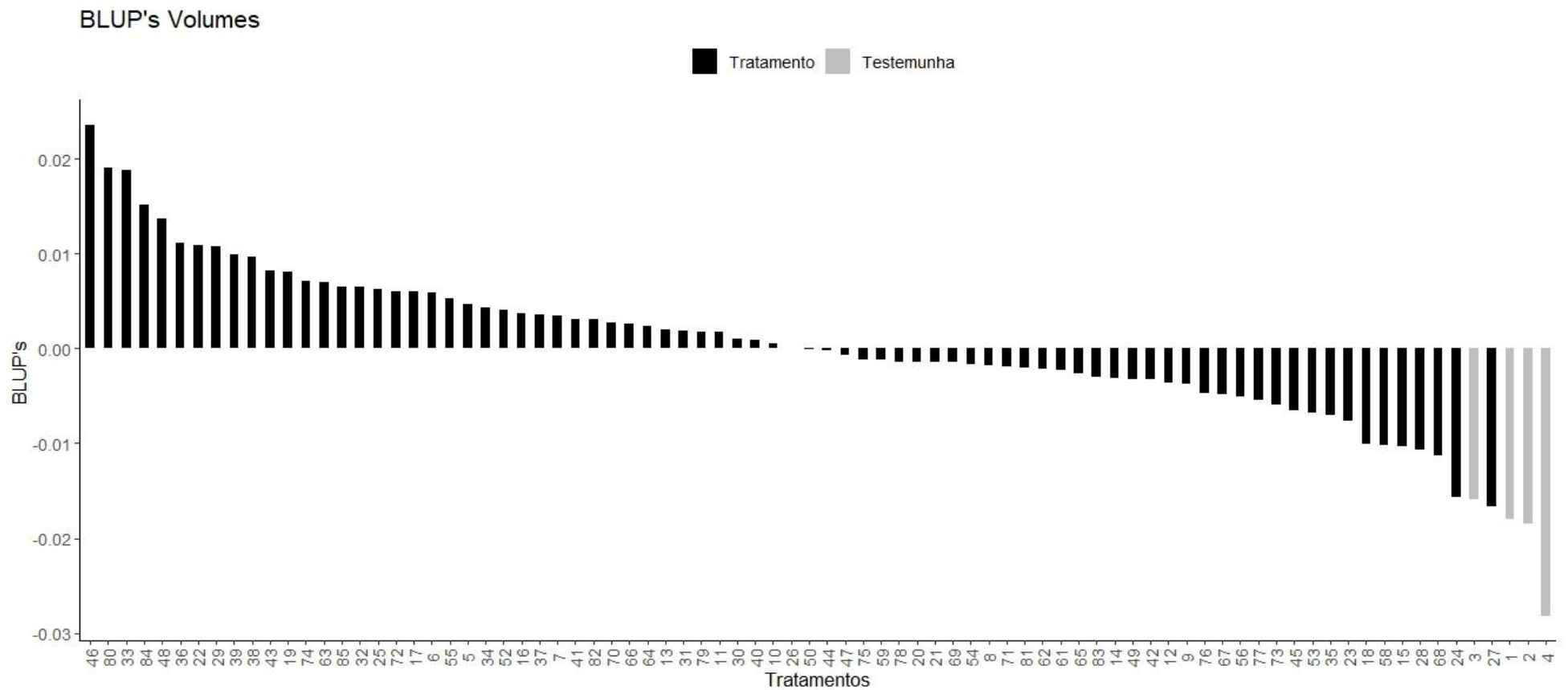


Figura 9 - Ordenamento dos 78 tratamentos de *Pinus maximinoi* e as 4 testemunhas de *Pinus taeda* aos cinco anos de idade em Telêmaco Borba, PR, utilizando o BLUP tradicional para carácter de volume.

Após o ordenamento dos materiais genéticos foi realizado o desbaste seletivo dos indivíduos inferiores no teste de progênie, com base nos valores obtidos com o índice de seleção, visando formar o PSM (Figuras 10 e 11). A intensidade de corte foi 73 % dos indivíduos da população que originalmente possuía 1.640 plantas com um tamanho efetivo populacional (N_e) de 280,11, permanecendo apenas 438 plantas superiores geneticamente, com um tamanho efetivo populacional de 142,04.

Estes valores de tamanho efetivo populacional, obtidos para o PSM, são adequados para manter a variabilidade da população ao longo das gerações de melhoramento genético (FONSECA et al., 2010; BIENARSKI, 2018; AGUIAR et al., 2010). Um tamanho efetivo populacional (N_e) de 100 ou superior garantem a manutenção de aproximadamente 90% da variabilidade da população após vários ciclos de seleção (VENCOVSKY e CROSSA, 1999; 2003).



