

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

JULIANA PRADO MOREIRA

**PRODUTIVIDADE, ESTABILIDADE, ADAPTABILIDADE E DIVERSIDADE GENÉTICA
EM TESTES DE PROGÊNIES DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus tecunumanii***

Ilha Solteira
2017

JULIANA PRADO MOREIRA

Bióloga / Mestra

**PRODUTIVIDADE, ESTABILIDADE, ADAPTABILIDADE E DIVERSIDADE GENÉTICA
EM TESTES DE PROGÊNIES DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus tecunumanii***

Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia - Sistema de Produção.

Profa. Dra. Ananda Virginia de Aguiar
Orientadora

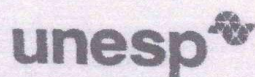
Dra. Patrícia Ferreira Alves
Co-orientadora

Ilha Solteira
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- Moreira, Juliana Prado.
- M838p Produtividade, estabilidade, adaptabilidade e diversidade genética em testes de progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *pinus tecunumanii* / Juliana Prado Moreira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
85 f. : il.
- Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2017
- Orientador: Ananda Virginia de Aguiar
Co-orientador: Patrícia Ferreira Alves
Inclui bibliografia
1. Melhoramento florestal. 2. MHPRVG. 3. Parâmetros genéticos.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO:

PRODUTIVIDADE, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE E DIVERSIDADE
GENÉTICA EM TESTES DE PROGÊNIES DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e
Pinus tecunumanii

AUTORA: JULIANA PRADO MOREIRA

ORIENTADORA: ANANDA VIRGÍNIA DE AGUIAR

COORDENADORA: PATRÍCIA FERREIRA ALVES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA,
especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

Ananda Virgínia de Aguiar

Profa. Dra. ANANDA VIRGÍNIA DE AGUIAR
Câmpus Santarém / Embrapa Florestas

Daniela Canuto

Profa. Dra. DANIELA SILVIA DE OLIVEIRA CANUTO
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha
Solteira

Marcela Aparecida de Moraes

Dra. MARCELA APARECIDA DE MORAES
Departamento de Fisiologia Vegetal / Universidade de São Paulo - USP

Karina Martins

Profa. Dra. KARINA MARTINS
Departamento de Biologia / Universidade Federal de São Carlos

Maximiliano Kawahata Pagliarini

Dr. MAXIMILIANO KAWAHATA PAGLIARINI
Regenda Experimental de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados

Ilha Solteira, 24 de agosto de 2017.

A minha mãe Neide Prado de Queiroz Moreira e meu pai Guilherme Moreira pelo incentivo e amor incondicional, as minhas irmãs Bárbara e Olivia que amo tanto, a minha avó Helenice dos Santos Moreira pelo carinho e cuidado.

Ao meu esposo Bruno Felipe Reis da Silva por compartilhar muitos momentos felizes, e que mesmo nos momentos difíceis e de desespero esteve presente com compreensão, paciência e amor. A minha filha Mariah Prado Reis que desde que chegou a minha vida me ensinou a ter paciência e persistência com todo seu amor e carinho de todos os dias.

EU DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira e ao curso de pós-graduação em Agronomia, especialidade Sistemas de Produção, por tornar possível o desenvolvimento desse trabalho;

À Embrapa Florestas para oportunidades de estágio e desenvolvimento de pesquisas;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES;

À pesquisadora Ananda Virginia Aguiar pela orientação, dedicação ao trabalho, pela paciência, persistência todos esses anos, e por confiar em mim, a qual tenho muita admiração por seu trabalho e por sua pessoa;

Ao Prof. Dr. Mario Luiz Teixeira de Moraes pela confiança, pelos ensinamentos, pela amizade e oportunidade oferecida dentro da UNESP desde minha graduação até hoje;

Aos professores Dr. João de Andrade, Dra. Marcela Aparecida Moraes, Dr. Maximiliano Pagliarini, Dra. Daniela Canuto e Dra. Karina pelas correções, sugestões e tempo dedicado para que eu pudesse finalizar a tese;

À Selma Maria Bozzite de Moraes pelos ensinamentos de técnicas e trabalho no laboratório, pelo carinho e amizade que esteve presente todos esses anos, pelos conselhos e palavras confortantes nos momentos que precisei;

A todos os colegas de trabalho do Laboratório de Genética de Populações e Silvicultura que estiveram presentes todos esses anos, pela amizade, convivência, trabalho, desabafo, risadas e pela troca de experiências;

À minha irmã Bárbara Prado Moreira, meu cunhado Ricardo Rits, aos meus amigos Maximiliano Pagliarini, Janaina Rodrigues, Maiara Coutino e minha prima Ana Luiza Costa Moreira, por ajudarem na implantação dos experimentos e com as avaliações realizadas em campo;

Aos pesquisadores do Instituto Florestal de São Paulo, Miguel Menezes de Freitas, Antônio Carlos Scatena Zanatto, Ananias de Almeida, as equipes técnicas da Estação experimental de Luiz Antônio e Itapeva, pela paciência e por todo trabalho de campo realizado;

Aos técnicos da FEPE de Ilha Solteira pelo auxílio das avaliações de campo;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram nesta etapa da minha vida.

Damos graças e louvores, agradecemos independente das dores

Só agradece a esse dia que foi dado

Agradece à natureza e o cuidado

Agradece, novo dia, nova chance de recomeçar.

Marina Peralta

RESUMO

P. caribaea var. *hondurensis* e *P. tecunumanii* são as espécies mais utilizadas em florestamentos na região tropical do Brasil, porém o melhoramento genético dessas espécies ainda é muito incipiente. Assim, o objetivo do trabalho foi estimar os parâmetros genéticos; ganho genético; interação genótipo x ambiente ($G \times A$); e identificar genótipos de alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*. Os experimentos com ambas as espécies foram implantados em Selvíria-MS, Itapeva-SP e Luiz Antônio-SP. O delineamento experimental adotado foi em blocos completos ao acaso contendo de 35 a 40 progênies (tratamentos), uma planta por parcela. Em todos os testes, adotou-se o espaçamento 3m x 3m. Os caracteres avaliados foram a altura total, o diâmetro a altura do peito e o volume. Os parâmetros genéticos e componentes de variância foram obtidos pelo procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada). Variação significativa ($p < 0,05$) entre progênies para os caracteres avaliados foi observada somente em Selvíria e Luiz Antônio. As herdabilidades com base em média de progênies e no sentido restrito individual foram altas e significativas para maioria dos caracteres avaliados, tanto para *P. caribaea* var. *hondurensis* quanto para *P. tecunumanii*. A estratégia baseada na seleção individual a 50% foi mais eficiente para manutenção da variabilidade genética. A interação $G \times A$ com base no volume foi significativa para as duas espécies, sendo do tipo simples para o *P. tecunumanii* e complexa para *P. caribaea* var. *hondurensis*. A correlação do tipo b para *P. tecunumanii* foi acima de 0,70, e já para o *P. caribaea* var. *hondurensis* foi muito baixa (0,32). Existe divergência genética entre as progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*, que deve ser utilizada para se definir futuras estratégias de seleção e cruzamento, visando o aumento de ganho esperado com a seleção e conservação da variabilidade genética ao longo dos ciclos de melhoramento.

Palavras-chaves: Melhoramento florestal. MHPRVG. Parâmetros genéticos.

ABSTRACT

P. caribaea var. *hondurensis* and *P. tecunumanii* are the most used species in the arborization in the tropical region of Brazil, but the genetic improvement of these species is still very incipient. Thus, the objective of the study was to estimate the genetic parameters; genetic gain; genotype x environment interaction ($G \times A$); and to identify genotypes of high productivity, stability and adaptability in the progenies of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus tecunumanii*. The experiments with both species were implanted in Selvíria-MS, Itapeva-SP and Luiz Antônio-SP. The experimental design was a complete randomized block containing 35 to 40 progenies (treatments), one plant per plot. In all tests, spacing of 3m x 3m was adopted. The evaluated characters were total height, diameter at height and breast volume. The genetic parameters and the variance components were obtained by the REML / BLUP procedure (restricted linear prediction of maximum likelihood / best not vitiated). The significant variation ($p < 0.05$) among the progenies for the evaluated characters was observed only in Selvíria and Luiz Antônio. The heritabilities based on medium progenies and in the individual restricted sense were high and significant for most of the evaluated characters, both for *P. caribaea* var. *hondurensis* and *P. tecunumanii*. The strategy based on individual selection by 50% was more efficient to maintain genetic variability. The volume-based $G \times A$ interaction was significant for both species, being of the simple type for *P. tecunumanii* and complex for *P. caribaea* var. *hondurensis*. The correlation of type b with *P. tecunumanii* was above 0.70, and already for *P. caribaea* var. *hondurensis* was very low (0.32). There is a genetic divergence among the progenies of *P. caribaea* var. *hondurensis* and *P. tecunumanii*, which should be used to define future selection and crossing strategies, in order to increase the expected gain with the selection and conservation of genetic variability throughout the breeding cycles.

Keywords: Forest improvement. MHPRVG. Genetic parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-	Árvore adulta <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .	14
Figura 2	-	Estróbilos masculinos (A), femininos (B) da espécie <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .	15
Figura 3	-	Cones (A), Casca (B) e acículas (C), <i>P. tecunumanii</i> .	17
Figura 4	-	Estróbilos femininos (A) e masculinos (B), <i>P. tecunumanii</i> .	17
Figura 5	-	Região das áreas experimentais no estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul.	25
Figura 6	-	Teste de razão de máxima verossimilhança (LRT) e níveis de significância para caracteres de crescimento em progênies de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luíz Antônio (SP) e Itapeva (SP). (LRT acima da linha tracejada = $p < 0.05$; acima da linha pontilhada = $p < 0.01$ e abaixo da linha tracejada = não significativo).	32
Figura 7	-	Média geral para os caracteres de crescimento em progênies de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luíz Antônio (SP) e Itapeva (SP).	33
Figura 8	-	Valores de acuraria e coeficiente de variação experimental para caracteres de crescimento em progênies de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luíz Antônio (SP) e Itapeva (SP).	32
Figura 9	-	Coeficientes de variação genética entre progênies e genética individual para caracteres de crescimento em progênies de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luíz Antônio (SP) e Itapeva (SP).	34
Figura 10	-	Herdabilidades individual no sentido restrito e média entre progênies para caracteres de crescimento em progênies de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luíz Antônio (SP) e Itapeva (SP).	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Características dos locais de coleta de sementes e produção de mudas de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE).	24
Tabela 2	- Testes de progênes: <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) em três locais.	25
Tabela 3	- Características pedoclimáticas dos locais de plantio dos testes de progênes de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. tecunumanii</i> .	25
Tabela 4	- Métodos de seleção baseadas no diâmetro (DAP) para progênes de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) nos municípios de Selvíria - MS, Luíz Antônio - SP e Itapeva - SP, aos cinco anos. Estratégia: I) Seleção individual com intensidade de 50%, II) Seleção dentro de progênes com intensidade de 50%.	39
Tabela 5	- Estimativa de parâmetros genéticos e interação do genótipo x ambiente para o diâmetro na altura do peito (VOL) em progênes de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. tecunumanii</i> aos cinco anos em Selvíria-MS, Luíz Antônio-SP e Itapeva-SP.	41
Tabela 6	- Progênes de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) selecionadas com base no diâmetro, para estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e simultaneamente para produtividade, estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG), aos 5 anos em Selvíria-MS, Luíz Antônio-SP e Itapeva-SP.	43
Tabela 7	- Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre progênes de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) em relação à maior distância entre progênes em Selvíria-MS.	46
Tabela 8	- Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre progênes de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> (PTE) em relação à maior distância entre progênes em Itapeva-SP.	47
Tabela 9	- Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre as progênes de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PCH) e <i>P. tecunumanii</i> em relação à maior distância entre progênes em em Luíz Antônio/SP.	48
Tabela 10	- Grupos formados pelo método de Otimização de Tocher de progênes de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. tecunumanii</i>	50

Selvíria/MS.

Tabela 11	Grupos formados pelo método de Otimização de Tocher de progênie de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. tecunumanii</i> Itapeva/SP.	51
Tabela 12	- Grupos formados pelo método de Otimização de Tocher de progênie de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. tecunumanii</i> Luiz Antônio/SP.	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	O GÊNERO <i>Pinus</i>	12
2.2	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	13
2.3	<i>Pinus tecunumanii</i>	15
2.4	MELHORAMENTO FLORESTAL	18
2.5	ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS	20
2.6	INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE (G X A)	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS	24
3.2	ANÁLISE DE <i>DEVIANCE</i> INDIVIDUAL E ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS GENÉTICOS	26
3.3	MÉTODOS DE SELEÇÃO	28
3.4	DIVERGÊNCIA GENÉTICA	29
3.5	ANÁLISE CONJUNTA E PRODUTIVIDADE, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	ANÁLISE DE <i>DEVIANCE</i> INDIVIDUAL E ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS	31
4.2	GANHOS GENÉTICOS	37
4.3	ANÁLISE CONJUNTA E PRODUTIVIDADE, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE	39
4.4	DIVERGÊNCIA GENÉTICA	44
5	CONCLUSÕES	53
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE	64

1 INTRODUÇÃO

O suprimento de matéria prima fornecido pelas florestas plantadas em substituição à extração vegetal de origem nativa tem aumentado, de acordo com dados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) e da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017), sua participação no mercado florestal passou de cerca de 20% em 1990 para mais de 90% em 2016, de toda a madeira utilizada para fins produtivos, esse aumento deve-se principalmente, aos incentivos fiscais na década 1960 e 1980.

Os plantios florestais com espécies exóticas, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, expandiram-se significativamente a partir dos anos 60, principalmente no período de incentivos fiscais entre 1966 a 1988 (KENGEN, 2001). A partir disso, as florestas plantadas passaram a suprir de forma crescente a demanda da indústria de celulose e papel e, posteriormente, de outros segmentos importantes tais como a produção de painéis, siderurgia e secagem de grãos (MOREIRA; SIMIONI; OLIVEIRA, 2017).

O Brasil por possuir dimensões continentais, enfrenta alguns fatores limitantes no cultivo de *Pinus*, como a temperatura e a precipitação. Por meio desses limitantes observados em áreas experimentais pode-se dividir o país em duas regiões climáticas diferentes: temperada e tropical (SHIMIZU, 2006; AGUIAR, et al., 2011; PAGLIARINI et al., 2016). Para a segunda região, variedades da espécie *P. caribaea* (*caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis*) e *P. tecunumanii* foram as que mais se adaptaram nas regiões tropicais do país, sendo introduzidas nos programas de melhoramento genético. O programa de melhoramento de *Pinus* para essas duas espécies ainda é muito incipiente no Brasil. Porém, seu potencial produtivo em volume de madeira já foi evidenciado em vários ensaios experimentais e plantios comerciais, bem como dos seus híbridos. Essas duas espécies vêm sendo contempladas em programas de melhoramento, principalmente, pela demanda por materiais mais produtivos em regiões tropicais, e também, por seus híbridos apresentarem um grande potencial de produção e adaptativo em regiões marginais para as espécies, como em ambientes alagados e temperaturas mais baixas. Testes de progênies de segunda geração dessas espécies já foram estabelecidos, bem como testes de progênies híbridas de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. elliottii* nos estados das regiões Central e sudeste do Brasil. Esses testes fornecerão subsídios para obtenção de genótipos mais produtivos, estimativa da interação genótipo x ambiente, o que proporcionará melhor entendimento dos requisitos adaptativos das espécies e dos híbridos gerados.

O melhoramento florestal vem selecionar progênies com características fenotípicas favoráveis para obtenção de genótipos mais produtivos em volume de madeira. A seleção de materiais mais produtivos para essa característica contribuiu significativamente para o aumento da produtividade dos plantios florestais. Porém, o processo de melhoramento enfrenta alguns empecilhos determinantes, como um longo período para que a planta alcance estabilidade fenotípica (DIOUF, 2003; GARTLAND, 2003; POUPIN; ARCE-JOHNSON, 2005; PAGLIARINI et al., 2016).

A análise da interação genótipo x ambiente (G x A) é essencial para verificar a adaptabilidade e estabilidade de um genótipo. Esta é considerada quando se necessita selecionar materiais genéticos superiores com base no desempenho em diferentes ambientes (CRUZ; CARNEIRO, 2003; SILVA; DUARTE, 2006; RESENDE, 2007; ROSADO, et al., 2012; SANTOS et al., 2015). Para muitos ambientes, principalmente os que apresentam características extremas, a produtividade ainda é baixa justamente por falta de materiais adaptados, em função de não se ter informações da interação G x A em espécies florestais (REIS; PALUDZYSZYN, 2011). O problema é que as estimativas de variação genética da interação podem ser equivocadas, podendo afetar de forma positiva ou negativa o ganho de seleção (NAMKOONG et al., 1966; PUPIN et al., 2015).

Para o melhoramento genético a divergência genética entre os indivíduos também assume papel importante em qualquer programa, pois há a possibilidade de dedução da capacidade específica de combinações e heterose (CRUZ; CARNEIRO, 2004). Esse estudo baseado em caracteres quantitativos direciona os cruzamentos de genótipos superiores de modo que apresentem pureza e contraste entre os genitores (SAMPSON, 2015). Além disso, é um importante parâmetro para obtenção de descendentes que se encontram fora dos limites dos progenitores com populações de alta variabilidade genética, podendo ser avaliada por meio de características agronômicas, morfológicas, moleculares, entre outras. Com essas informações, as estimativas de divergência genética permitem decidir sobre a escolha de parentais divergentes no caso de programas de melhoramento, e também de gerar informações pertinentes para preservação (CRUZ; FERREIRA; PESSONI 2011).