Figura 10 – Árvores de *Pinus maximinoi* selecionadas para formar o pomar de sementes por mudas (PSM), desbastado aos 6 anos de idade em Telêmaco Borba - PR. Fonte: Autor 2018.



Figura 11 – Teste de progênies de *Pinus maximinoi* desbastado aos 6 anos de idade em Telêmaco Borba - PR. Imagem obtida na data 04/04/2019. Fonte: GoogleEarth (2019).

As estimativas de ganho genético obtidas com a utilização do índice de seleção, comparadas aos resultados dos BLUPs de volume estão apresentadas na tabela 6.

É possível verificar que para os caracteres de crescimento e produtividade quando consideramos o índice de seleção, obtemos ganhos genéticos nas magnitudes de 3,95 % (diâmetro a altura do peito), 3,82 % (altura) e 11,68 % (volume), e para os demais caracteres 1,11 % (resistência da madeira à perfuração), 12,20 % (forma do fuste) e 6,10 % (disposição dos ramos).

Notamos que para os caracteres de crescimento o ganho genético obtido com o índice de seleção é inferior aos obtidos com os BLUPs de volume, o que é esperado pois é uma seleção focada apenas nesses caracteres. Já para os demais caracteres acontece o oposto, obtemos maiores ganhos com o índice de seleção, pois este considera todos os caracteres para garantir ganhos satisfatórios de maneira geral, sem que ocorra a se perda alelos importantes para o programa de melhoramento da espécie.

Portanto para os caracteres de crescimento quando utilizamos o IS em comparação com os BLUPs de volume (Tabela 6) deixamos de obter ganhos genéticos nas escalas de 1,05 % (diâmetro), 1,06 % (altura) e 3,58 % (volume). Porém para os demais caracteres obtemos ganhos de 0,92 % (resistência da madeira a perfuração), 3,57 % (forma do fuste) e 5,59 % (disposição dos ramos). Desta forma verificamos que com o índice de seleção garantimos ganhos totais satisfatórios em todos caracteres, porém não o ganho máximo de quando é focado em apenas um carácter.

Tabela 6 - Estimativas de ganho genético da população selecionada com o índice de seleção (IS) e com o BLUP de volume de *Pinus maximinoi*, mensurados aos cinco anos de idade, em Telêmaco Borba, PR, para cada carácter avaliado.

Parâmetros	Metodologia	Média da população	Média selecionada	Ganho de seleção (%)	Diferença entre os ganhos (%)
DAP (cm)	IS	14,324	16,093	3,95	-1,05
	BLUP		16,565	5,01	
ALT (m)	IS	11,271	12,050	3,82	-1,06
	BLUP		12,266	4,88	
VOL (m ³)	IS	0,074	0,095	11,68	-3,58
	BLUP		0,101	15,27	
RES	IS	1016,861	1043,300	1,11	0,92
	BLUP		1021,366	0,19	
FF	IS	2,501	3,400	12,20	3,57
	BLUP		3,136	8,64	
DR	IS	1,942	2,300	6,10	5,59
	BLUP		1,933	0,52	

IS: índice de seleção; BLUP: Melhor preditor linear não viesado; DAP: Diâmetro a altura do peio; ALT: Altura; VOL: Volume; RES: Resistência da madeira à perfuração; DR: Disposição dos ramos. Fonte: O Autor (2019).

O progresso genético obtido com os indivíduos selecionados para o PSM foi de 11,6 % para volume, elevando a média de volume individual de 0,07 m³. arv⁻¹ para 0,095 m³. arv⁻¹ (Tabela 6). Para o carácter de resistência da madeira à perfuração o ganho foi de 1,1 % aumentando a média de 1016,8 para 1043,3. Os caracteres de forma do fuste e disposição dos ramos demonstraram ganhos expressivos de 12,2 % e 6,10 %, respectivamente.

Foi realizada uma baixa intensidade de seleção de 26 %, normalmente para conversão de um pomar de sementes por mudas se aplicas altas taxas de intensidade de seleção (KAGEYAMA, 1980; ZOBEL, 1984). Foi utilizada uma baixa intensidade de seleção pois a seleção e conversão do teste de progênie em PSM é precoce com apenas seis anos de idade, sendo cauteloso e mantendo maior número de árvores. Bienarski (2018), para conversão do teste de procedências e progênies com 12 anos de idade em um PSM aplicou uma intensidade de seleção de 14 % obtendo maiores ganhos de seleção, sendo o reflexo do aumento da intensidade. Recomenda-se realizar uma nova seleção dentro PSM quando apresentar uma idade mais avançada, aumentando a intensidade de seleção para obter maiores ganhos de seleção.