Dessa forma o trabalho teve como objetivos: (i) estimar parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênies de polinização aberta de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*, (ii) identificar genótipos de alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade, (iii) estimar ganho de seleção assumindo dois métodos e intensidades de seleção visando obter ganho genético e manter a diversidade genética da população, (iv) avaliar a diversidade genética entre progênies e estimar a dissimilaridade entre progênies.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O GÊNERO *Pinus*

Atualmente, os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* ocupam 7,2 milhões de hectares, sendo 22,2% correspondente à área de plantio de *Pinus*. O setor de árvores plantadas teve crescimento de 0,8% em relação a 2014, o que manteve o Brasil na liderança do ranking mundial de produção florestal, gerando PIB de 3,0%, e o saldo da balança comercial recorde, de 7,7 bilhões de reais (IBA, 2016).

O gênero *Pinus* pertence ao grupo das Gymnospermae com ocorrência natural englobando Europa, Ásia, América do Norte e Central totalizando mais de 100 espécies (DVORAK et al., 2000). Desse total, algumas foram introduzidas no Brasil por volta de 1960, período dividido em dois marcos importantes. Nas décadas de 1960 e 1970 que se caracteriza pela política de incentivos aos plantios florestais de espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, com o desenvolvimento mais rápido de alguns setores do que outros, e nas décadas de 1980 a 2000, no qual segundo a ABRAF (2012) ocorreu a consolidação do mercado florestal, configurando o cenário que se estende até os dias atuais.

As crescentes restrições de caráter ambiental ao uso de espécies nativas causadas pela intensa exploração da madeira resultaram no crescimento do comércio internacional de madeira de florestamento (CORDEIRO et al., 2010). Para conservar as florestas e diminuir os impactos, a silvicultura têm introduzido programas de melhoramento com espécies exóticas, principalmente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* proporcionando melhor desenvolvimento socioeconômico e socioambiental no país (SAMPAIO et al., 2000; FURLAN et al., 2007; SARTORETTO et al., 2008).

Em plantios comerciais, as espécies do gênero *Pinus* são muito utilizadas em várias partes do mundo. As principais justificativas devem-se às propriedades e à importância florestal e econômica de sua madeira (BRUEGEL, 2010), na indústria laminadora, de serrados, de celulose e papel e extração de resina em escala comercial (AGUIAR et al., 2011), em pequena escala para o sequestro de carbono, armazenamento e conversão em biomassa (LAL, 2007; SHA et al., 2015) e para geração de vapor e energia, e por apresentarem plasticidade em relação a outras espécies exóticas (MAEDA; SILVA; CARDOSO, 2008; AGUIAR et al., 2011).

No Brasil, as plantações comerciais de *Pinus* começaram na década de 1960 nas regiões Sul e Sudeste, feitos inicialmente pelo Instituto Florestal (ROSA, 1981; AGUIAR et

al., 2011). À princípio visava a produção de aglomerados, laminados, madeira para caixotaria, móveis, serraria, e celulose, vindo a seguir a exploração de resina e a produção de sementes melhoradas, tanto para o abastecimento interno como para a exportação.

Entre as inúmeras espécies de *Pinus* existentes as que mais se adaptaram as regiões de clima tropical no Brasil foram *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*. Estas possuem potencial madeireiro e são muito adaptadas às regiões de clima mais quente, podendo ser recomendada para o plantio, no cerrado das regiões Centro-Oeste e Sudeste incluindo a bacia amazônica e as planícies costeiras (SHIMIZU, 2005; SHIMIZU; MEDRADO, 2005).

A perspectiva nos mercados internos e externos apresenta-se promissoras, principalmente, para aqueles produtos que incorporem tecnologia mais avançada aliada a qualidade da madeira. Sendo assim, tais aspectos econômicos têm levado as instituições ligadas ao setor florestal a realizarem pesquisas que permitam aumentar a produtividade das florestas implantadas, a partir de métodos de melhoramento genético e manejo silvicultural.

2.2 *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

A espécie *P. caribaea* var. *hondurensis* ocorre naturalmente em Belize, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua e México (MOURA; DVORAK, 2001), com precipitação pluviométrica de 670 mm (Los Limones, Honduras) a 4.000 mm anuais (Laguna Del Pinar, Nicarágua) (DVORAK et al., 2000). Devido à ampla distribuição de ocorrência, essa espécie adapta-se muito bem às diferentes condições edafoclimáticas. É uma espécie exótica e de alto valor econômico destacando-se em plantios nas regiões tropicais, podendo ser encontrada em quase todo território brasileiro devido ao seu potencial silvicultural, fundamental para sustentar demanda industrial (MORAES et al., 2007).

Assim como a maioria das espécies de *Pinus*, essa espécie também é monóica, ou seja, possui estróbilos masculinos e femininos no mesmo indivíduo. A árvore adulta pode atingir até 38 m de altura com DAP entre 30 cm a 60 cm (DVORAK et al., 2000). Sua polinização é realizada pelo vento, o que aliado a monoícia, caracteriza a espécie como predominantemente alógama (LAMB et al., 1973).

Figura 1. Árvore adulta de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

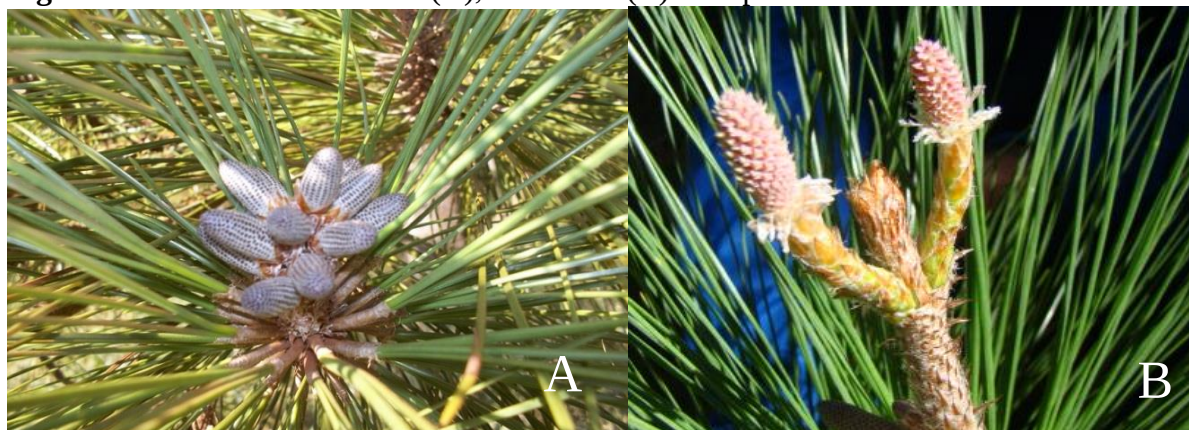


Fonte: Ananda V. de Aguiar.

O florescimento da espécie no Brasil ocorre nos meses de junho a agosto e a produção de sementes em dezembro e janeiro. As sementes são ovoide-triangulares, com asas bem desenvolvidas e dispersas pelo vento (LORENZI et al., 2003), e apresentam cor cinzenta escura e às vezes manchas marron claras. Muitas delas possuem uma asa de 20 mm, mas a maioria as perde (NIETO e RODRIGUES, 2003).

LAMB (1973) condiciona o sucesso de *P. caribaea* var. *hondurensis* entre outras coisas a disponibilidade de sementes no mercado e ao seu bom desenvolvimento em solos pobres. Em plantios comerciais se destaca por apresentar crescimento rápido, principalmente em baixas altitudes, e com precipitação média anual acima de 1.500 mm, porém esta espécie não tolera geada e nem solos sujeitos ao encharcamento (WRIGHT, 1994; DVORAK et al., 2000; KALANZE et al., 2014).

Figura 2. Estróbilos masculinos (A), femininos (B) da espécie *P. caribaea* var. *hondurensis*.



Fonte: Ananda V. de Aguiar.

P. caribaea var. *hondurensis* é uma das espécies de *Pinus* mais explorada economicamente no mundo para produção de madeira, e foi introduzida em mais de 50 países (BARRET; GOLFARI, 1962). Além disso, a espécie tem potencial para produção de resina em quantidade viável economicamente. Sua madeira é usada para fabricação de painel, compensado, carvão, lenha, papel e para construção civil. Em relação à resistência ao ataque de insetos, varia de acordo com o conteúdo de resina, sendo o cerne moderadamente durável e resistente (CHUDNOFF, 1984).

O híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* × *P. caribaea* var. *hondurensis* têm sido usado em vários países como Austrália, Estados Unidos, África, Argentina, China e Uruguai (NIKLES, 2000). O híbrido demonstrou superioridade em relação à espécie *P. caribaea* var. *hondurensis* para o crescimento e ao potencial em produção de madeira (KIETZKA 2002; ALMEIDA et al., 2014).

Portanto, na estratégia de melhoramento desta espécie pode-se explorar a superioridade dos híbridos interespecíficos de *P. elliottii* com *P. caribaea* var. *hondurensis*, mediante polinizações controladas. Com isso, pode-se gerar árvores com alto incremento volumétrico, semelhante ao de *P. caribaea* var. *hondurensis*, e madeira de qualidade física e mecânica semelhante à de *P. elliottii* (SHIMIZU, 2008).

2.3 *Pinus tecunumanii*

É uma espécie nativa das partes elevadas das terras do sul do México até a Nicarágua, em altitudes variando de 600 m a 2.400 m (DVORAK et al., 2000). No Brasil, é uma das espécies do gênero mais valorizada pela alta produtividade e qualidade da madeira,

juntamente com *P. caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, por serem as espécies tropicais mais adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras (SHIMIZU, 2005; SHIMIZU, 2008; MOURA; VALE, 2002).

Dentre as características silviculturais, a altura, o diâmetro e a densidade básica da madeira são as mais importantes por estarem relacionadas à produtividade das florestas (ROSADO, 1983; SHIMIZU, 2005). As árvores adultas das regiões de altitudes elevadas (acima de 1.500 m) podem atingir 55 m, aproximadamente, e DAP maior que 100 cm com fuste reto. As árvores de populações de altitudes abaixo de 1.500 m geralmente apresentam altura entre 20 m e 30 m, DAP de aproximadamente 60 cm, na fase adulta, e fuste com um pouco de tortuosidade (DVORAK et al., 2000). A espécie possui casca grossa, cinzenta e sulcada perto da base e com casca fina, cinza e escamosa nas regiões mais altas do tronco.

A madeira de *P. tecunumanii* é amarelada, semelhante a alguns dos pinheiros do sul dos Estados Unidos. No México e na América Central sua madeira é usada para madeira de serra, molduras, paletes, varas de vassoura e madeira de combustível, além de apresentar características físicas mais homogêneas se comparadas com as demais espécies de *Pinus*. No Brasil, a região recomendável para o plantio dessa espécie é um ambiente caracterizado por solos ácidos e argilo-arenosos, com pelo menos 40 cm de profundidade, boa drenagem e precipitação pluviométrica anual de pelo menos 1.000 mm (EMBRAPA, 2011).

Os cones são pequenos e dispostos normalmente em dois, com pedúnculos longos e finos e têm em média 5 cm de comprimento, e forma ovoide-alongada. Normalmente a produção dos estróbilos masculino e feminino ocorre de dezembro a março. As sementes são pequenas, com 4 mm a 6 mm de comprimento e 3 mm de largura, com asas de 9 mm de comprimento e 5 mm de largura. A produção de sementes é baixa, sendo as melhores regiões para produção encontradas entre 17° e 28° S na costa da Austrália, Brasil, África do Sul e as terras altas do Zimbábue (DVORAK; LAMBETH, 1992). As acículas são finas e flexíveis, de coloração verde-clara a verde-amarelada, com comprimento médio de 17 cm a 18 cm e em fascículos de quatro a cinco acículas, na maioria dos casos (EGUILUZ E PERRY, 1983) (Figuras 3 e 4).

Figura 3. Cones (A), Casca (B) e acículas (C), de *P. tecunumanii*.



Fonte: Ananda V. de Aguiar.

Figura 4. Estróbilos femininos (A) e masculinos (B) de *P. tecunumanii*.



Fonte: Ananda V. de Aguiar.

Uma limitação do plantio desta espécie em nível comercial é a baixa produção de sementes. Com a implantação de pomares de sementes em locais favoráveis à produção de sementes no Brasil, Costa Rica, Colômbia, África do Sul e Zimbábue (DVORAK, 1996). O híbrido de *P. tecunumanii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* têm apresentado um crescimento em diâmetro superior a outros híbridos, como *P. elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* em algumas regiões tropicais do Brasil. Assim, algumas empresas e instituições de pesquisa priorizam o desenvolvimento híbridos interespecíficos entre *P. tecunumanii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*.

2.4 MELHORAMENTO FLORESTAL

Os programas de melhoramento têm como finalidade selecionar genótipos mais produtivos capazes de se adaptar as condições de um determinado ambiente, produção de variedades, clones e híbridos, além de manter suficiente a diversidade genética na população reprodutora para garantir ganhos genéticos em longo prazo (KAGEYAMA; VENCOVSKY, 1983; GONÇALVES et al., 1998; WHITE, 2004; BORÉM; MIRANDA, 2009; BELTRAME, 2012; GAPARE, 2013). Em espécies perenes, após selecionar o material a ser melhorado, dimensiona-se a população-base inicial a ser trabalhada, que deve conter variabilidade genética suficiente para o melhoramento em curto e longo prazos. Nesse caso, segundo Resende (1999), o ideal é iniciar com uma população-base representada por um número elevado de progênies, para permitir alta intensidade de seleção já nas primeiras gerações e, simultaneamente, manter o tamanho efetivo populacional compatível com o melhoramento no longo prazo.

A diversidade genética é um componente essencial para as populações base e requisito fundamental para a obtenção de ganhos genéticos em curto e longo prazo e a manutenção da variabilidade genética ao longo dos ciclos. Essas populações poderão fornecer subsídios para o estudo de interação genótipo x ambiente, melhoria nas condições adaptativas das espécies, aumento da produtividade e a obtenção de matéria-prima de maior qualidade. A partir dessas populações são estabelecidas as populações de melhoramento, que possibilitam a estimativa de inúmeros parâmetros genéticos, inclusive as correlações genéticas e fenotípicas entre as idades precoces e de corte, para diminuir o tempo de seleção sem interferir no ganho genético, como objetivo de se definir a idade real para seleção (FALCONER, 1981; MORI, 1993; WU et al., 2007; GAPARE, 2013). O melhoramento genético também contribui indiretamente para conservação das florestas naturais, como aconteceu com introdução de *Pinus* na região Sul do Brasil. Assim, no sentido de suprir a demanda de madeira devida à exploração predatória das florestas nativas, promoveu-se os incentivos a pesquisa de espécies exóticas como espécies do gênero *Pinus*, visando a produção de fibras longas em substituição à *Araucaria angustifolia* (BARRICHELO, 1979; FERREIRA; SANTOS, 1997).

A finalidade do melhoramento genético do gênero *Pinus*, principalmente das espécies de maior valor econômico, tais como *P. taeda*, *P. elliottii*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*, é, principalmente, para papel, celulose de fibra longa, madeira serrada e produção de resina. Dessa maneira, a seleção é dirigida no sentido de se identificar árvores com alta produção e qualidade da madeira, e se possível associadas à alta produção e

qualidade de resina (SQUILLACE, 1964; RESENDE 1999; EMBRAPA, 2011). Porém, a correlação entre a produção de resina e volume de madeira não apresentam uma alta correlação como relatado em alguns trabalhos (SANTOS, 2015). Dessa maneira, as duas propostas devem ser conduzidas independentemente. A obtenção de populações melhoradas que satisfaçam as exigências da produtividade florestal, depende da capacidade de identificar genótipos desejados na população sob seleção a partir dos ciclos repetitivos de seleção recorrente (SAMPAIO et al., 2000).

A obtenção de populações melhoradas que satisfaçam as exigências da produtividade florestal, depende da capacidade de identificar genótipos desejados na população sob seleção a partir dos ciclos repetitivos de seleção recorrente (SAMPAIO et al., 2000). A seleção recorrente é uma técnica de melhoramento de populações que têm por objetivo a concentração de alelos favoráveis mantendo a variabilidade genética da população. As principais estratégias de seleção são: a seleção recorrente intrapopulacional, quando visa melhorar uma população e tem como unidade de seleção o indivíduo ou a progênie (KAGEYAMA, 1983), e a seleção recorrente recíproca ou também conhecida como seleção recorrente interpopulacional, quando visa melhorar duas populações buscando a heterose entre elas, com a finalidade de produção de híbridos. Dentre as estratégias de seleção existentes, no melhoramento das espécies de *Pinus* no Brasil a mais usada é a seleção recorrente intrapopulacional.

A porcentagem de ganho a ser obtido depende da herdabilidade do caráter, da intensidade de seleção, tempo e do método de seleção a ser aplicado. Os principais métodos de seleção são massal, dentro de progênies e/ou entre progênies e combinada. Na seleção massal, as plantas são selecionadas fenotipicamente. Somente informações do fenótipo são consideradas. Desta forma para esse tipo de seleção se utiliza caráter de alta herdabilidade (BORÉM e MIRANDA, 2009). A seleção entre e dentro de progênies é realizada levando em consideração o desempenho médio das progênies e indivíduos dentro das progênies para todas as repetições e locais de avaliação. As melhores progênies e indivíduos deverão ser recombinadas para a formação do próximo ciclo, utilizando sementes remanescentes (BORÉM e MIRANDA, 2009). O melhoramento genético do gênero *Pinus*, principalmente das espécies de maior valor econômico, tais como *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii* tem-se voltado para papel, celulose de fibra longa, madeira serrada (RESENDE 1999; EMBRAPA, 2011). Portanto, é de fundamental importância estimar parâmetros genéticos a fim de prever os ganhos com a seleção (BERTI, 2010).

2.5 ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS

Os testes de progênies são utilizados para se determinar a estrutura genética de populações, parâmetros genéticos, seleção de indivíduos ou progênies, e consequentemente, viabilizar a produção de sementes melhoradas (SHIMIZU; KAGEYAMA; HIGA, 1982). Testes de progênie de polinização livre são os mais utilizados em espécies florestais, uma vez que é mais fácil de condução, e também permite obter estimativas da capacidade geral de combinação e de parâmetros genéticos (SILVA, 2005). Os parâmetros são usados para especificar as características constantes de uma população, uma vez que possibilitam a obtenção de informações sobre a natureza genética envolvida na herança dos caracteres e orientação sobre a estratégia mais adequada de seleção a ser adotada. No caso de populações utilizadas nos programas de melhoramento genético, os parâmetros de interesse são agrupados em dois: genéticos e não genéticos. Desta forma, a genética quantitativa explica quase a totalidade dos fenômenos genéticos envolvidos nos trabalhos de melhoramento (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

As estimativas dos componentes de variância e de parâmetros genéticos são necessárias para a predição de ganhos genéticos a fim de evitar perdas excessivas de variabilidade, o que compromete os objetivos do programa de melhoramento (MORI, 1993). Desses parâmetros, os que interessam ao melhorista e que são frequentemente visados nos estudos envolvendo progênies, se referem às variâncias genéticas em seus componentes aditivos e não aditivos, ao coeficiente de herdabilidade, as interações dos efeitos genéticos e ambientais e finalmente as correlações genéticas entre os caracteres (SHIMIZU et al., 1982; COSTA, 1999).

Dentre os parâmetros genéticos, a variância genética aditiva 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). As estimativas de herdabilidades também são ferramentas importantes para os melhoristas, pois expressam a quantidade da variabilidade genética disponível numa população proporcionando o conhecimento da magnitude relativa das variações genéticas e ambientais (WRIGHT, 1976). Devido a isso, o coeficiente de herdabilidade participa quase sempre, de todas as fórmulas relacionadas com a predição de ganho genético, dos métodos de melhoramento e de inúmeras decisões práticas (MIRANDA, 2012).

2.6 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE (G X A)

Um dos principais objetivos de programas de melhoramento genético é selecionar genótipos estáveis e de elevada produtividade para os mais diversos ambientes, porém, o êxito desses programas está na capacidade de escolha dos melhores indivíduos que serão os genitores das futuras gerações aliados às adequadas recomendações de genótipos que são influenciados diretamente pelos fatores ambientais (MATHESON; RAYMOND, 1986; RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993).

O comportamento de um indivíduo em relação a outro pode certamente variar de acordo com o ambiente em que genótipos superiores em um ambiente podem não ser em outro, isso se denomina interação genótipo x ambiente (G x A). Isso pode ser verificado quando ocorrem alterações no desempenho relativo dos genótipos por causa de diferenças ambientais ou também, resposta diferente dos genótipos ao serem submetidos à condições ambientais adversas. A interação G x A é um fenômeno natural intrínseca à evolução das espécies. O resultado pode ser o aparecimento de genótipos estáveis a um ambiente único bem como em vários ambientes concomitantemente. Essa interação é de natureza genética, não no sentido comum, mas pela decorrência de instáveis manifestações genotípicas entre os ambientes (EBERHART; RUSSEL, 1966; LAVORANTI, 2003; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Entre todos os caracteres que podem ser avaliados em testes de progênie, muitos não sofrem grandes alterações com as modificações ambientais, contudo, os caracteres de interesse econômico são quantitativos e, dessa forma, variações no ambiente por menor que seja já podem manifestar diferenças fenotípicas significativas, como produção de madeira (PATIÑO VALERA; KAGEYAMA, 1988). Quando isso acontece pode-se dizer que houve interação G x A do tipo complexa, ou seja, as modificações do ambiente foram determinantes na relação com o material implantado. Por outro lado, quando os caracteres das (os) progênies/clones se manifestam independentemente do ambiente diz-se que houve interação do tipo simples, nesse caso, os indivíduos sugeridos para uma área também podem ser sugeridos para a outra área também avaliada. A interação complexa dificulta a seleção de genótipos de adaptação ampla (MAIA et al., 2009).

No Brasil, por possuir dimensões continentais, o clima varia muito e para o cultivo florestal os fatores mais limitantes são temperatura e precipitação. Apesar dos poucos trabalhos sobre interação G x A, baseados em observações realizadas em áreas experimentais, pode-se classificar o país em duas grandes áreas de plantio de pinus: a região temperada em

que espécies como *P. taeda*, *Pinus greggii*, *Pinus patula*, *P. elliottii* melhor se adaptaram e a região tropical pode-se encontrar espécies como *P. tecunumanii* e variedades de *P. caribaea* (*caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis*) (SHIMIZU; SPIR, 1999; FONSECA et al., 1978; ROMANELLI; SEBBENN, 2004).

Para uma maior possibilidade de indicação de genótipos, são necessários mais trabalhos sobre o assunto. Em algumas espécies de coníferas já existem trabalhos de interação G x A como para *P. radiata* (RAYMOND, 2011; LI et al., 2015; GAPARE et al., 2015), *Cunninghamia lanceolata* (BIAN et al., 2014), *P. elliottii* (PAGLIARINI et al., 2016), *P. taeda* (PALUDZYSZYN FILHO; MORA; MAESTRI, 2001; MARTINEZ et al., 2012), *Pinus pinaster* (CORREIA et al., 2010), *Picea abies* (BERLIN; JANSSON; HÖGBERG, 2015), e também em outras espécies florestais como *Hevea brasiliensis* (ARANTES et al., 2013), *Eucalyptus spp.* (SANTOS et al., 2015; PUPIN et al., 2015; SANTOS et al., 2016), *Myracrodruon urundeuva* (MORAES et al., 2012; CANUTO et al., 2016).

A análise de interação G x A é de suma importância, todavia, ela não satisfaz informações completas e exatas acerca de cada genótipo em relação às variações no ambiente podendo, as causas da interação, ser de cunho fisiológico, adaptativos, e relativos à mensuração das características. Assim, para que as análises sejam as mais reais possíveis é necessária a realização de análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, além de produtividade sendo possível identificar genótipos mais estáveis e produtivos e sua relação com os ambientes em questão (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; SILVA; DUARTE, 2006).

A adaptabilidade refere-se à habilidade dos genótipos de responderem aos estímulos ambientais e a estabilidade refere-se à habilidade desses mesmos genótipos manterem o mesmo desempenho sob várias condições ambientais. A análise conjunta de adaptabilidade e estabilidade permite identificar genótipos com comportamento previsível nos mais diferentes ambientes. Considerando a variedade de zonas de plantio e existência de diversidade em material de *Pinus* utilizado em plantações comerciais, uma investigação mais detalhada sobre seu comportamento gerará informações importantes sobre o estabelecimento dos indivíduos. Dessa forma, a seleção de metodologias que combinem estabilidade e adaptabilidade unicamente pode ser considerada superior, em comparação com aqueles que usam apenas a produção como critérios de seleção. Essa análise pode ser realizada pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG) (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; RESENDE; DUARTE, 2007; ALWALA et al., 2010).

MHPRVG é baseado na análise de valores genéticos usando modelos mistos selecionando-se genótipos simultaneamente pela produtividade, estabilidade e adaptabilidade. Entre as inúmeras vantagens o método pode ser trabalhado com dados desbalanceados e com a heterogeneidade de variâncias podendo, assim, gerar resultados na própria escala ou grandeza do caráter avaliado possibilitando que os resultados sejam interpretados diretamente como valores genéticos (RESENDE, 2004; RESENDE, 2007; VERARDI et al., 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização das áreas experimentais

O presente trabalho é composto por seis testes de progênies de polinização aberta, sendo três de *P. caribaea* var. *hondurensis* e três de *P. tecunumanii*. As sementes para implantação dos testes de *P. caribaea* var. *hondurensis* foram coletadas em um pomar de sementes clonal, Morada Nova, MG. As sementes de quarenta matrizes de *P. tecunumanii* foram coletadas em 2009 e 2010 em um pomar de sementes por mudas em Ventania, PR. As mudas das duas espécies foram produzidas no viveiro da Empresa Golden Tree, em Guarapuava, PR (Tabela 1). Os testes foram implantados em março e abril de 2012 nos municípios de Selvíria-MS, Luiz Antônio-SP e Itapeva-SP (Tabelas 1, 2 e 3, Figura 5).

Tabela 1. Características dos locais de coleta de sementes e produção de mudas de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PT).

Espécie	PCH	PTE
Local	Morada Nova-MG	Ventania-PR
Área	Pomar de sementes clonal	Pomar de semente por mudas
Clima	Aw	Misto Cfa/Cfb
Vegetação	Cerrado	Mata Atlântica/Cerrado
Temperatura	25,1° C e 20,9° C	26 ° C e 14,5 ° C
Precipitação média	1.222 mm	1.700 mm
Mudas	Viveiro Golden Tree – Guarapuava, PR.	

Fonte: Autoria própria. Silveira, (2006); Danni-Oliveira; Mendonça, (2002).

Tabela 2. Testes de progênies: *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em três locais.

Espécies	PCH			PTE		
Localidade	Luiz			Luiz		
	Selvíria	Antônio	Itapeva	Selvíria	Antônio	Itapeva
Delineamento	Blocos ao acaso					
Número de progênies	35	35	35	40	40	40
Blocos	30	30	21	38	38	26
Data de plantio	03/2012	03/2012	04/2012	03/2012		
Espaçamento	3,0m x 3,0m					

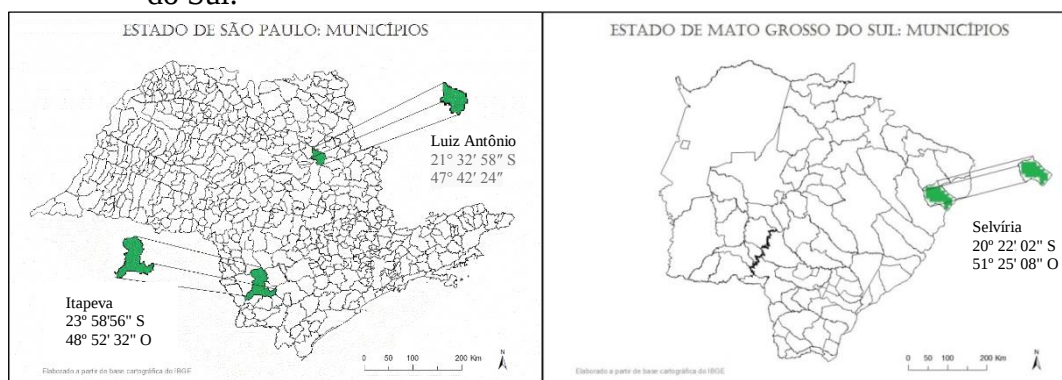
Fonte: Autoria própria

Tabela 3. Características pedoclimáticas dos locais de plantio dos testes de progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*.

Testes de Progênies			
Locais	Selvíria, MS	Luiz Antônio, SP	Itapeva, SP
Temperatura média	24,5 °C	22,7 °C	23,7 °C
Altitude	370 m	550 m	730 m
Clima	Tipo Aw	Tropical Cwa	Tropical Cfa
Precipitação média	1232,2 mm	1.280 mm	1247 mm
Solo	Latossolo Vermelho	Latossolo Vermelho	Latossolo Vermelho

Fonte: (HERNANDEZ et al., 1995; EMBRAPA, 1999, adaptado pelo autor).

Figura 5. Região das áreas experimentais no estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul.



Fonte: Base cartográfica do IBGE, adaptado pelo autor.

As avaliações dos caracteres foram realizadas nos anos subsequentes após o plantio para todos os experimentos de *P. caribaea* var. *hondurensis* e de *P. tecunumanii*. A altura total foi avaliada em 2013, 2014 e 2017, o diâmetro do fuste à altura de 30 cm (2013) e o diâmetro a altura do peito (DAP) foram avaliados em 2014 e 2017. O caráter altura foi mensurado com o uso de uma régua telescópica centimetrada e com o auxílio do Vertex, e o diâmetro com um paquímetro digital.

3.2 Análise de *deviance* individual e estimativa dos parâmetros genéticos

A análise de *deviance* individual foi realizada para verificar o comportamento das estimativas dos parâmetros genéticos e o ranqueamento dos indivíduos nos seis ensaios. As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas usando-se o modelo linear misto (modelo aditivo univariado), pelo método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita / melhor predição linear não viciada), a partir de dados desbalanceados, empregando-se o software genético-estatístico SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2007a). Para isso foi empregado o modelo 95 (Equação 1), que considera o delineamento em blocos completos ao acaso, avaliação de indivíduos de polinização aberta, com uma planta por parcela e somente um local:

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

em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Para utilização desse modelo, foi preciso assumir que as progênes de cada espécie eram de polinização livre. Para testar o efeito de progênes foi realizada a análise de *deviance*. O teste de significância foi obtido a partir da razão de verossimilhança (LRT), calculado pela diferença entre as *deviances* para modelos sem e com efeito a ser testado e utilizando-se o teste de qui-quadrado para a significância da diferença, a 1 grau de liberdade, segundo Resende (2007b), que é descrita pela Equação 2:

$$D = -2 \log L \quad (2)$$

As equações do modelo 95 para predição dos valores genéticos aditivos e estimação das médias de blocos são (Equações 3, 4 e 5):

$$\begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + X^{-1}\lambda_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix} \quad (3)$$

em que:

$$\lambda_1 = \frac{\hat{\sigma}_r^2}{\hat{\sigma}_a^2} = \frac{1 - \hat{h}_a^2}{\hat{h}_a^2} \quad (4)$$

$$\hat{\sigma}_r^2 = \hat{\sigma}_e^{2*} - (1 - \rho_a)\hat{\sigma}_a^2 \quad (5)$$

ρ_a = correlação genética entre as progênes, considerada ($\rho_a = 1/4$ para meios-irmãos); $\hat{\sigma}_a^2$ = variância genética aditiva; $\hat{\sigma}_e^2$ = variância entre parcelas estimada a partir do delineamento com uma planta por parcela.

Os parâmetros genéticos estimados foram:

- a) Herdabilidade individual no sentido restrito

$$h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2} \quad (6)$$

Em que σ_a^2 é variância genética aditiva e σ_e^2 é a variância residual.

- b) Herdabilidade média de progênes

$$h_m^2 = \frac{[1 + (n-1)\rho_a] h_a^2}{1 + (n-1)(\rho_a h_a^2)} \quad (7)$$

Em que: ρ_a é a correlação genética aditiva entre indivíduos, n é o número de indivíduos por progênie e h^2 é a herdabilidade individual no sentido restrito.

- c) Acurácia

$$r_{aa} = \sqrt{\frac{n}{n + \left(\frac{4 - h_a^2}{h_a^2}\right)}} \quad (8)$$

Em que: n é número de árvores por progênie e h_a^2 é a herdabilidade individual no sentido restrito.

- d) Variância fenotípica individual

$$\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2 \quad (9)$$

Em que: σ_a^2 é variância genética aditiva e σ_e^2 é a variância residual.

- e) Coeficiente de variação genético entre indivíduos

$$CV_{gi} = \frac{100 \cdot \sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\mu} \quad (10)$$

Em que: σ_a^2 é variância genética aditiva e μ é a média geral.

- f) Coeficiente de variação genético entre progênes

$$CV_{gp} = 100 \cdot \frac{\sqrt{0,25\hat{\sigma}_a^2}}{\mu} \quad (11)$$

Em que: σ_a^2 é variância genética aditiva e μ é a média geral.

- g) Coeficiente de variação experimental

$$CV_e = 100. \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{\mu} \quad (12)$$

Em que: σ_e^2 é a variância residual e μ é a média geral do caráter.

3.3 Métodos de seleção

Após as estimativas dos parâmetros genéticos dois métodos de seleção foram analisados para definir a melhor estratégia de seleção a ser aplicada nos testes a fim de evitar a redução da variabilidade da população após desbaste seletivo e/ou coleta de sementes para compor novos testes. Os métodos de seleção foram baseados no DAP. Para estimativa do progresso esperado com seleção foram considerados valores aditivos individuais (BLUP's) do caráter DAP, conforme metodologia proposta por Resende (2002).

Para estimar o ganho de seleção foram utilizados dois métodos:

- I) Seleção dos primeiros indivíduos, com uma intensidade de 50%. Desta forma, o número total de indivíduos selecionados nessa situação foi variável entre os testes de progênies e ficou em função do número de repetições e de progênies em cada um dos locais. Nesse caso, a seleção procurou maximizar o ganho de seleção, não se preocupando com a diversidade genética a qual ficou reduzida o teste de progênies após a seleção;
- II) Seleção dos melhores indivíduos dentro de progênies, em cada uma das repetições, em cada local. Nessa situação, procura-se manter certo equilíbrio entre o ganho na seleção e a diversidade genética.