Portanto com a seleção utilizando os BLUPs de apenas um carácter, poderíamos ter uma população com defeito nos fustes e correríamos o risco de diminuir a densidade da madeira, e perderíamos materiais genéticos com alelos favoráveis, para um progresso genético do teste de progênie de *P. maximinoi* no programa de melhoramento.

7. CONCLUSÕES

As estimativas dos parâmetros genéticos para *P. maximinoi* demonstram que o teste de progênie possui variabilidade genética suficiente para ser explorada e garantir ganhos ao longo das gerações.

Os caracteres diâmetro à altura do peito e volume apresentaram alta correlação genética, indicando a possibilidade de seleção indireta em um carácter para capitalizar o ganho genético do outro.

O tamanho efetivo populacional de 142,04 para o PSM, são adequados para manter a variabilidade genética da população ao longo das gerações de melhoramento genético.

O índice de seleção gerou o agrupamento de multi caracteres, proporcionando ganhos genéticos totais satisfatórios. Assim, juntamente com os dados dos BLUPs, determinou o ordenamento dos materiais genéticos superiores do experimento, possibilitando o desbaste dos indivíduos inferiores para a formação do pomar de sementes por mudas (PSM), garantindo o avanço do programa de melhoramento genético de *P. maximinoi*. Com ganhos genéticos de 11,6% para volume, aumento de 1,1% para resistência da madeira a perfuração e para forma do fuste e disposição dos ramos ganhos de 12,2% a 6,1% respectivamente.

8. RECOMENDAÇÕES

O programa de melhoramento da espécie de *P. maximinoi* é recente e está avançando para a segunda geração. A espécie apresentou grande variabilidade genética, incluindo indivíduos com problemas graves no fuste e outros indivíduos excelentes com bom incremento volumétrico e características interessantes para as estratégias do programa de melhoramento da empresa. Portanto a realização de uma avaliação genética envolvendo multi caracteres por meio de um índice de seleção, se faz fundamental para obter o máximo de informações dentro do teste de progênie e assim proceder na seleção dos melhores materiais genéticos.

A utilização do equipamento *IML Resistografo*[®] para inferência da resistência da madeira à perfuração, se mostrou rápida e eficaz mensurando o teste de progênie com 1640 árvores em apenas dois dias e meio, além de se tratar de uma avaliação não destrutiva da árvore e proporcionando uma maior intensidade de seleção dentro do teste de progênie. Recomenda-se realizar novos estudos com o resistógrafo juntamente com a metodologia destrutiva de determinação de densidade da madeira, para determinação de curva de calibração para *Pinus maximinoi*.

A utilização de um índice de seleção, englobou vários caracteres das árvores e proporcionou ganhos satisfatórios, preservando materiais genéticos com alelos favoráveis, conservando alelos favoráveis para os diferentes caracteres, o que garantirá ganhos satisfatórios em gerações subseqüentes de melhoramento.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J.J.; HODGE, G.R. Scrip resistogrph: “extract resistance values from wood”. **Camcore**. North Carolina State University, Raleigh, 2018. Dados não publicados.
- AGUIAR, A.V.; SOUSA, V.A.; FRITZSONS, E.; JUNIOR, J.E.P. Programa de melhoramento de pinus da EMBRAPA Florestas. **Documentos EMBRAPA**, v.233, Colombo, PR, 2011.
- AGUIAR, A.V.; SOUZA, V.A. de; SHIMIZU, J.Y. Seleção genética de progênies de *Pinus greggii* para formação de pomares de sementes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.30, n. 62, p.107, 2010.
- ANDREJOW, G.M.P. **Identificação de espécies de *Eucalipto* e melhoramento genético para regiões com ocorrência de geadas**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, p. 157. 2019
- BARRIA, C; SANDOVAL, S; ROJAS, G. Using resistography method for prediction of wood basic density in standing trees of *Pinus radiata*. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**. v.19, n.3, p.349-362, 2017.
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. p.110. 2000.
- BHERING, L.L.; LAVIOLA, B.G.; SALGADO, C.C.; SANCHEZ, C. F. B.; ROSADO, T. B.; ALVES, A.A. Genetic gains in physic nut using selection indexes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.3, p.402-408, 2012.
- BIERNASKI, F.A. *Pinus maximinoi* H. E. Moore **melhoramento genético, maturação de sementes, métodos de propagação e tipos de recipientes**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, p.140. 2018.
- BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 20ª ed. Viçosa: Editora UFV, 1997. 547p.
- CALLISTER, A.N.; ENGLAND, N.; COLLINS, S. Genetic analysis of *Eucalyptus globulus* diameter, straightness, branch size, and forking in Western Australia. **Canadian Journal of Forest Research**, v.41, n.6, p.1333-1343, 2011.
- CARDIN, V. S. **Ensaio não destrutivos aplicados à madeira serrada e estruturas: técnicas potenciais para uso no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, p.116. 2011.

- CARGNIN, O. **Alternativas das florestas de pinus**. 2005. Disponível em <http://www.valeverde.org.br/html/clipp2.php?id=3752&categoria=Biodiversidade>. Consultado em 15/08/18.
- COELHO, M.U. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose Kraft**. Tese (Doutorado em Ciências florestais). Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, p.91. 2017.
- COSTA, J.G; MARINHO, J.D.S.; PEREIRA, R.; LEDO, F.D.S.; MORAES, R.D.S. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares de milho recomendadas para o Estado do Acre. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, n.1, p.7-11, 1999.
- COTTERILL, P.P. Genetic gains expected from alternative breeding strategies including simple low-cost options. **Silvae Genetica**, v.35, p.5-6, p.212-223, 1986.
- CUNNINGHAM, E.P.; TAUEBERT, H. Measuring the effect of change in selection indices. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.6192-6196, 2009.
- DIAS, D.C.; COLODETTE, J.L.; THIERSCH, C.R.; LEITE, H.G., GOMIDE, J.L. Uso da técnica de resistografia e de variáveis dendrométricas na modelagem da densidade básica de povoamentos clonais de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v.27, n.2, p.609-619, 2017.
- DOWNES, G.M; LAUSBERG, M.B; POTTS, M; PILBEAM, D.L; BIRD M; BRADSHAW B. Application of the IML Resistograph to the infield assessment of basic density in plantation *Eucalyptus*, **Australian Forestry**, v.81, n.3, p.177-185, 2018.
- DUBEUF, J.P.; BOYAZOGLU, J. An international panorama of goat selection and breeds. **Livestock Science**, v.120, p.225-231, 2009.
- DVORAK, W.S.; DONAHUE, J.K. CAMCORE Cooperative Research Review (1980-1992). Department of Forestry, College of Forest Resources, North Carolina State University. **CAMCORE COOPERATIVE**, p. 93, 1992.
- DVORAK, W.S; GUTIÉRREZ, E.A.; GAPARE, W.J.; HODGE, G.R.; OSORIO, L.F.; BESTER, C.; KIKUTI, P. *Pinus maximinoi*. In: **Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species**. CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources, NCSU, p.107-127, 2000.
- EARLE, C.J. The Gymnosperm Database, 2005. Disponível em: https://www.conifers.org/pi/Pinus_maximinoi.php, acessado em: 11/01/2020.
- ETTORI, L.D.C.; SATO, A.S.; SHIMIZU, J.Y. Variação genética em procedências e progênies mexicanas de *Pinus maximinoi*. **Revista do Instituto Florestal**, v.16, n.1, p.1-9, 2004.

- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279 p.
- FIER, I.S.N. **Variação genética e métodos de melhoramento para *Pinus maximinoi* HE Moore em Telêmaco Borba (PR)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, p.56. 2001.
- FOELKEL, E. Produção de sementes geneticamente melhoradas de *Pinus*. **Revista Madeira**, 127, 2011. Disponível em: <[RevistadaMadeira.Sementes](#)>Acessado em: 18/09/2019.
- FOELKEL, E.; FOELKEL, C. Os *Pinus* no Brasil: *Pinus tecunumanii*. 2012. **Pinus Letter**. <<http://www.celso-foelkel.com.br/pinus>>. Consultado em 28/11/18.
- FONSECA, S.; RESENDE, M.; ALFENAS, A.; GUIMARÃES, L.; ASSIS, T.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, UFV, 2010. 200 p.
- FREITAS, M.L.M.; SEBBENN, A.M.; ZANATTO, A.C.S.; MORAIS, E.; LEMOS, S.V. Testes de procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 32 anos de idade em Bebedouro-SP. **Revista do Instituto Florestal**, v.17, n.1, p.17-23, 2005.
- FRITZSONS, E.; AGUIAR, A.V.; MANTOVANI, L.; BOGNOLA, I. Zoneamento de *Pinus maximinoi* para o estado do Paraná. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E), 2013.
- FUNDOVA, I; FUNDA, T; WU, H.X. Non-destructive wood density assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Resistograph and Pilodyn. **PloS One**, v.13, n.9, 2018.
- FURLAN, R.A.; MORI, E.S.; TAMBARUSSI, E.V.; MORAES, C.B.; JESUS, F.A.; ZIMBACK, L. Estrutura genética de populações de melhoramento de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* por meio de marcadores microsatélites. **Bragantia**, v.66, n.4, p.553-563, jun. 2007.
- GAPARE, W.J.; HODGE, G.R.Z; DVORAK, W.S. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus maximinoi* in Brazil, Colombia and South Africa. **Forest Genetics**. v.2, p.159-170, 2001.
- GOMES, F.P; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, v.11, p.305, 2002.
- GOMIDE, J.L.; FANTUZZI NETO, H; REGAZZI, A.J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, v.34, n.2, p.339-344, 2010.