Para monitorar a variabilidade genética após os ciclos de seleção e com isso evitar a perda da variabilidade genética excessiva, foi estimado os tamanhos efetivos populacionais (N_e) com base em Resende (2002):

$$N_e = (4.N_f.\bar{k}_f) / [\bar{k}_f + 3 + (\hat{\sigma}_{kf}^2 / \bar{k}_f)];$$

em que:

$\bar{k}_f$ = número médio de indivíduos selecionados por progênies;

σ_{kf}^2 = variância do número de indivíduos selecionados por progênies;

N_f = nº de progênies selecionadas.

$$GS = \mu a 100 / \mu f;$$

em que: GS é o ganho de seleção; μa é a média genotípica dos indivíduos selecionados; e μf é a média geral fenotípica do caráter selecionado.

3.4 Diversidade genética

Com a proposta de estimar a divergências entre genitores com base em caracteres morfológicos, quais são essenciais para se obter populações segregantes em vários caracteres de modo a ampliar as chances de seleção de genótipos superiores, foi aplicada a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) (CRUZ; REGAZZI, 2001). Essa oferece vantagem em relação os demais métodos de distâncias por levar em consideração às correlações entre os caracteres analisados, o desvio padrão e uma escala invariante. Porém, necessita de ensaios experimentais com repetições (BERTAN, 2006). Segundo Cruz e Carneiro (2003) D^2 é dada pela expressão:

$$D_{ii'}^2 = \delta' \psi^{-1} \delta$$

em que:

$D_{ii'}^2$ = distância de Mahalanobis entre os genótipos i e i' ;

$\delta' = [d_1, d_2, \dots, d_v]$, sendo $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$;

ψ = matriz de variâncias e covariâncias residuais;

Y_{ij} = média do i -ésimo genótipo em relação à i -ésima variável.

A partir das matrizes de dissimilaridade (D^2), obtidas na distância de Mahalanobis, foi aplicado um método de agrupamento como o objetivo de reconhecer grupos de progênies homogêneas. Para tanto, foi utilizado o Método de Otimização de Tocher, descrito por Cruz e Regazzi (2001) em que se adota como critério, que a média dos valores de D^2 (intracluster) deve ser menor que os valores de D^2 (inter-cluster). A aplicação deste método parte-se da matriz de dissimilaridade, sendo identificado na mesma o par de progênies mais similar. Estas progênies constituirão o grupo inicial. Para cálculo das distâncias foram obtidas as matrizes de variâncias e covariâncias pelo método REML/BLUP e o software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2007).

3.4 Análise conjunta e Produtividade, estabilidade e adaptabilidade

Para verificar a interação genótipo x ambiente (análise conjunta) foi utilizado o delineamento de blocos completos ao acaso com uma observação por parcela, e vários locais foi adotado o seguinte modelo descrito pela Equação 16 (RESENDE, 2007b).

$$y = \mathbf{X}r + \mathbf{Z}g + \mathbf{W}i + e \quad (16)$$

Em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), i é o vetor dos efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. O vetor r contempla todas as medições em todas as repetições nos vários locais e ajusta simultaneamente para todos esses efeitos e suas interações (RESENDE, 2007b).

As análises referentes à produtividade, estabilidade e adaptabilidade foram obtidas com base no procedimento MHPRVG, empregando o software SELEGEN-REML/BLUP. De acordo com o método, a estabilidade corresponde a Média Harmônica dos Valores Genotípicos nos locais (MHVG); a adaptabilidade refere-se à Performance Relativa dos Valores Genotípicos em relação à média de cada local (PRVG) e a estabilidade, adaptabilidade e produtividade simultaneamente (representada pelo caráter volume aos cinco anos), corresponde a Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos (MHPRVG).

Além da herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2), herdabilidade média de progêies (h_m^2), acurácia (r_{aa}), coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}) e coeficiente de variação residual (CV_e) foram estimados:

- a) Coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente

$$C_{int}^2 = \frac{\sigma_{int}^2}{\sigma_a^2} \quad (17)$$

Em que: σ_{int}^2 é a variância da interação genótipo x ambiente.

- b) Correlação genotípica entre progêies nos vários ambientes (Correlação do tipo b)

$$r_{gloc} = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_{int}^2} \quad (18)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de *deviance* individual e estimativa de parâmetros genéticos

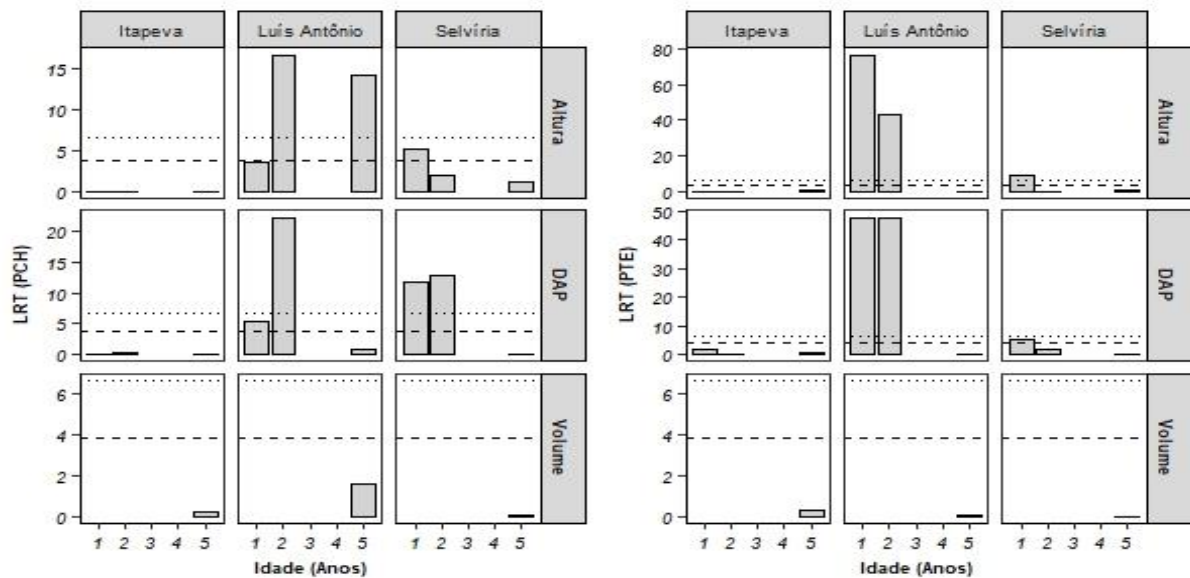
Na análise de *deviance* individual verificou-se que as progênies das duas espécies de *Pinus* diferiram significativamente entre si ($p < 0,05$) para altura e DAP, em Selvíria e Luiz Antônio (Figura 6). Se a variação existente for de natureza genética poderá ser explorada em futuros ciclos de melhoramento genético ou para produção de clones e híbridos por meio da seleção. Em Itapeva não foi observada diferença estatística entre progênies para as duas espécies (Figura 6), podendo-se atribuir esse resultado ao número reduzido de repetições, porém, foi o local que obteve as maiores médias de DAP tanto para *P. caribaea* var. *hondurensis* (15,6 cm) e para *P. tecunumanii* (15,9 cm) aos cinco anos de idade (Figura 7).

As melhores médias de altura foram obtidas nos experimentos de Luiz Antônio *P. caribaea* var. *hondurensis* (10,9 m) e *P. tecunumanii* (12,4 m) (Figura 7). Em relação à média de volume de madeira, observou-se que em Selvíria e Luiz Antônio, foram maiores que Itapeva com valores de 0,05 e 0,09 m³.árv.⁻¹ano⁻¹ para PCH e de 0,08 e 0,10 m³.árv.⁻¹ano⁻¹ para PTE. Esse fato pode estar relacionado às condições desses dois locais, que possuem temperatura e precipitação mais próximas das condições de origem das mudas (Tabela 1). As médias evidenciam o potencial das progênies e a amplitude de crescimento vegetativo nas diferentes condições edafoclimáticas estudadas, e sugere a seleção de indivíduos que sejam melhores adaptados em cada local. As médias do *P. caribaea* var. *hondurensis* em Selvíria foram inferiores em relação aos outros dois locais e à espécie *P. tecunumanii*, o que pode estar associado as condições climáticas e ao efeito da baixa altitude da região de plantio. Esse fato de certa maneira contribuiu mais para o florescimento precoce, o qual está inversamente relacionado ao crescimento.

Outro fator que pode ter contribuído para a redução das médias em Selvíria pode ser explicado pela retirada dos horizontes A e B do solo do local de plantio, as camadas que detêm maior fertilidade segundo Lepsch (2010), para construção da barragem hidrelétrica de Ilha Solteira. Apesar de o *Pinus* ser uma espécie adaptada a solos de baixa fertilidade, um menor desempenho das plantas era esperado já que nesse horizonte existem também camadas de impedimentos para desenvolvimento de um sistema radicular. Outro trabalho com essas espécies no mesmo local de plantio também apresentou médias menores que o esperado (Silva et al, 2016). Esses dados apresentam um contraste com valores encontrados na literatura,

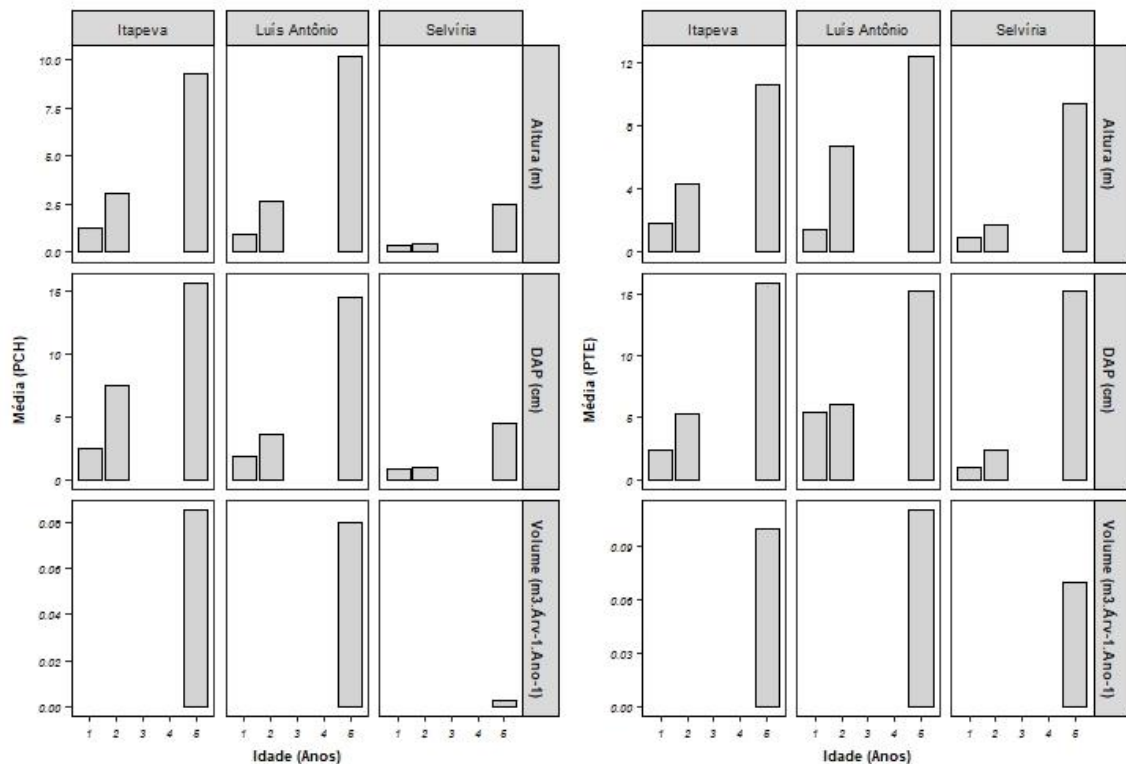
ressaltando o bom crescimento vegetativo das progênes Pires et al., (2013); Moraes et al., (2007); Gapare et al., (2012) e Fries, (2012).

Figura 6. Teste de razão de máxima verossimilhança (LRT) e níveis de significância para caracteres de crescimento em progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luiz Antônio (SP) e Itapeva (SP). (LRT acima da linha tracejada = $p < 0.05$; acima da linha tracejada = $p < 0.01$ e abaixo da linha tracejada = não significativo).



Fonte: Do próprio autor.

Figura 7. Média geral para caracteres de crescimento em progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luiz Antônio (SP) e Itapeva (SP).



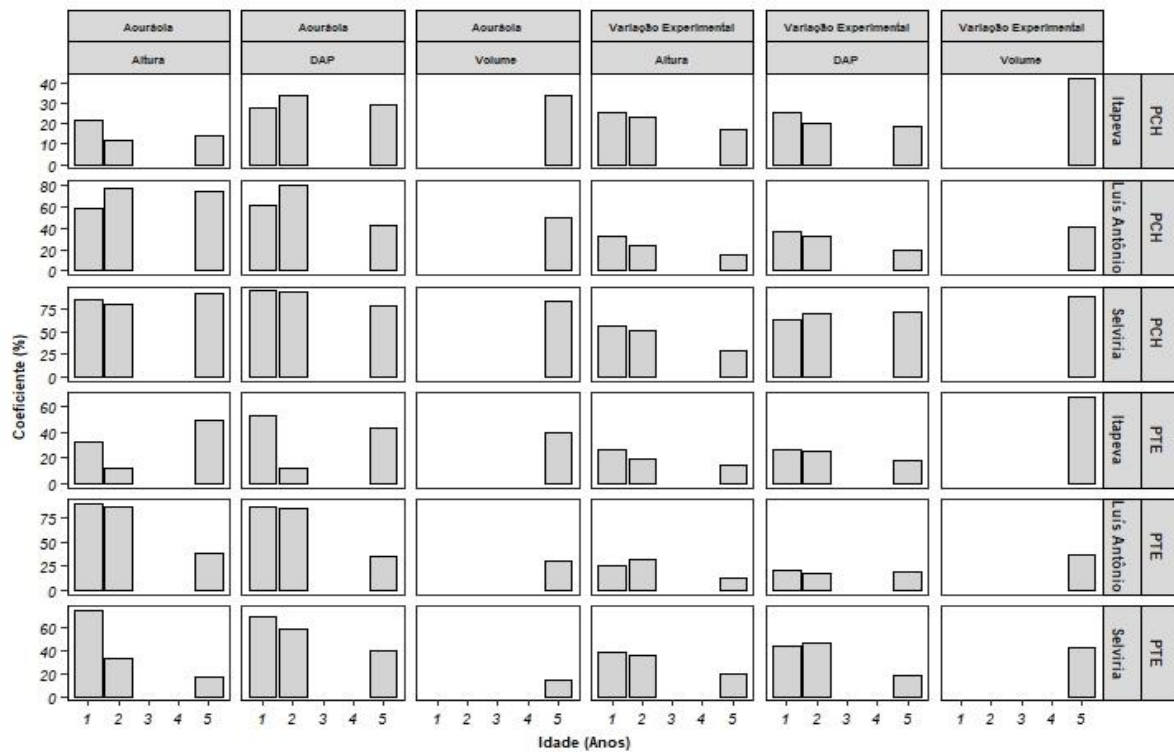
Fonte: Do próprio autor.

Para avaliar a qualidade experimental foram considerados três parâmetros, o coeficiente de variação experimental CV_e , a acurácia e o valor de b obtido pela relação entre os coeficientes genético e ambiental. O volume foi o caráter que apresentou os maiores coeficientes de variação experimental em todos os locais e para as duas espécies. Foram obtidos valores maiores que 30%. Na literatura, outros autores também encontraram estimativas altas para volume em diversas espécies, o que é aparentemente normal, visto que esse caráter é obtido indiretamente a partir dos dados de altura e DAP, consequentemente, acumula efeitos ambientais desses dois caracteres (SANTOS et al., 2008; FREITAS et al., 2009; ROSADO et al., 2009; MORAES, 2013;). O CV_e foi maior em Selvíria do que os demais locais para as duas espécies, VOL (88,7%) *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii* (41,66%) o que pode ser resultado da alta mortalidade de plantas nos estágios iniciais de desenvolvimento (Figura 8), afetando as progênies de forma não aleatória, e também devido às condições do solo, competição com algumas espécies invasoras e o ataque de formigas. A variação experimental entre 10% e 20% pode ser considerada baixa em testes se ocorrerem competição de plantas (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Esses resultados podem indicar um bom controle experimental e, portanto, boa precisão para estimativa de parâmetros, como foi verificado para altura e diâmetro em Luiz Antônio e Itapeva (Figura 8). Os ensaios em Itapeva apresentaram valores baixos de CV_e e acurácia. Por outro lado, segundo Resende (2007b), a qualidade experimental deve ser inferida principalmente pela acurácia, e não somente pelo coeficiente de variação experimental ou índice de variação CV_e/b isoladamente.