- GONÇALVES, F.G.; SILVA, J.T.O.; TOMAZELLO FILHO, M.; REZENDE, G.D.S. P. Estimativa da densidade básica da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* por método não destrutivo. **Cerne**, v.13, p.119-128, 2007.
- GOUVÊA, A.F.G.; TRUGILHO, P.F.; GOMIDE, J.L.; SILVA, J.R.M.; ANDRADE, C.R.; ALVES, I.C.N. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, v.35, n.2, p.349- 358. 2011.
- GWAZE, D.P.; BRIDGWATER, F.E.; BYRAM, T.D.; WOOLIAMs, J.A.; WILLIAMS, C.G. Predicting age-age genetic correlations in tree-breeding programs: a case study of *Pinus taeda* L. **Theoretical and Applied Genetics**. v.100, p.199-206, 2000.
- HAMILTON, M.G.; ACUNA, M.; WIEDEMANN, J.C.; MITCHELL, R.; PILBEAM, D.J.; BROWN, M.W.; POTTS, B.M. Genetic control of *Eucalyptus globulus* harvest traits. **Canadian Journal of Forest Research**, v.45, n.6, p.615-624, 2015.
- HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v.28, p.476–490, 1943.
- HOPPE, J.M.; BRUN, E.J. **Produção de sementes e mudas florestais**. Santa Maria UFSM. v.1, n.2, p.125, 2004. Caderno didático.
- IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Médias históricas em estações do IAPAR**. 2018. Disponível em: <<http://www.iapar.br>> Acesso em: 18/08/2019.
- IBÁ – Indústria brasileira de árvores. **Relatório IBÁ 2019**. São Paulo: IBÁ, 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em: 10/01/2020.
- ISIK, F.; LI, B. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs. **Canadian Journal of Forest Research**, v.33, n.12, p.2426-2435. 2003.
- IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A.A.; RAMIREZ, M.G.L.; MATOS, J.L.M.; BONDUELLE, G. M.; PRATA, J.G. Avaliação da qualidade de painéis compensados de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii* com diferentes composições estruturais. **Ciência Florestal**, v.22, n.2, p.315-321, 2012.
- IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; LIMA, A.J.M.; FERREIRA, E.S.; BATISTA, D.C.; ROMÃO, S.A.A. Produção de painéis compensados de *Pinus* tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, v.39, n.3, p.669-673, 2009.

- IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D.P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M.A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Ciência Florestal**, v.11, n.2, p.71-77, 2001.
- KAGEYAMA, P.Y.; VENCOSKY, R. Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, **IPEF**, v.24, p.9-26, 1983.
- KAGEYAMA, P.Y. **Variação genética em uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. Tese de Doutorado. ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, p.125. 1980.
- KLOCK, U. **Qualidade da Madeira Juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, São Paulo, p. 291. 2000.
- KÖPPEN, W. Das geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W., GEIGER, R. (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1, 1-44, 1936.
- LAMBE, N.R.; BÜNGER, L.; BISHOP, S.C.; SIMM, G.; CONINGTON, J. The effects of selection indices for sustainable hill sheep production on carcass composition and muscularity of lambs, measured using X-ray computed tomography. **Animal**, v.2, n.1, p.27-35, 2008.
- LEONARDECZ-NETO, E.; VENCOSKY, R.; SEBBENN, A.M. Ajuste para a competição entre plantas em teste de progênes e procedências de essências florestais. **Scientia Forestalis**, n.63, p.136-149, 2003.
- LIMA, J.T.; SARTÓRIO, R.C.; TRUGILHO, P.F.; CRUZ, C.R.; VIEIRA, R.S. Uso do Resistógrafo® para estimar a densidade básica e a resistência à penetração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n.75, p.85-93, 2007.
- LÔBO, R.N.B.; FACÓ, O.; LÔBO, A.M.B.O.; VILLELA, L.C.V. Brazilian goat breeding programs. **Small Ruminant Research**, v.89, p.149-154, 2010.
- MACEDO, H, R. **Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênes de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade em Batatais – SP**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, São Paulo, p.51. 2013.
- MACEDO, H.R.; FREITAS, M.L.M.; BOAS, O.V.; SEBBENN, A.M. Variabilidade genética em progênes de *Pinus caribea* var. *honduensis* aos 21 anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**. v.27 n.1 p.31-39. 2015.

- MALAN, F.S. The wood properties and sawn-board quality of South African-grown *Pinus maximinoi* (HE Moore). **Southern African Forestry Journal**. v.208, p.39-47, 2006.
- MANTILLA, E.V.; PEREIRA, N.C.S.; ALVES, R.C. Estimativa da densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. **Construindo**. v.5, n.1. p.45-51, 2013.
- MARTINEZ, D.T.; RESENDE, M.D.V.; COSTA, R.B.; HIGA, A.R.; SANTOS, G.D.; FIER, I.S.N. Estudo da interação genótipo x ambiente em progênies de *Pinus taeda* por meio da análise de parâmetros genéticos. **Floresta**, v.42, n.3, p.539-552, 2012.
- MATHESON, A.C.; BELL, J.C.; BARNES, R.D. Breeding system and genetic structure in some Central American pine populations. **Silvae Genetica**, v.38, n.3-4, p.107-113, 1989.
- MENDES, L.M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, p.163. 2001.
- MIRANDA, A. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus grandis***. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, São Paulo, p.64. 2012.
- MISSIO, A.L.; CADERMARTORI, P.H.G.; MATTOS, B.D.; WEILER, M.; GATTO, D.A. Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*. **Ciência Rural**, v.45, n.8, p.1432-1438. 2015.
- MISSIO, R.F.; DIAS, L.A.S.; MORAES, M.L.T.; RESENDE, M.D.V. Selection of *Pinus caribaea* var. *bahamensis* progenies based on the predicted genetic value. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.4, n.4, p.399-407, 2004.
- MORAES, M.L.T.; MISSIO, R.F.; DA SILVA, A.M.; CAMBUIM, J.; DOS SANTOS, L.A.; RESENDE, M.D.V. Efeito do desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Florestalis**, n.74, p.55-65, 2007.
- MOREIRA, J.P. **Produtividade, estabilidade, adaptabilidade e diversidade genética em testes de progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii***. Tese (Doutorado em Agronomia) UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, p.83. 2017.
- MORI, E.S. Pomares de sementes florestais. **Série Técnica IPEF**. v.5, n.16, p.1-27, 1988.

- MORI, E.S. **Variabilidade genética isoenzimática em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetida a diferentes intensidades de seleção.** Tese (Doutorado em Genética) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, p.119. 1993.
- ODA, S.; KAGEYAMA, P.Y. Variação genética em progenies de arvores de pomar de sementes por mudas de *Eucalyptus grandis* (hill) maiden na regioao de biritiba mirim-sp. **Silvicultura**, v.11, n.41, p.113-4, 1986.
- OLIVEIRA, J.T.S.; WANG, X.; VIDAURRE, G.B. Assessing specific gravity of young eucalypt plantation trees using a resistance drilling technique. **Holzforchung**, v.71, n.2, p.137-145, 2017.
- PAULA, R.C.D.; PIRES, I.E.; BORGES, R.D.C.G.; CRUZ, C.D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p.159-165, 2002.
- PEREIRA, M.B.; VENCOVSKY, R. Limites de seleção recorrente. I. Fatores que afetam o acréscimo das frequências alélicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.769-780, 1988.
- PERRY, J.R. **The pines of Mexico and Central America.** Timber Press, 1991, 146p.
- PINTO JÚNIOR, J.E. **REML/BLUP para análise de múltiplos experimentos, no melhoramento genético de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, p.113. 2004.
- PIRES, I.E.; Resende, M.D.V.; SILVA, R.L.; RESENDE JÚNIOR, M.F.R. **Genética Florestal.** Viçosa-MG: Arka. 2011. 318 p.
- PIRES, I.E.; CRUZ, C.D.; BORGES, R.C.G.; REGAZZI, A.J. Índice de seleção combinada aplicado ao melhoramento genético de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, v.20, p.191-197, 1996.
- PRICE, R.A.; LISTON, A.; STRAUSS, S.H. Phylogeny and systematics of *Pinus*. In: Richardson, D. M. **Ecology and Biogeography of Pinus.** Cambridge University Press, 2ª (Ed.), p.527. 2000.
- RAWLINGS, J.O. Long-and short-term recurrent selection in finite populations-choice of population size. In: **World soybean research conference II: proceedings. Breeding.** 1980. p.201-215.

- RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, E.B; HIGA, A.R. Utilização de índices de seleção no melhoramento de *Eucalyptus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.21, p.1-13, 1990.
- RESENDE, M.D.V. Correções nas expressões do progresso genético com seleção em função da amostragem finita dentro de famílias de populações e implicações no melhoramento florestal. **Boletim Pesquisa Florestal**, v.22, p.61-77, 1991.
- RESENDE, M.D.V. Delineamento de experimentos de seleção para maximização da acurácia seletiva e do progresso genético. **Revista Árvore**. v.19, n.4, p.479 - 500, 1995a.
- RESENDE, M.D.V.; BERTOLUCCI, F.L.G. Maximization of genetic gain with restriction on effective population size and inbreeding in *Eucalyptus grandis*. In: IUFRO CONFERENCE “EUCALYPT PLANTATIONS: Improving Fibre Yield and Quality”, 1995, Hobart. **Proceedings**. Hobart: IUFRO-CRCTHF, p.167-170. 1995b.
- RESENDE, M.D.V. Melhoramento de essências florestais. In: BORÉM, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p.589-647.
- RESENDE, M.D.V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975p.
- RESENDE, M.D.V.; BARBOSA, M.H.P. **Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada**. Colombo: Embrapa Florestas. 1ed. 2005. 130p.
- RESENDE, M.D.V. Selegen-REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. **Embrapa Florestas**. p.359. 2007a.
- RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.37, n.3, p.182-194, 2007b.
- ROBINSON, H. F.; COCKERHAM, C. C. Estimación y significado de los parámetros genéticos. **Fitotecnia latinoamericana**, v. 2, n. 4/2, p. 23-38, 1965.
- 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. **Revista do Instituto Florestal**, v.16, n.1, p.11-23, 2004.
- SANTOS, W.D.; SILVA, M.S.C.; DENIZ, L.D.; KIERAS, W.S.; SHIMIZU, J.Y.; SOUSA, V.A.; AGUIAR, A.V. Proceedings for the identification of provenances and progenies with wood productive potential in *Pinus maximinoi*. **Scientia Forestalis**, v.46, n.117, p.127-136, 2018.

- SEBBENN, A.M.; SIQUEIRA, A.C.M.D.F.; KAGEYAMA, P.Y.; MACHADO, J.A.R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva-*Myroxylon peruiferum* LF Allemão. **Scientia Forestalis**, n.53, p.31-38, 1998.
- SEBBENN, A.M.; FREITAS, M.L M.; MORAES, E.; ZANATTO, A.C.S. Variação genética em procedências e progênes de *Pinus patula* ssp. *tecunumanii* no noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Instituto Florestal**. v.17, n.1, p.1-15, 2005.
- SEBBENN, A.M.; BÔAS, O.V.; MAX, J.C.M. Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 20 anos de idade em Assis/SP. **Revista do Instituto Florestal**. v.20, n.2, p.103-115, 2008a.
- SEBBENN, A.M; BÔAS, O.V; MAX, J.C.M. Altas herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de polinização aberta de. **Revista do Instituto Florestal**, v.20, n.2, p.95-102, 2008b.
- SHIMIZU, J.Y. *Pinus* na silvicultura brasileira. **Revista Madeira**, v.16, n.99, p.4-14, 2006.
- SHIMIZU, J.Y. Cultivo de *Pinus*. **Sistemas de Produção Embrapa Florestas**, n.5, p.1-18, 2005.
- SHIMIZU, J.Y. *Pinus* na silvicultura brasileira. Colombo: **Embrapa Florestas**. 2008. 223p.
- SHIMIZU, J.Y.; SEBBENN, A.M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. **Pinus na Silvicultura Brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, p.49-74, 2008.
- SHIMIZU, J.Y.; AGUIAR, A.V.; OLIVEIRA, E.B.; MENDES, C.; MURARA JUNIOR, M.I.; SOUSA, V.A.; DEGENHARDT-GOLDBACH, J. Projeto Cooperativo de Melhoramento de Pínus-PCMP. **Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E)**, 2017.
- SILVA, J.G.M. **Aplicação da resistografia na estimativa da densidade e umidade da madeira em árvores jovens de *Eucalipto***. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, p.104. 2019.
- SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**. v.7, p.240- 250, 1936.
- SOUZA, F.B. **Seleção de espécies e procedências de *Pinus* sp para a região de Assis, Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, São Paulo, p.45. 2015.
- TAMBARUSSI, E.V.; SEBBENN, A.M.; MORAES, M.L.T.D.; ZIMBACK, L.; PALOMINO, E.C. Estimative of genetic parameters in progeny test of *Pinus caribaea* Morelet var.