Os maiores valores de coeficientes de variação genética individual e entre progênies foram observados para os testes de *P. caribaea* var. *hondurensis* em Selvíria e de *P. tecunumanii* em Luiz Antônio para os caracteres DAP, altura e volume (Figura 9). Essas estimativas foram superiores ao encontrado de *P. caribaea* var. *hondurensis* (SILVA et al., 2011). O coeficiente da variação genética individual foi superior ao genético entre progênies, para *P. caribaea* var. *hondurensis* (67%), para o DAP, e de *P. tecunumanii* (17,40%) para altura (Apêndice 1 e 2). Os valores encontrados revelam um possível uso deste material para o melhoramento genético, podendo haver maiores ganhos se a seleção for aplicada principalmente nos experimentos de Selvíria e Luiz Antônio. Porém, em Itapeva não foi observado muita variação genética para a maioria dos caracteres, o que pode estar relacionado ao número de blocos, que foi menor que nos outros locais. Esses resultados foram superiores aos encontrados em *P. elliotti* (MAX et al., 2008), *P. caribaea* var. *bahamensis* (SEBBENN, 1994; SEBBENN et al., 2010), *P. tecunumanii* (SEBBENN et al. 2005), (FRIES, 2012) e *P.*

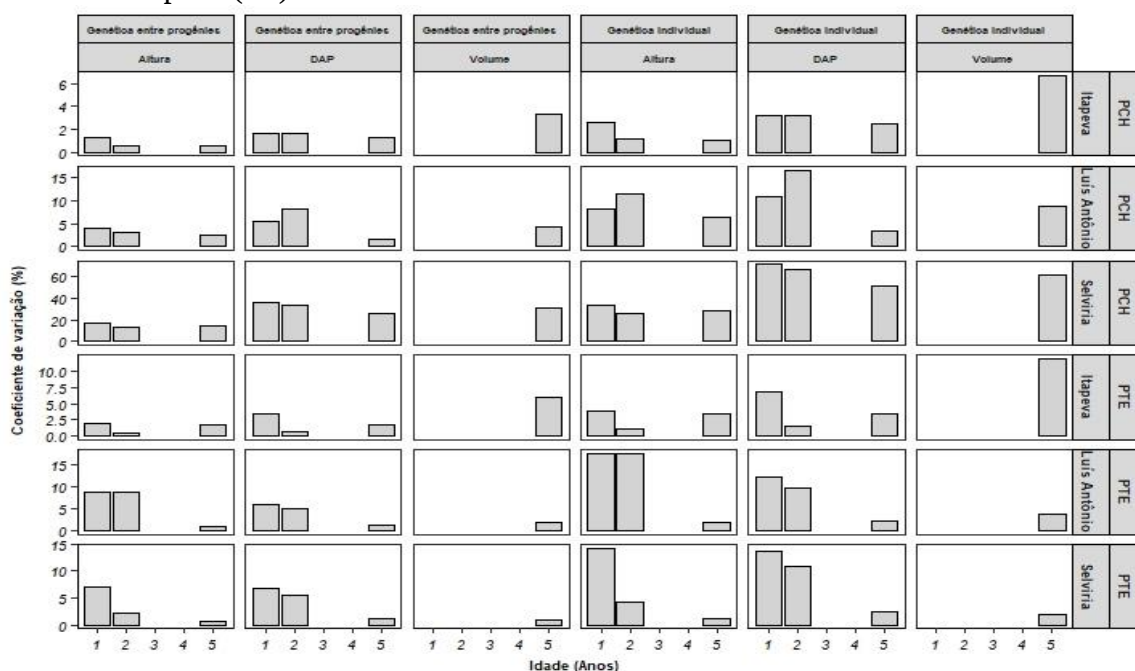
caribaea var. *hondurensis* (ZULIAN, 2017). Todos os autores citados ressaltam a presença de variabilidade genética e a possibilidade de seleção de genótipos superiores.

Figura 8. Valores de acurácia e coeficiente de variação experimental para caracteres de crescimento em progênie de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luiz Antônio (SP) e Itapeva (SP)



Fonte: Do próprio autor.

Figura 9. Coeficientes de variação genética entre progênes e genética individual para caracteres de crescimento em progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luiz Antônio (SP) e Itapeva (SP).



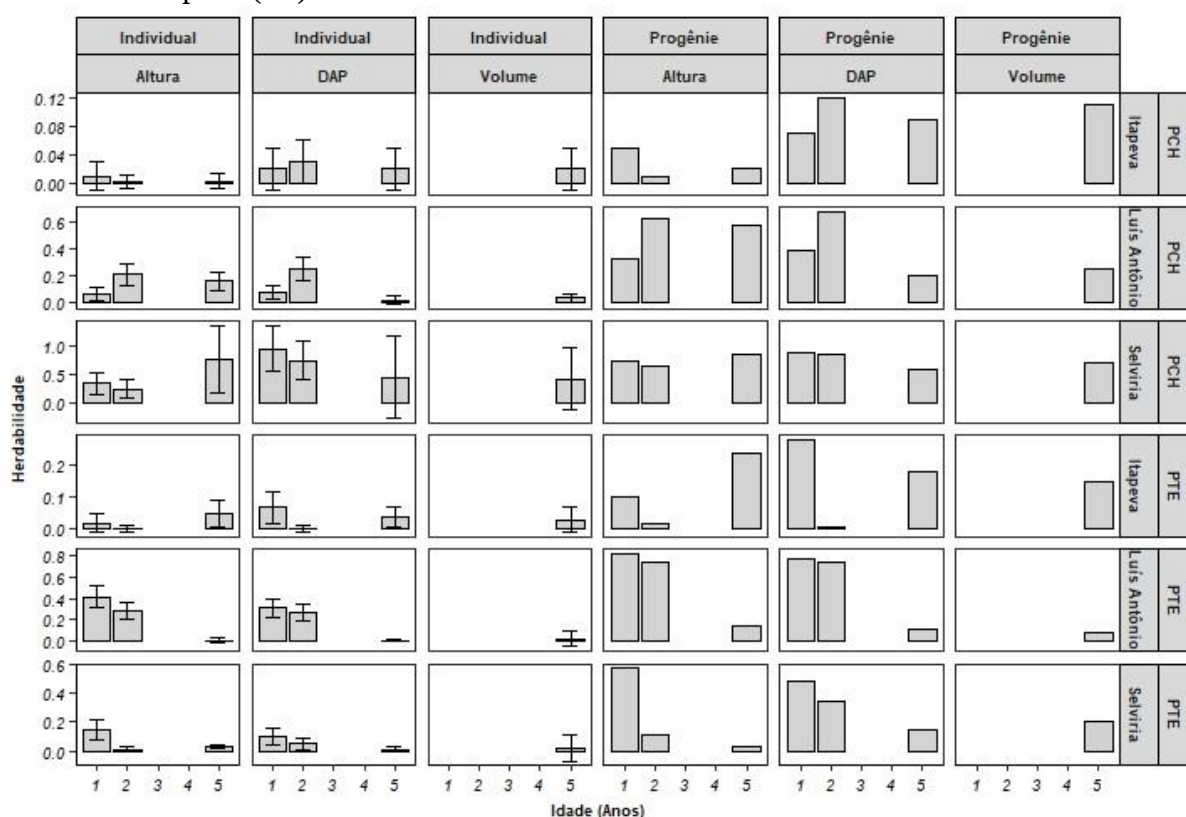
Fonte: Do próprio autor.

As herdabilidades com base em média de progênes foram superiores as herdabilidades no sentido restrito individual e as herdabilidades aditivas dentro de progênes, para todos os caracteres avaliados tanto para *P. caribaea* var. *hondurensis* quanto para *P. tecunumanii* (Figura 10). Com exceção de Itapeva, considerando ambas as espécies, os valores para esse parâmetro foi de médio para alto (Figura 10). Isso indica que o controle genético para esses caracteres é expressivo em nível de médias de progênes e há possibilidade de ganhos genéticos com a seleção. Em termos gerais, 62% dos dados de herdabilidades de *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentaram valores altos e 38% do *P. tecunumanii*, o que mostra o ótimo controle genético das progênes, evidenciando possíveis ganhos mediante aplicação da seleção das melhores progênes como genitores (Apêndice 1e 2). Portanto, os resultados sugerem baixa influência do ambiente na variação fenotípica. Esse aspecto é importante na predição do ganho genético mediante seleção. Resultados similares pode ser observado em *P. caribaea* var. *bahamensis* (PIRES et al., 2013), *P. caribaea* var. *bahamensis* (TAMBARUSSI et al., 2010), *P. elliottii* var. *elliottii* (ROMANELLI; SEBBENN, 2004), *P. tecunumanii* (SEBBENN et al., 2005), *Eucalyptus urophylla* (PUPIN et al., 2015) e *P. caribaea* var. *hondurensis* (ZULIAN, 2017). Deve-se ressaltar que a

herdabilidade é uma propriedade não somente de um caráter, mas também da população e das circunstâncias ambientais. Uma vez que a herdabilidade depende da magnitude de todos os componentes de variância, uma alteração em qualquer um deles afetará o seu valor (FALCONER, 1987). A herdabilidade individual no sentido restrito, que quantifica a importância relativa da proporção aditiva da variância genética que pode ser transmitida para a próxima geração, para espécie *P. caribaea* var. *hondurensis* os valores variaram de alto em Selvíria ($0,97 \pm 0,41$), médio em Luiz Antônio ($0,25 \pm 0,09$) e baixos em Itapeva ($0,003 \pm 0,013$), e para *P. tecunumanii* médios em Luiz Antônio ($0,41 \pm 0,10$) e baixos em Selvíria e Itapeva ($0,003 \pm 0,01$) (Apêndice 1 e 2). Em Selvíria, a herdabilidade individual assume valor superior a 1 devido a alta porcentagem de mortalidade. Acredita-se que esse parâmetro foi superestimado.

Foram encontradas para 52% e 29% dos caracteres avaliados, estimativas de acurácia consideradas altas ($0,70 \leq r^2 < 0,90$), indicando boa precisão no acesso à variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada para o caráter, para *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*, respectivamente. A maior acurácia encontrada foi em Selvíria (0,97 ALT) para *P. caribaea* var. *hondurensis* e em Luiz Antônio (0,90 ALT) para *P. tecunumanii* (Apêndice 1 e 2). Para Resende et al., (2007b) o processo de seleção requer-se valores de acurácia acima de 70% . A acurácia depende da proporção entre a variação residual média e a variação genotípica. A variação residual média depende do número de repetições. Dessa forma, avaliar a qualidade dos testes baseando-se apenas no coeficiente de variação experimental pode ser inadequado, visto que a variação genotípica expressa no caráter não é considerada (Resende e Duarte, 2007). Os resultados obtidos para acurácia sugerem que existe probabilidade de se obter indivíduos mais produtivos com a seleção para as duas espécies estudadas.

Figura 10. Herdabilidades individual no sentido restrito e média entre progênes para caracteres de crescimento em progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em três locais distintos: Selvíria (MS), Luiz Antônio (SP) e Itapeva (SP).



Fonte: Do próprio autor.

4.2 Ganhos genéticos

O ganho esperado na seleção para o DAP aos cinco anos para *P. caribaea* var. *hondurensis* foi mais expressivos em Selvíria, para as duas intensidades e métodos de seleção aplicados 26,6% (I) e 1,55% (II), com valores de diversidades moderados (0,33) a altos (0,99) (Tabela 4). Porém, no caso especificamente de Selvíria o teste teve um alto índice de mortalidade, tendo o número de progênes reduzido pela metade (Tabela 4), sugere-se que esses valores podem estar superestimados. Nos outros locais os valores de ganho foram baixos para duas intensidades e métodos de seleção, mas na seleção dentro de progênes a diversidade se manteve alta (0,83 a 0,99). O tamanho efetivo populacional (N_e) foi maior em Luiz Antônio (98) e Itapeva (108,8) e menor em Selvíria (17). Dessa forma, a representação genética após a seleção será maior em Luiz Antônio e Itapeva e muito pequena em Selvíria, restringindo muito a base genética nesse local.

As estimativas de ganhos genéticos foram baixas, confirmando os valores médios coeficientes de herdabilidade. Na seleção recorrente intrapopulacional, a proposta é de aumentar, gradativamente, a frequência dos alelos favoráveis, por meio de repetidos ciclos de seleção e recombinação (HALLAUER, 1992). Assim, para as populações estudadas recomenda-se uma seleção com menor intensidade como estratégia inicial para formação de pomares de sementes por mudas, principalmente se a seleção for aplicada em idade precoce, bem como a infusão de genótipos de outros programas de conservação e melhoramento genético.

Para *P. tecunumanii* o ganho esperado na seleção para o DAP foi mais expressivo em Selvíria (6,9%) (Tabela 4). Em Luiz Antônio o ganho variou de 0,13 a 0,31% e em Itapeva foi de 0,28% a 0,60%, sendo que para todos os locais os maiores valores foram encontrados na intensidade de seleção de 50% dos melhores indivíduos. Para a espécie o experimento de Luiz Antônio teve os menores ganhos genéticos, que também está relacionado aos valores baixos dos coeficientes de herdabilidade. O tamanho efetivo populacional (N_e) foi maior em Luiz Antônio (129,3) e Selvíria (125,3) e menor em Itapeva (118,3).

Para se obter os progressos esperados mais expressivos mediante seleção nas populações de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*, árvores matrizes superiores podem ser selecionadas para comporem um pomar de sementes por mudas. Desse modo, a seleção baseada na escolha dos melhores indivíduos (I), permitiu a obtenção dos maiores ganhos genéticos. Porém, e como esperado, a diversidade genética e o tamanho efetivo foram baixos, fatores inviáveis, considerando que os testes de progênies estudados devam reter níveis adequados de variabilidade genética para serem transformados no futuro em pomares de sementes por mudas. Portanto, a estratégia de seleção dentro de progênies, embora reduza o ganho genético esperado na população selecionada, contribuiu para a conservação do material genético de todas as progênies e manteve um tamanho efetivo populacional adequado, para que no futuro os genótipos superiores estejam disponíveis para o cruzamento entre indivíduos, como por exemplo, para a formação de pomares de sementes por mudas, ou identificação de indivíduos superiores para formação de pomares clonal, ou para propagação vegetativa dos melhores indivíduos. Com base nas estimativas dos parâmetros e ganhos genéticos considerando os valores genéticos e a seleção de um só parental há grande probabilidade de êxito no melhoramento genético com a implantação de um pomar de sementes clonal.

Tabela 4. Métodos de seleção baseadas no DAP para progênes de *P. caribaea hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) nos municípios de Selvíria - MS, Luiz Antônio - SP e Itapeva - SP, aos cinco anos. Estratégia: I) Seleção individual com intensidade de 50%, II) Seleção dentro de progênes com intensidade de 50%.

50 %; 1) Seleção dentro de progenies com intensidade de 50 %.													
	Local	<i>N</i>	<i>SI</i> (%)	<i>Nfo</i>	<i>Nf</i>	<i>kf</i>	σkf	<i>Ne</i>	IME	<i>SG</i> (%)	<i>D</i>	<i>x</i>	
PCH	I	Selvória	13	50	16	11	1,3	0,21	12,6	3,3	26,6	0,61	12,4
		Luiz Antônio	477	50	35	32	15,9	153,20	67,9	0,09	0,60	0,54	15,9
		Itapeva	340	50	35	27	12,5	34,54	74,0	0,05	0,33	0,63	17,0
	II	Selvória	16	50	16	11	1,25	0,11	17,02	0,25	1,55	0,33	12,6
		Luiz Antônio	477	50	35	35	13,6	38,00	98,3	0,04	0,24	0,83	16,5
		Itapeva	340	50	35	35	9,71	0,21	106,8	0,02	0,15	0,99	17,6
PTE	I	Selvória	507	50	41	32	15,8	117,8	77,20	1,20	6,90	0,14	18,1
		Luiz Antônio	655	50	41	33	19,8	187,5	81,1	0,05	0,31	0,55	16,8
		Itapeva	400	50	41	34	11,7	46,6	85,4	0,10	0,60	0,60	17,2
	II	Selvória	507	50	41	41	12,36	10,13	125,3	0,4	2,2	0,93	17,1
		Luiz Antônio	655	50	41	41	15,9	20,6	129,3	0,02	0,13	0,92	17,5
		Itapeva	400	50	41	41	9,8	7,5	118,3	0,05	0,28	0,93	17,8

Número de árvores selecionadas (*N*); Intensidade de seleção (*SI*); Número original de progênes (*Nfo*); Número de selecionados Progênes (*Nf*); Número de indivíduos selecionados por progênie (*kf*); Variação do número de indivíduos selecionados por Progênie (σkf^2); Número efetivo (*Ne*); A: efeito genético aditivo = *MEI*: índice multi-efeito; Ganho de seleção (*SG* (%)); Diversidade genética (*D*); Média geral (*x*). Fonte: Do próprio autor.

4.3 Análise conjunta e produtividade, estabilidade e adaptabilidade

O efeito da interação genótipo x ambiente e de progênes foram significativos para *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*. Isso indica que as progênes apresentaram comportamentos diferentes dentro de cada ambiente, portanto, a possibilidade de se obter ganhos com a seleção explorando a variabilidade genética existente entre elas (Tabela 5).

O coeficiente de determinação da interação genótipo x ambiente que quantifica a parcela da variação total (fenotípica) que é devido ao efeito da interação G x A, foi muito baixo 0,005 e 0,002 para *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*, respectivamente. Baixo valor desse coeficiente contribui para altas estimativas de correlação. As correlações genéticas de tipo b estimam a correlação de desempenho genotípico em todos os ambientes e fornecem uma indicação da importância da interação G x A (MCKEAND et al., 2006). Níveis maiores que 0,60 são considerados elevados, o que se verificou para *P. tecunumanii* (0,74),

concluindo que a interação $G \times A$ foi do tipo simples, isso ocorre quando os genótipos apresentam diferentes comportamentos nos diferentes tipos de ambiente, mas a classificação de produtividade dos genótipos não é alterada nos ambientes (MORAES, 2013). Dessa forma, o *ranking* dos genótipos nos diferentes ambientes pode ser o mesmo, e com isso, espera-se a seleção de indivíduos amplamente adaptados. Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes, 2013, Pupin, 2014 em *Eucalyptus urophylla*; Pagliarini et al., (2016).

Para *P. caribaea* var. *hondurensis* correlação foi muito baixa, 0,32, do tipo complexa, sugerindo que não se deve proceder a mesma seleção de materiais genéticos para Selvíria, Luiz Antônio e Itapeva. Assim, recomenda-se o estabelecimento de uma zona de melhoramento singular, identificando para cada ambiente, genótipos produtivos, estáveis e de adaptabilidade específica, visando capitalizar os efeitos da interação. Isso está de acordo com Kang et al., (2006) que sugerem que, quando são encontradas baixas estimativas para a correlação genética entre ambientes, o indicado é proceder as análises de adaptabilidade e estabilidade, pois elas proporcionarão uma análise refinada do comportamento dos genótipos nos diferentes ambientes.

A herdabilidade individual de sentido amplo mostrou-se valores muito baixos para as duas espécies ($0,002 \pm 0,003$) *P. caribaea* var. *hondurensis* e ($0,06 \pm 0,05$) *P. tecunumanii* (Tabela 5). Isso reafirma as diferenças entre os indivíduos nos locais. A herdabilidade em nível médio de progênie foi baixa, sendo a maior apresentada por *P. tecunumanii* (0,28) e *P. caribaea* var. *hondurensis* (0,08). Os valores baixos e os médios da acurácia na análise conjunta para *P. tecunumanii* (0,53) e *P. caribaea* var. *hondurensis* (0,28), inferem que a maior parte da variação total observada é de natureza ambiental e conduziu a estimativas medianas de acurácia, indicando baixo controle genético do caráter (Tabela 5). Apesar dos valores de acurácia não serem tão expressivos, os valores do coeficiente de variação experimental (CV_e) foi mediano para as duas espécies na análise conjunta.

Os coeficientes de variação genotípica foram baixos. Martinez et al., (2012) verificaram a mesma tendência de redução em *Pinus taeda* para ALT e DAP, Pupin et al., (2015) para altura, diâmetro e sobrevivência em *Eucalyptus urophylla*, e Pagliarini et al., (2016) para *P. elliottii*. Nestes casos, os autores citaram que as diferenças obtidas entre os componentes de variância por meio das análises conjunta e individuais, se devem ao fato da análise conjunta gerar componentes médios entre os locais.

Por meio dos resultados obtidos, é possível afirmar que existe interação $G \times A$ e ela é do tipo simples. A diferença constatada entre os genótipos nos diferentes ambientes ressalta a importância dos estudos de estabilidade e adaptabilidade, e também a possibilidade de

obtenção de ganhos genéticos com a seleção de progênies para locais com adaptação ampla ou restrita.

Tabela 5. Estimativa de parâmetros genéticos e interação genótipo x ambiente para o diâmetro na altura do peito (DAP) em progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) aos cinco anos em Sevéria-MS, Luiz Antônio-SP e Itapeva-SP.

	PCH	PTE
h_a^2	0,002 ± 0,003	0,06 ± 0,05
h_m^2	0,08	0,28
$r_{\hat{a}}$	0,28	0,53
C_{int}^2	0,005	0,002
r_b	0,32	0,74
CV_{gi} (%)	0,84	1,49
CV_e (%)	19,32	18,01
LTR (interação G x A)	4,13*	3,86*
LTR (progênies)	10,0**	3,17*
μ	14,96	15,71

Herdabilidade individual de sentido amplo (h_a^2); Herdabilidade média de progênies (h_m^2); Acurácia ($r_{\hat{a}}$); Coeficiente de determinação da interação genótipo x ambiente (C_{int}^2); Correlação genética entre progênies entre os locais - tipo b correlação (r_b); Coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}); Coeficiente de variação residual (CV_e); teste de razão de máxima verossimilhança (LRT) - **significativo a 1%, *significativo a 5% com 1 grau de liberdade; média geral (μ). Fonte: Do próprio autor.

Foram selecionadas 10 progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* (31,25%) e 12 progênies de *P. tecunumanii* (30%) com base nos parâmetros de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e simultaneamente para produtividade (representada pelo DAP), estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) de acordo com o ordenamento do Selegen (Tabela 6). A seleção simultânea para esses critérios considera os efeitos genotípicos como aleatórios, desta forma fornece produtividade, estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica, segundo Resende (2007).

Das progênies selecionadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*, a partir do valor genético individual na análise conjunta dos ambientes quatro estão presentes em todos os locais com 100% de acordo com o critério de adaptabilidade e estabilidade simultaneamente (MHPRVG) para o volume. Em contrapartida para *P. tecunumanii*, todas as progênies selecionadas, com 100% de coincidência para os mesmos critérios analisados (Tabela 6). Estes resultados, segundo Pinto Júnior et al., (2006); Resende, (2007) estão relacionados a correlação de alta magnitude (0,74) do comportamento genético das progênies entre os ambientes, sugerindo que os métodos MHVG, PRVG e MHPRVG apresentam concordância no ordenamento dos materiais genéticos e a utilização desses atributos ou critérios de seleção, e propiciam um

refinamento na seleção, na inferência de predições seguras sobre os valores genéticos e simultaneamente para produtividade, estabilidade e adaptabilidade.

Os valores de PRVG e MHPRVG denotam a superioridade média do genótipo em relação a média do ambiente em que é cultivada (RESENDE, 2007), como por exemplo, a melhor progênie de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* (31 e 43) para o volume responde a 1,01 e 1,02 vezes a média do ambiente em que se encontram localizados, respectivamente.

Os valores via Média Harmônica de Valores Genéticos (MHVG) devem ser considerados para futuros testes em outros locais com diferentes interações de padrão de rede experimental, pois indicam simultaneamente seleção para produtividade e estabilidade de valores genéticos. Esta medida indica a manutenção da produtividade frente às diversidades dos ambientes (MAIA et al., 2009).

As progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis*, 31, 27, 24 e 18 e as progênies 43, 72, 41, 37, 52, 39, 70, 47, 53, 66, 57, 68 de *Pinus tecunumanii* podem ter sua recomendação extrapolada para plantios nas regiões avaliadas. Isso é muito importante para as estratégias de melhoramento genético florestal, em que há necessidade de alta produtividade e à qualidade dos materiais genéticos em vários ambientes (LAVORANTI, 2003). Esse resultado indica que predições seguras sobre valores genéticos podem ser feitas com um único critério de seleção contemplando três atributos: produção, adaptabilidade e estabilidade. Portanto, são necessárias metodologias estatísticas adequadas para estimar e explorar a interação permitindo assim recomendações.

Tabela 6. Progênie de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) selecionadas com base no diâmetro, para estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e simultaneamente para produtividade, estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG), aos 5 anos em Selvíria - MS, Luiz Antônio - SP e Itapeva - SP.

Pro	MHVG	Pro	PRVG	PRVG*MG	Pro	MHPRVG	MHPRVG*MG	Pro	MHVG	Pro	PRVG	PRVG*MG	Pro	MHPRVG	MHPRVG*MG
PCH								PTE							
31	15,2	31	1,01	15,12	31	1,01	15,11	43	16,03	43	1,02	16,01	43	1,02	16,01
27	15,2	27	1,01	15,10	27	1,01	15,10	72	16,02	72	1,02	15,99	72	1,02	15,99
24	15,1	24	1,01	15,05	24	1,01	15,05	41	15,97	41	1,01	15,94	41	1,01	15,94
18	15,1	18	1,01	15,04	18	1,01	15,04	37	15,91	37	1,01	15,88	37	1,01	15,88
26	15,1	35	1,00	15,03	35	1,00	15,03	52	15,90	52	1,01	15,88	52	1,01	15,88
35	15,1	26	1,00	15,03	26	1,00	15,03	39	15,89	39	1,01	15,87	39	1,01	15,87
3	15,1	3	1,00	15,02	3	1,00	15,02	70	15,88	70	1,01	15,85	70	1,01	15,85
13	15,1	22	1,00	15,01	22	1,00	15,01	47	15,87	47	1,01	15,84	47	1,01	15,84
29	15,1	13	1,00	15,01	13	1,00	15,01	53	15,84	53	1,01	15,82	53	1,01	15,82
22	15,1	29	1,00	15,01	29	1,00	15,01	66	15,84	66	1,01	15,81	66	1,01	15,81
								57	15,83	57	1,01	15,80	57	1,01	15,80
								68	15,83	68	1,01	15,80	68	1,01	15,80

Pro = Progênie. Fonte: Do próprio autor.

4.4 Diversidade genética

Com a proposta futura de manter maior diversidade genética na população de melhoramento, bem como identificar grupo de genótipos mais divergentes para realização de polinização controlada visando explorar a diversidade genética das populações de melhoramento foram obtidas as medidas de dissimilaridade, pela distância generalizada de Mahalanobis entre as progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii* dentro de cada local de plantio. Em Selviria-MS foi verificado as maiores distâncias (53,59) entre as progênes 25 e 27 de *P. caribaea* var. *hondurensis*, nessa área a progênie 27 possui a maior distância em relação a 40% das progênes. Já para *P. tecunumanii* a maior distância foi em Itapeva (56,71), progênes 81 e 52, sendo a progênie 81 a mais distante de 53% das progênes (Apêndice 3 e 4). Sugere-se que os fatores de solo, temperatura e precipitação podem ter contribuído para maior stress nas árvores levando uma expressão diferenciada do potencial genético de cada progênie.

P. caribaea var. *hondurensis* em Itapeva, apresentou um potencial produtivo muito semelhante (Apêndice 4), a distância máxima ($D^2 = 41,24$) foi observada entre as progênes 35 e 22, e a mínima ($D^2 = 1,59$) entre as progênes 7 e 25. Em Luiz Antônio (Apêndice 5) a distância máxima ($D^2 = 34,91$) foi observada entre as progênes 14 e 2, e a mínima ($D^2 = 0,53$) entre as progênes 27 e 30.

Para *P. tecunumani* foi realizada a mesma análise. Em Itapeva (Apêndice 4), a distância máxima ($D^2 = 56,71$) foi observada entre as progênes 81 e 52, e a mínima ($D^2 = 2,6$) entre as progênes 42 e 55. Em Luiz Antônio (Apêndice 5) a distância máxima ($D^2 = 42,13$) foi observada entre as progênes 48 e 72, e a mínima ($D^2 = 0,59$) entre as progênes 51 e 78.

Para uma melhor compreensão dos resultados, consideramos a distância máxima como 100%, o que significa que serão os indivíduos mais próximos (Tabela 7, 8 e 9). Para *P. caribaea* var. *hondurensis* em Selvíria, a distância máxima foi entre as progênes 35 e 22 e a distância mínima estava entre 7 e 25 (Apêndice 3). Do mesmo modo, foi realizado em Itapeva e Luiz Antônio, sendo que as distâncias mínimas corresponderiam a 3,9% e 1,5% (Tabela 7,8 e 9). O mesmo foi realizado para espécie *P. tecunumani*. Com base nesses resultados, os indivíduos serão selecionados de acordo com seus valores genéticos e/ou genotípicos, divergência e desempenho da produção para realizar cruzamentos controlados. Assim, os cruzamentos entre 35 x 22 (PCH) e 81 x 52 (PTE) poderão ter um desempenho melhor que outros pares de progênes. Estas combinações devem ser exploradas em futuras estratégias de polinização controlada.

Recomendam-se de acordo com os autores, os cruzamentos entre os indivíduos mais divergentes que exibem performances mais elevadas para características principais (MARTINS, PIRES e OLIVEIRA, 2002). Verificando a classificação da progênie (Tabela 7,8 e 9) o melhor a considerar são as progênies mais distantes e os indivíduos mais produtivos. As distâncias encontradas para as duas espécies foram semelhantes às observadas por Silva et al., (2012) para *P. caribaea* var. *caribaea* aos 14 anos; Missio, Moraes e Dias (2007) para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 13 anos; e Pagliarini et al., (2016); Zulian, (2017).

Tabela 7. Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em relação à maior distância entre progênes em Selvíria-MS.

<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>					<i>P. tecunumanii</i>				
Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.	Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.
27	86,0	2	18,5	16	76	79,2	37	1,9	43
27	71,0	5	5,7	4	76	81,9	40	0,7	56
27	68,8	23	3,9	29	76	100,0	41	8,8	80
27	71,6	30	12,6	18	76	73,4	42	1,8	46
27	75,8	13	3,7	35	76	84,8	43	2,2	68
27	84,1	10	8,2	20	76	77,6	44	5,7	73
27	66,3	6	6,9	35	76	78,3	45	1,4	70
27	78,1	19	6,8	8	76	71,3	46	1,0	64
27	73,9	4	9,7	1	76	85,2	47	7,8	72
27	85,3	14	28,0	22	76	93,2	48	9,5	52
27	73,7	3	13,2	24	76	80,5	49	1,4	79
27	58,2	8	6,8	17	76	76,0	50	2,5	57
27	98,5	9	32,6	33	76	98,3	51	13,4	59
27	68,3	16	5,2	1	76	73,6	52	2,1	70
25	100,0	27	53,8	1	76	78,6	53	5,7	81
25	43,1	21	11,3	1	76	91,5	54	6,0	69
25	64,9	17	11,4	1	76	84,2	56	4,8	67
22	38,3	36	2,5	11	76	79,1	57	2,1	64
25	38,8	1	8,8	7	76	94,8	58	13,3	80
25	54,6	18	14,2	31	76	87,2	60	10,1	73
25	51,7	24	3,8	35	76	86,6	61	4,7	65
25	54,6	33	14,0	31	76	71,2	65	1,2	64
7	55,9	22	28,1	25	76	77,7	67	2,2	38
25	43,7	12	6,4	11	76	82,2	68	6,7	78
32	47,0	7	16,9	29	76	80,2	69	3,7	64
25	49,2	11	26,5	29	76	71,3	70	1,4	64
25	42,4	31	10,7	35	76	91,7	71	6,1	77
32	53,1	29	10,8	26	76	88,0	71	6,0	38
25	42,0	35	3,1	26	76	79,6	73	1,7	79
25	46,6	20	24,8	26	76	97,8	74	15,3	66
32	71,3	25	31,5	26	66	90,9	76	73,7	79
26	37,3	32			39	48,9	77	7,8	64
					66	38,3	80	8,2	64
					66	23,8	81	9,9	64
					39	21,3	38	4,5	64
					78	33,6	39	21,5	64
					79	18,0	66	15,7	64
					64	9,4	78	4,4	79
					64	4,0	79		
Max	100	Prog	25 e 27		Max	100	Prog	76 e 41	
Mini	2,5	Prog	36 e 11		Mini	0,7	Prog	40 e 56	

Prog- progênie, Max- máxima distância, Mini- mínima distância, Fonte: Autoria própria

Tabela 8. Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em relação à maior distância entre progênes em Itapeva-SP.

<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>					<i>P. tecunumanii</i>				
Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.	Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.
6	69,6	1	15,6	20	69	63,5	37	11.5	72
35	63,9	2	9,6	9	81	47,5	38	5.9	76
33	59,7	3	6,9	16	81	75,2	39	13.5	65
35	43,7	4	5,0	23	52	76,3	40	6.3	66
22	69,5	5	17,5	32	81	55,7	41	8.8	42
13	73,3	6	13,1	11	81	48,3	42	4.7	55
31	59,4	7	3,9	25	52	81,1	43	22.7	68
31	68,6	8	6,8	26	69	66,5	44	15.9	59
35	58,8	9	14,8	29	52	69,9	46	11.8	73
19	72,6	10	13,0	16	61	60,9	47	11.0	65
31	57,3	11	11,6	21	51	61,3	48	5.2	67
20	73,4	12	8,7	18	81	55,7	50	5.8	67
35	98,0	13	14,3	10	52	64,7	51	17.6	54
20	44,7	14	4,9	17	81	100,0	52	34.1	70
35	88,0	15	12,6	29	74	62,3	53	16.1	59
35	52,5	16	13,1	19	80	57,4	54	14.4	70
32	57,9	17	11,1	19	81	41,5	55	4.8	56
32	69,7	19	13,9	22	81	48,8	56	7.7	69
22	73,2	20	30,0	30	81	60,2	57	7.4	58
31	74,1	21	17,4	25	81	60,2	58	10.5	60
35	100,0	22	25,7	24	81	42,8	59	4.7	70
31	51,4	23	4,0	25	81	56,7	60	10.6	67
35	51,0	24	7,7	34	81	85,5	61	19.9	78
31	65,9	25	14,3	30	81	43,5	65	12.7	66
35	67,9	26	7,9	28	81	43,3	67	7.9	66
32	40,1	27	15,5	28	81	45,3	68	10.4	78
33	49,3	28	21,3	30	81	67,2	69	29.0	66
35	48,2	29	13,9	32	81	35,7	70	13.4	70
35	56,1	30	9,5	34	74	48,5	71	24.6	70
35	46,2	31	29,1	34	74	41,3	72	9.6	76
35	50,1	32	27,9	34	77	18,6	73	18.6	77
35	59,8	33	4,5	34	45	57,5	74	9.6	78
35	46,0	34	17,2	18	81	42,2	76	8.9	77
18	39,5	35	39,5	18	81	41,8	78	19.3	79
					77	50,0	79	17.3	49
					81	45,8	80	23.7	49
					45	61,4	81	35.8	77
					77	58,4	77	30.7	66
					66	23,1	49	15.7	45
					66	10,5	45	10.5	
Max	100	Prog	35 e 22		Max	100	Prog	81 e 52	
Mini		Prog	7 e 25		Mini	1,4	Prog	42 e 55	

Prog- progênie, Max- máxima distância, Mini- mínima distância. Fonte: Autoria própria.