- hondurensis* Barret and Golfari by quantitative traits and microsatellite markers. **Bragantia**, v.69, n.1, p.39-47, 2010.
- TRIANOSKI, R.; MATOS, J.L.M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J.G. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta**, v.43, n.3, p.503-510, 2013.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. ed. **Melhoramento e Produção de Milho No Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, p.122-201. 1978.
- VENCOVSKY, R. Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasma de espécies alógamas. **Revista do IPEF**, v.35, p.79-84, 1987.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 1992, 496p.
- VENCOVSKY, R.; CROSSA, J. Variance effective population size under mixed self and random mating with applications to genetic conservation of species. **Crop Science**, v.39, n.5, p.1282-1294, 1999.
- VENCOVSKY, R.; CROSSA, J. Measurements of representativeness used in genetic resources conservation and plant breeding. **Crop science**, v.43, n.6, p.1912-1921, 2003.
- VITALE, V.; MIRANDA, G.M. Análise comparativa da viabilidade econômica de plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* na região centro-sul do Paraná. **Floresta**, v.40, n.3, p.469-479. 2010.
- WENG, Y.H.; ADAMS, G.W.; FULLARTON, M.S.; TOSH, K.J. Genetic parameters of growth and stem quality traits for Jack pine second-generation progeny tested in New Brunswick. **Canadian Journal of Forest Research**, v.45, p.36-43, 2015.
- WRIGHT, J. A.; WESSELS, A. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *P. maximinoi* and *P. patula*. **Instituto de Pesquisas Florestais (IPEF International)**, v.2, p.39-44, 1992.
- WRIGHT, J.W. **Introduction to forest genetics**. Michigan: Academic Press, 1976, 464 p.
- XAVIER, A.; BORGES, R.C.G.; CRUZ, C.D.; CECON, P.R. Parâmetros genéticos de caracteres de qualidade da madeira em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.21, n.1, p.71-78, 1997.
- ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984, 496p.

10. ANEXOS

Anexo 1 - Informações das procedências utilizadas, para instalação do teste de progênes de *Pinus maximinoi* implantadas em Telêmaco Borba - PR.

Procedência	Estado, País	Latitude (N)	Longitude (W)	Altitude (m)	Precipitação (mm)	N° Progênes
Cobán	Alta Verapaz, Guatemala	15°28'	90°24'	1330-1440	2.109	14
San Jerónimo	Baja Verapaz, Guatemala	15°04'	90°14'	1280-1590	970	6
San Juan Sacatepequez	Guatemala, Guatemala	14°41'	90°38'	1580-2000	1.138	6
Dulce Nombre de Copá	Copan, Honduras	14°50'	88°51'	1100-1300	1.386	10
Marcala	Marcala La Paz, Honduras	14°10'	88°01'	1600-1800	1.670	7
Tatumbula	Fco Morazam, Honduras	14°01'	87°07'	1400-1600	908	10
Altamirano	Chiapas, México	16°44'	92°03'	1280-1350	1.750	3
San Jeronimo	Chiapas, México	17°09'	92°08'	940-1020	1.750	14
La Cañada	Manágua, Nicarágua	16°49'	92°17'	1270-1360	1.750	7
Tapiquil	Honduras	15°10'	86°50'	1500-1769	1.069	1
Testemunha	Estado, País	Latitude (N)	Longitude (W)	Altitude (m)	Precipitação (mm)	N° Progênes
<i>P.taeda</i>	Brasil	24°12'	50°36'	815	1.646	1
<i>P.taeda</i>	Brasil	24°12'	50°36'	815	1.646	2
<i>P.taeda</i>	Brasil	24°12'	50°36'	815	1.646	1
					Total	82