Tabela 9. Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em relação à maior distância entre progênes em Luiz Antônio-SP.

<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>					<i>P. tecunumanii</i>				
Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.	Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.
16	97,4	1	34,0	4	80	75,9	37	2,4	73
14	100,0	2	27,8	9	60	86,6	38	11,6	58
15	88,1	3	25,3	5	76	77,6	39	21,1	58
18	83,7	4	12,8	8	70	67,8	40	19,7	54
15	71,0	5	8,1	7	80	72,2	41	7,9	66
17	66,9	6	12,3	36	80	66,0	42	5,8	57
18	85,4	7	23,8	29	76	86,3	43	13,9	47
18	81,4	8	6,8	36	52	50,0	44	11,7	77
18	68,4	9	6,9	17	60	78,8	45	8,6	69
18	82,2	10	9,9	14	60	58,7	47	2,9	53
18	72,1	11	6,8	28	72	100,0	48	23,6	77
16	69,2	12	2,3	24	60	89,2	49	9,3	65
18	30,7	13	2,3	21	80	58,1	50	7,9	54
18	76,3	14	21,0	25	60	72,0	51	1,4	78
18	62,1	15	8,8	28	72	86,6	52	7,7	69
26	79,4	16	16,6	22	80	65,6	53	5,8	55
18	62,2	17	8,9	31	58	52,5	54	2,3	74
24	64,4	18	6,4	19	80	55,2	55	3,8	78
24	39,3	19	9,1	22	60	73,4	56	7,9	60
25	32,4	20	7,9	29	80	54,2	57	3,0	74
36	17,3	21	4,3	29	80	57,0	59	8,8	66
24	33,6	22	7,5	32	61	91,9	60	35,6	46
36	25,4	23	7,6	25	80	79,1	61	11,4	78
31	30,2	24	10,1	26	76	51,7	65	4,6	71
36	47,6	25	7,0	26	72	62,5	69	8,1	77
36	41,4	26	17,8	27	80	84,2	70	20,3	78
31	21,8	27	1,5	30	72	44,8	71	4,6	67
31	21,4	28	2,4	33	80	40,7	74	8,4	77
36	17,8	29	10,5	31	80	86,2	76	17,0	81
31	22,8	30	6,8	35	80	48,0	77	5,6	78
36	40,1	31	4,9	32	80	60,8	78	7,6	68
36	28,2	32	20,2	35	80	50,1	79	15,3	81
36	7,0	33	6,4	35	46	92,6	80	57,9	67
36	9,0	35			46	62,1	81	13,7	68
					68	58,6	46	16,4	73
					67	49,5	66	20,7	73
					67	26,6	68	17,0	73
					67	17,0	73		79
Max	100	Prog	14 e 2		Max	100	Prog	72 e 48	
Mini	1,5	Prog	27 e 30		Mini	1,4	Prog	51 e 78	

Prog- progênie, Max- máxima distância, Mini- mínima distância. Fonte: Autoria própria.

No melhoramento genético a análise dos pares de progênes de maior diversidade poderá proporcionar a geração de híbridos intraespecíficos mais heteróticos, uma vez que é desejável que se dê prioridade ao cruzamento de materiais que tenham média elevada e apresentem diversidade genética entre si, principalmente para espécies alógamas como as do gênero *Pinus* (NASCIMENTO et al., 2014). Quanto mais divergentes forem os genitores, maior a possibilidade de aumentar a variabilidade na população segregante e de reorganização dos alelos com novas combinações favoráveis (MANFIO et al., 2012).

O agrupamento de Tocher, possibilitou a formação de três grupos em Selvíria, cinco em Itapeva, e dois grupos em Luiz Antônio, com concentração de aproximadamente 94% das progênes em apenas um grupo para espécie *P. caribaea* var. *hondurensis* (Tabelas 10, 11 e 12). Para *P. tecunumanii* houve a formação de dois grupos em Selvíria, oito grupos em Itapeva, e 12 grupos em Luiz Antônio com concentração em torno de 75% das progênes no grupo I (Tabela 10,11 e 12). O número de grupos pode estar associado às maiores distâncias. Em Itapeva e Luiz Antônio observou-se a maior distância em relação à Selvíria. O agrupamento tem por objetivo reunir por algum critério de classificação, os genitores em grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos. Essa análise é adequada para identificar os genótipos divergentes e com maior probabilidade de sucesso nos cruzamentos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008).

Para os programas de hibridação, recomenda-se o cruzamento entre progênes de grupos mais divergentes possíveis, e também podem ser realizado entre grupos das três áreas de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*, por apresentarem números de grupos distintos. Assim, por exemplo, para *P. caribaea* var. *hondurensis*, em Selvíria o ideal é que sejam conduzidos cruzamentos entre os indivíduos mais produtivos das progênes 27, 25 e também 9, devido à expressão diferenciada e por formarem grupo isolados das demais progênes nos caracteres silviculturais para cada local. Já em Itapeva esses cruzamentos devem ser realizados entre as progênes 35, 22, 13 e 20, e em Luiz Antônio entre as progênes 36, 1, 14 e 2. Essa proposta também é recomendada para *P. tecunumanii* nos futuros cruzamentos (Tabelas 10,11 e 12). Contudo, para utilização no processo de hibridação, é necessário, além da divergência genética, que as progênes apresentem um alto potencial produtivo. O que pode ser observado, por exemplo, para *P. tecunumanii*, que contém algumas das progênes mais produtivas como também as mais divergentes 44, 48, 70, 41, 43, 81, 61, 52, 72,76 e 53 (Tabelas 6, 10, 11 e 12). Se os indivíduos apresentarem esses requisitos, espera-se obter genótipos superiores com capacidade específica de combinação devido à ocorrência de heterose e a ação de genes complementares (FALCONER; MACKAY,

1996; CARVALHO et al., 2001). Isso caracteriza a segregação transgressiva, que indica a possibilidade de se obtenção de novos genótipos com elevada produtividade e superiores à média do melhor genitor.

Tabela 10. Grupos formados pelo método de Otimização de Tocher de progênes de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em Selvíria-MS.

GRUPO		PROGÊNIES	TOTAL
PCH	I	2 5 23 15 30 13 10 6 19 4 14 3 8 28 16 21 17	33
		36 1 18 24 33 22 12 7 11 31 29 35 20 25 32	
		26	
	II	9	1
	III	27	1
PTE	I	37 38 40 42 43 44 45 46 49 52 53 54 56 57 59	39
		60 61 65 66 67 68 69 70 73 74 77 78 79 80 81	
		39 41 58 47 50 51 72 71 48 64	
	II	76	1

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 11. Grupos formados pelo método de Otimização de Tocher de progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em Itapeva-SP.

GRUPO		PROGÊNIES	TOTAL
PCH	I	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 14 15 16 17 19 21 23 24 25 26 27 28 29 30 32 33 34 18	29
	II	1 20	2
	III	13 22	2
	IV	31	1
	V	35	1
PTE	I	37 38 39 40 41 42 44 46 47 48 50 55 56 57 58 59 60 65 67 68 70 71 72 73 76 78 79 80 77 49 45 66	32
	II	51 54	2
	III	61 74	2
	IV	43	1
	V	53	1
	VI	69	1
	VII	52	1
	VIII	81	1

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 12. Grupos formados pelo método de Otimização de Tocher de progênie de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em Luiz Antônio-SP

GRUPO		PROGÊNIES	TOTAL
PCH	I	2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 35 36	34
	II	1 14	1
	I	37 41 42 45 47 50 51 53 54 55 56 57 59 65 69 71 74 77 78 79 81 66 68 73 67	25
PTE	II	38 58	2
	III	44 48 70	3
	IV	40 80	2
	V	43 49	2
	VI	61	1
	VII	52	1
	VIII	46	1
	IX	39	1
	X	72	1
	XI	76	1
	XII	60	1

Fonte: Do próprio autor.

5. CONCLUSÕES

Existe variação genética nos testes de progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*, para altura e DAP, com exceção de Itapeva, e isso sugere a possibilidade de se obter ganhos genéticos satisfatórios.

Na seleção para o DAP, o método baseado na restrição do número de indivíduos selecionados por progênie possibilita obter ganhos genéticos adequados e contribui para manutenção da variabilidade e diversidade genética, e consequentemente, do tamanho efetivo populacional.

O efeito da interação genótipo x ambiente é significativa para *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*. Em *P. tecunumanii* a interação é do tipo simples ($r=0,74$), e, consequentemente, o *ranking* dos genótipos nos diferentes ambientes poderá ser o mesmo. *P. caribaea* var. *hondurensis* a interação é do tipo complexa ($r=0,32$) para o volume, sugerindo que não se deve proceder a mesma seleção de materiais genéticos para Selvíria, Luiz Antônio e Itapeva. Assim, recomenda-se o estabelecimento de uma zona de melhoramento singular, identificando para cada ambiente, genótipos produtivos, estáveis e de adaptabilidade específica.

Existe divergência genética entre as progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii*. Cruzamentos controlados entre indivíduos das progênies de grupos mais divergentes e mais produtivos deverão ser priorizados para aumentar a diversidade genética, e consequentemente ganho genético.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V. de; SOUZA, V. A. de; FRITZSONS, E.; PINTO JÚNIOR, J. E. **Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Documentos, 233).
- ALMEIDA, N. F.; BORTOLETTO Jr. G.; MENDES, R. F.; SURDI, P.G. Produção e avaliação da qualidade de lâminas de madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 261-268, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/floram/v21n2/14.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017.
- ALWALA, S.; KWOLEK, T.; MCPHERSON, M.; PELLOW, J.; MEYER, D. Comprehensive comparison between Eberhart and Russell joint regression and GGE biplot analyses to identify stable and high yielding maize hybrids. **Field Crops Research**, New York, v. 119, n. 2, p. 225-230, 2010.

ARANTES, F. C.; SCALOPPI JUNIOR, E. J.; GONÇALVES, P. S.; MORAES, M. L. T.; GONÇALVES, E. C. P.; RESENDE, M. D. V. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 37-44, 2013.

ASSIS, T. F.; RESENDE, M. D. V. de. Genetic improvement of forest tree species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, p. 44-49, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cbab/v11nspe/07.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (Brasil). **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília, 2012. 150 p. Disponível em: <www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>. Acesso em: 17 out. 2012.

BARRETT, W. H.; GOLFARI. *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. G. **Caribbean Forester**, v. 23, n. 2, p.1-65, 1962.

BARRICHELO, L. E. G. **Estudos das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis* Barr. e Golf. para produção de celulose Kraft**. 1979. 167 f. (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

BELTRAME, R.; BISOGNIN, A. D.; MATTOS, B. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SANTOS, G. A. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 6, p. 791-796, 2012.

BERLIN, M.; JANSSON, G.; HÖGBERG, K. Genotype by environment interaction in the southern Swedish breeding population of *Picea abies* using new climatic indices. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 2, p. 112-121, 2015.

BIAN, L.; SHI, J.; ZHENG, R.; CHEN, J.; WU, H. X. Genetic parameters and genotype-environment interactions of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) in Fujian Province. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 44, n. 6, p. 582-592, 2014.

BORÉM, A. ; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 2009.

BREUGEL, M. van; RANSIJIN, J.; CRAVEN, D.; BONGERS, F.; HALL, J. S. Estimating carbon stock in secondary forests: decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, p. 1648-1657, 2011.

CANUTO, D. S. O.; SILVA, A. M.; MORAES, M. L. T.; RESENDE, M. D. V. estabilidade e adaptabilidade em testes de progênies de *Myracrodruon urundeuvas* sob quatro sistemas de plantio. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 171-180, 2016.

CARDERALLI, A.; COSTA, R. B.; AZEVEDO, L. P. A.; RIBEIRO, E. S.; BATISTA, B. M. F.; SOUSA, R. A. T. M. Seleção precoce em progênies de meios irmãos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. via metodologia Reml/Blup. **Revista Ambienta**, Guarapuava, v. 9, n. 3, p. 605-617, 2013.

COSTA, R. B. **Métodos de seleção, interação genótipo x ambiente e ganho genético para o melhoramento de seringueira no Estado de São Paulo**. 1999. 1445 f. (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

CHUDNOFF, M. Tropical timbers of the world. In: U.S DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Agriculture handbook**. Washington: USDA Forest Service, 1984. 466 p. USDA Forest Service, 607.

COTTERILL, P. P.; DEAN, C. A. Changes in the genetic control of growth of radiata pine to 16 years and Efficiencies of early Selection. **Silvae Genetica**, Warsaw, v. 37, p.138-146, 1988.

CORREIA, I.; ALÍIA, R.; YAN, W.; DAVID, T.; AGUIAR, A.; ALMEIDA, M. H. Genotype x Environment interactions in *Pinus pinaster* at age 10 in a multi-environment trial in Portugal: a maximum likelihood approach. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 67, n. 6, p. 612-621, 2010.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. da UFV, 2003. v. 2.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2004.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 620 p.

DIAS, P.C.; XAVIER, A.; RESENDE, M.D.V.; BIERNASKI, F.A.; ESTOPA, R.A.; PIRES, I.E. Juvenile-mature genetic correlations in *Pinus taeda* clones propagated via somatic embryogenesis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 2, p. 255-267, 2016.

DIOUF, D. Genetic transformation of forest trees. **African Journal Biotechnology**, Victoria Island, v. 2, n. 10, p. 328-333, 2003.

DVORAK, W. S.; KIETZKA, J. E.; DONAHUE, J. K. Three year survival and growth of provenances of *Pinus greggii* in the tropics and subtropics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 83, p. 123–131, 1996.

DVORAK, W. S.; HODGE, G. R.; GUTIÉRREZ, E. A.; OSORIO, L. F.; MALAN, F. S.; STANGER, T. K. *Pinus tecunumanii*. In: CONSERVATION AND TESTING OF TROPICAL AND SUBTROPICAL FOREST TREE SPECIES BY THE CAMCORE COOPERATIVE. **Proceedings of the...** Michigan: College of Natural Resources, 2000. p. 188–209.

DVORAK, W. S. ; LAMBETH, C. C. Results of a survey to determine the cone and seed production of *Pinus tecunumanii* in the tropics and subtropics. In: PROCEEDINGS OF IUFRO CONFERENCE ON BREEDING TROPICAL TREES, 1992, Calli. **Proceedings of the...** Calli: [S.n.], 1992. p. 9-18.

EGUILUZ, T. ; PERRY, J. P. *Pinus tecunumanii*: una especie nueva de Guatemala. **Ciencia Forestal**, México, v. 8, n. 41, p. 3-22, 1983.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 36-40, 1966.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1999. 412 p.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: Ed. da Universidade Federal de Viçosa, 1981. 279 p.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. Melhoramento genético florestal dos Eucalyptus no Brasil – Breve histórico e perspectivas. IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 24/29, 1997, Salvador. **Conference of the...** Salvador: Ed. da UFP, 1997. p.14-35, 1997.

FREITAS, M.L.M.; AUKAR, A.P.A.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T.; LEMOS, E. G. M. Variação genética em progênies de *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. alemão em três sistemas de cultivo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 319-329. 2006

FONSECA, S. M.; JACOB, W. S.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Síntese do programa de melhoramento genético de *Pinus* spp. que vem sendo conduzido sob a coordenação do IPEF, na região sul do Brasil. **Boletim Informativo do IPEF**, Piracicaba, 1978.

FRITZSON, E.; AGUIAR, A. V.; WREGE, M. S.; GRABIAS, J.; ROSSI, M.; MANTOVANI, L. E. Zoneamento climático de *Pinus tecunumanii* para fins de plantio experimental no estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 341-354, 2012.

FURLAN, R. A. et al. Estrutura genética de populações de melhoramento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* por meio de marcadores microssatélites. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 553-563, 2007.

GAPARE, W. J. Merging applied gene conservation activities with advanced generation breeding initiatives: a case study of *Pinus radiata* D. Don. **New Forests, Dordrecht**, v. 45, n. 3, p. 311-331, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11056-013-9398-0>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

GAPARE, W. J.; IVKOVIĆ, M.; LIEPE, K. J.; HAMANN, A.; LOW, C. B. Drivers of genotype by environment interaction in radiata pine as indicated by multivariate regression trees. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 353, p. 21-29, 2015.

GARTLAND, K. M. A. Genetically modified trees: production, properties, and potential. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 29, n. 5, p. 259-266, 2003.

GONÇALVES, P. de S.; BORTOLETTO, N.; FONSECA, F. da.; BATAGLIA, O.C.; ORTOLANI, A.A. Early selection for growth vigor in rubber tree genotypes in northwestern São Paulo state (Brazil). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 21, p. 620-630, 1998.

GONÇALVES-ALVIM, S. J.; FERNANDES G. W. Biodiversity of galling insects: historical, community and habitat effects in four Neotropical savannas. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v. 10, p. 79-98, 2001.

HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. **Software HIBRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS/Área de Hidráulica e Irrigação, 1995. 45 p. (UNESP/FEIS/Área de Hidráulica e Irrigação. Série Irrigação, 1).

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Indicadores de desempenho nacional de árvores plantadas. Relatório de 2017 com ano base de 2016**. 2017. Disponível em: <http://iba.org/pt_2017_pt.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE - **Produção da extração vegetal e da silvicultura -PEVS, 2014**. Disponível em: <[ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_\[anual\]/2013/xls/brasil_xls.zip](ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_[anual]/2013/xls/brasil_xls.zip)>. Acesso em: 14 jun. 2017.

KAGEYAMA, P. Y. **Seleção precoce a diferentes idades em progênes de *Eucalyptus grandis* (Hill). Ex Maiden**. 1983. 151 f. (Tese-Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOSKY, R. Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **Boletim do IPEF**, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.

KALANZI, F. et al. Growth performance of 5-year old *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Barr. and Golf.) in selected districts of Uganda. **Uganda Journal of Agricultural Sciences**, Entebbe, v. 15, n. 2, p. 127-135, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282977468_Growth_performance_of_5-year_old_Pinus_caribaea_var_hondurensis_Barr_and_Golf_in_selected_districts_of_Uganda>. Acesso em: 15 abr. 2017.

KENGEN, S. **A política florestal brasileira: uma perspectiva histórica**. Porto Seguro: IPFE, 2001. p. 18-34. Série Técnica IPEF, n. 34. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr34/convidados.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

KIETZKA E. New pine species and hybrids: is there still potential?. **South African Forestry Journal**, Grahamstown, v. 195, p. 89–92, 2002.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. Disponível em: <<https://books.google.com.br>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

LAL, R.. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 363, n. 1492, p. 815-830, 2008.

LAMB, A. F. A. ***Pinus caribaea***. Oxford: Departament of Forestry, 1973.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “bootstrap” no modelo AMMI**. 2003. 166 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LITTLE, E. L.; WOODBURY, R. O.; WADSWORTH, F. H. Trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. In: U. S. AGRICULTURE HANDBOOK DEPARTMENT. v. 2, 1024 p., 1974.

LI, Y.; XUE, J.; CLINTON, P. W.; GUNGEY, H. S. Genetic parameters and clone by environment interactions for growth and foliar nutrient concentrations in radiata pine on 14 widely diverse New Zealand sites. **Tree Genetics & Genomes**, Heidelberg, v. 11, n. 10, p. 1-16, 2015.

LORENZI, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

MAEDA, S.; SILVA, H.D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* a aplicação de cinza biomassavegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 43-52, 2008.

MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 43-50. 2009.

MARTINEZ, D. T.; RESENDE, M. D. V.; COSTA, R. B.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A.; FIER, I. S. N. Estudo da Interação Genótipo x Ambiente em Progenies de *Pinus taeda* por meio da Análise de Parâmetros Genéticos. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 539-552, 2012.

MASSARO, R. A. M.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus spp*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4. p. 597-609, 2010.

MATHERSON, A. C.; RAYMOND, C. A. A review of provenance x environment interaction: its practical importance and use with particular reference to the tropics. **The Commonwealth Forestry Review**, Shropshire, v. 65, n. 4, p. 283-302, 1986.

MIRANDA, A. C. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus grandis***. 2012. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MISSIO, R. F. et al. Seleção simultânea de caracteres em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 161-168, 2004.

MORAES, M. L. T. et al. Efeito do desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 74, n. , p. 55-65, 2007.

MORAES, M. A.; FILHO, W. V. V.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, A. M.; MANOEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão – Anacardiaceae. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 69-76, 2012

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, E. B. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 85-94, 2017.

MOREIRA, J. P.; SHIMIZU, J. Y.; SOUSA, V. A.; MORAES, M. L. T.; MOURA, N. F.; AGUIAR, A. V. **Ganho esperado na seleção de progênies de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em idade precoce para produção de madeira**. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 99-109, 2014.

MORI, E. S. **Variabilidade genética isoenzimática em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetida a diferentes intensidades de seleção**. 1993. 119 f. Tese (Doutorado em Genética) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 2, p. 225-234, 2001.

NAMKOONG, G.; SNYDER, E. B.; STONECYIPHER, R. Heritability and gain concepts for evaluating breeding systems such as seedling orchards. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 15, n. 1, p. 76-84, 1966.

NIETO, V. M.; RODRIGUEZ, J. *Pinus caribaea* Morelet. In: VOZZO, J. A. **Tropical Tree Seed Manual**. Part II. Species Descriptions. In: UNITED STATE DEPARTMENT AGRICULTURE. Forest Service, 2003. p. 609-611.

NIKLES, D. G. Experience with some *Pinus* hybrids in Queensland, Australia. In: DUNGEY, H. S.; DIETERS, M. J. ; NIKLES, D. G. (Ed.). *Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees*. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 27-42.

PAGLIARINI, M. K.; KIERAS, W. S.; MOREIRA, J. P.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y.; MORAES, M. L. T.; FURLANI JUNIOR, E.; AGUIAR, A. V. Adaptability, stability, productivity and genetic parameters in slash pine second-generation families in early age. **Silvae Genetica**, Berlim, v. 65, n. 1, p. 71-82, 2016.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; MORA, A. L.; MAESTRI, R. Interação de Genótipos de *Pinus taeda* L. com locais no Sul-Sudeste do Brasil. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 90-100, 2001.

PATIÑO VALERA, F.; KAGEYAMA, P. Y. Interação genótipo x espaçamento em progênies de *Eucalyptus saligna* SMITH. **Boletim IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 5-16, 1988.

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

PINTO, D. S.; RESENDE, R. T.; MESQUITA, A. G. G.; ROSADO, A. M.; CRUZ, C. D. Seleção precoce para características de crescimento em testes clonais de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 251-257, 2014.

PIRES, V. C. M.; MARTINS K.; VILAS BÔAS O.; FREITAS M. L. M.; SEBBENN A.M.. Variabilidade genética de caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p.113-119, mar. 2013.

POUPIN, M.; ARCE-JOHNSON, P. Transgenic trees for a new era. In *Vitro Cell Development Biology Plant*, Heidelberg, v. 41, n. 2, p. 91-101, 2005.

PUPIN, S.; SANTOS, A. V. A.; ZARUMA, D. U. G.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M.; MARINO, C. L.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 127-134, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: Ed. UFG, 1993. 272 p.

RAMALHO, M. A. P. **Eficiência relativa de alguns processos de seleção intrapopulacional no milho baseados em famílias não endógamas**. 1997. 121 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1977.

RAYMOND, C. A. Genotype by environment interaction for *Pinus radiata* in New South Wales, Australia. **Tree Genetics & Genomes**, Heidelberg, v. 7, n. 4, p. 819–833, 2011.

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

REIS, C. A. F.; PALUDZYSZYN, E. F. **Estado da arte de plantios com espécies florestais de interesse para o Mato Grosso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 63 p. (Documentos, n. 215). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/898075/1/Doc215.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

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. *Eucalyptus* plantations: improving fibre yield and quality. Hobart- 1995, Austrália. **Proceedings of the...** Austrália: [S.n.], 1995. p. 167-170.

RESENDE, M. D. V.; ARAÚJO, A. J.; SAMPAIO, P. T. B.; WIECHETECK, M. S. S. Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variâncias de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção de *Pinus Caribaea* var. *Hondurensis*. **Floresta**, Curitiba, v. 25, n.1/2, p. 3-16, 1995

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

- RESENDE, M. D. V. Melhoramento de essências florestais. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Ed da UFV, 1999. p. 589 – 648
- RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Floresta, 2004. 57 p.
- RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 562 p.
- REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Revista Ceres**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 45-50, 1994.
- 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**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 11-23, 2004.
- ROSA, P. R. F. **Teste de procedência de *Pinus oocarpa* Schiede em três regiões do Estado de São Paulo**. Jaboticabal, 1981. 79 f. (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1981.
- ROSADO, A. M. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 964- 971, 2012.
- SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D. V.; ARAÚJO, A. J. Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus Caribaea* var. *Hondurensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 11, p. 2243-2253, 2000.
- SAMPSON, J. F.; HANKINSON, M.; MCARTHUR, S.; TAPPER, S.; LANGLEY, M.; GIBSON, N.; YATES, C.; BYRNE, M.. Long-term ‘islands’ in the landscape: low gene flow, effective population size and genetic divergence in the shrub *Hakea oldfieldii* (Proteaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, Chichester, v. 179, n. 2, p. 319–334, 2015.
- SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de *Eucalyptus l'hér.* no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 81-91, 2015.
- SANTOS, G. A.; NUNES, A. C. P.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Genetic control and genotype-by-environment interaction of wood weight in *Eucalyptus* clones in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 5, p. 867-876, 2016.
- SARTORETTO, M. L. et al. Transformação genética: estratégias e aplicações para o melhoramento genético de espécies florestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 861-871, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n3/a46v38n3.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

- 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. **Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 103-115, 2008.
- SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.
- SILVA, J. M. ; AGUIAR A. V.; MORI, E. S.; MORAES, M. L. T. Variação genética e ganho esperado na seleção de progênes de *Pinus Caribaea* var. *Caribaea* em selvíria, MS. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p.241-252, 2011.
- SILVA, J. M. **Análises genéticas em progênes de *Pinus caribaea* morelet var. *Caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) -. Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.
- SILVEIRA, F. A. O. Fenologia e Biologia Reprodutiva de *Bauhinia Brevipes* Vog.(Fabaceae). 2006. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- SHA, P. et al. Dynamic Simulation of Carbon Sequestration by *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. **Journal Of Resources And Ecology**, Beijing, v. 6, n. 1, p.37-43, jan. 2015.
- SHIMIZU, J. Y.; KAGEYAMA, P. Y.; HIGA, A. R. **Procedimentos e recomendações para estudos de progênes de essências florestais**. Curitiba: Embrapa-Urpfcs, 1982. 33 p. (EMBRAPA-URPFCS - Documento, 11).
- SHIMIZU, J. H. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista Madeira**, Curitiba, v. 16, n. 99, p. 4-14, 2006.
- SHIMIZU, J. Y.; SPIR, I. H. Z. Seleção de *Pinus elliottii* pelo valor genético para alta produção de resina. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 103-117, 1999.
- SHIMIZU J. Y.; MEDRADO M. J. S. **Sistema de produção**. Colombo: Embrapa Floresta, 2005. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/>>. Acesso em: 25 jun. 2017.
- SQUILLACE, A. E. Finer pines aid turpentines. **Southern Lumberman**, Montgomery, dez.1964.
- TAMBARUSSI, E. V. et al. Estimative of genetic parameters in progeny test of *Pinus Caribaea* Morelet var. *Hondurensis* Barret & Golfari by quantitative traits and microsatellite markers. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p.39-47, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n1/06.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2017.
- TEODORO, P. E. et al. Número mínimo de medições para a avaliação acurada de características agrônômicas de pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 2, p. 112-119, 2016. Disponível em: <

<http://www.scielo.br/pdf/pab/v51n2/1678-3921-pab-51-02-00112.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 416 p.

VERARDI, C. K.; RESENDE, M. D. V.; COSTA, R. B.; GONÇALVES, P. S. Adaptabilidade e estabilidade da produção de borracha e seleção em progênies de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 10, p. 1277-1282, 2009.

WRIGHT, J. A.; GIBSON, L.; BARNES, D. Provenance variation of stem volume and wood density of *pinus caribaea* var. *hondurensis* growing at two locations in Queensland, Australia. **Journal of Tropical Forest Science**, Selangor Darul Ehsan v. 7, n. 2, p. 243-250, 1994.

WRIGHT, J. W. **Introduction to forest genetics**. Michigan: Academic Press, 1976. 464 p.

WU, H. X. et al. Efficiency of early selection for rotation-aged wood quality traits in radiata pine. **Annals of Forest Sciences**, Paris, v. 64, n. 1, p.1-9, 2007.

APÊNDICE

APÊNDICE 1. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres silviculturais dos testes de progênie de *P. caribaea* var. *hondurensis* em Selvíria-MS, Luiz Antônio-SP e Itapeva-SP.

	Idade (anos)	Selvíria-MS			Luiz Antônio-SP			Itapeva-SP		
		Altura (m)	DAP (cm)	Vol (m ³)	Altura (m)	DAP (cm)	Vol (m ³)	Altura (m)	DAP (cm)	Vol (m ³)
h_a^2	1	0,34 ± 0,19	0,96 ± 0,41		0,07 ± 0,05	0,08 ± 0,05		0,01 ± 0,02	0,02 ± 0,03	
	2	0,24 ± 0,17	0,75 ± 0,34		0,21 ± 0,08	0,25 ± 0,09		0,002 ± 0,01	0,03 ± 0,03	
	5	0,76 ± 0,60	0,45 ± 0,74	0,42 ± 0,56	0,16±0,07	0,02±0,03	0,04±0,03	0,003± 0,013	0,01±0,02	0,02±0,03
h_m^2	1	0,74	0,89		0,33	0,38		0,05	0,07	
	2	0,65	0,86		0,62	0,67	0,25	0,01	0,12	
	5	0,86	0,60	0,70	0,57	0,20		0,02	0,085	0,11
r_a	1	0,85	0,94		0,58	0,62		0,22	0,28	
	2	0,80	0,93		0,78	0,81	0,50	0,12	0,34	
	5	0,92	0,77	0,83	0,75	0,43		0,14	0,29	0,34
$CV_{gi} (%)$	1	33,9	71,16		8,33	10,87		2,55	3,19	
	2	25,43	67,00		11,36	16,71	8,94	1,21	3,25	
	5	28,44	50,89	61,10	6,35	3,37		1,09	2,52	6,69
$CV_{gp} (%)$	1	16,94	35,58		4,16	5,43		1,27	1,59	
	2	12,71	33,53		3,17	8,35	4,47	0,60	1,62	
	5	14,72	25,45	30,5	2,45	1,68		0,55	1,26	3,34
$CV_e (%)$	1	55,12	63,4		31,90	37,62		25,32	25,16	
	2	50,92	69,9		24,35	32,25	41,8	23,23	20,34	
	5	28,82	70,79	88,7	15,14	19,6		17,35	18,96	42,11
LRT	1	5,21*	11,71**		3,61 ^{ns}	5,43*		0,04 ^{ns}	0,10 ^{ns}	
	2	1,94 ^{ns}	12,87**		16,70**	22,36**		0,00 ^{ns}	0,24 ^{ns}	
	5	1,26 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,10	14,28**	0,75 ^{ns}	1,58	0,00 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,22
μ	1	0,34	0,89		0,94	1,86		1,21	2,51	
	2	0,47	0,98		2,60	3,58		3,02	7,48	
	5	2,44	4,42	0,003	10,19	14,5	0,08	9,24	15,6	0,085

Média geral (μ); coeficiente de variação residual (CV_e); acurácia (r_a); herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2); herdabilidade da média de progênie (h_m^2); herdabilidade aditiva dentro de progênie (h_{ad}^2); coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}); coeficiente de variação genética entre progênie (CV_{gp}); teste da razão de verossimilhança (LRT); **significativo a 1%, *significativo a 5% com 1 grau de liberdade e ^{ns} não significativo. Fonte: do próprio autor.

APÊNDICE 2. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres silviculturais dos testes de progênes de *P. tecunumanni* em Selvíria-MS, Luiz Antônio-SP e Itapeva-SP.

	Idade (anos)	Selvíria-MS			Luiz Antônio-SP			Itapeva-SP		
		Altura (m)	DAP (cm)	Vol (m ³)	Altura (m)	DAP (cm)	Vol (m ³)	Altura (m)	DAP (cm)	Vol (m ³)
h_a^2	1	0,14 ± 0,07	0,10 ± 0,06		0,41 ± 0,10	0,31 ± 0,09		0,02 ± 0,03	0,07 ± 0,05	
	2	0,01 ± 0,02	0,05 ± 0,04		0,28 ± 0,08	0,27 ± 0,08		0,002 ± 0,01	0,003 ± 0,01	
	5	0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,02	0,02±0,09	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,02±0,07	0,05±0,04	0,04±0,03	0,03±0,04
h_m^2	1	0,57	0,48		0,81	0,76		0,10	0,28	
	2	0,11	0,34		0,74	0,73		0,02	0,01	
	5	0,03	0,15	0,20	0,15	0,12	0,08	0,24	0,18	0,15
r_a	1	0,75	0,69		0,90	0,87		0,32	0,53	
	2	0,33	0,58		0,86	0,85		0,12	0,12	
	5	0,17	0,40	0,14	0,39	0,35	0,30	0,49	0,43	0,40
$CV_{gi} (%)$	1	14,29	13,7		17,40	12,11		3,85	6,80	
	2	4,16	10,8		17,59	9,81		1,02	1,39	
	5	1,13	2,54	2,02	1,67	2,23	3,73	3,33	3,5	11,9
$CV_{gp} (%)$	1	7,14	6,80		8,70	6,05		1,92	3,40	
	2	2,08	5,40		8,79	4,90		0,51	0,69	
	5	0,56	1,27	1,01	0,83	1,13	1,86	1,66	1,75	5,9
$CV_e (%)$	1	38,00	43,80		25,95	20,86		26,69	26,12	
	2	35,90	46,34		31,90	18,09		19,65	25,57	
	5	19,94	18,30	41,66	12,02	18,40	36,9	14,1	17,66	67,0
LRT	1	9,54**	5,37*		76,61**	47,93**		0,19 ^{ns}	1,95 ^{ns}	
	2	0,12 ^{ns}	1,90 ^{ns}		42,89**	47,81**		0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	
	5	0,78 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,00	0,45 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,13	1,19 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,36
μ	1	0,90	0,97		1,39	5,49		1,84	2,44	
	2	1,77	2,39		6,71	6,07		4,30	5,37	
	5	9,43	15,3	0,074	12,42	15,23	0,11	10,58	15,9	0,10

Média geral (μ); coeficiente de variação residual (CV_e); acurácia (r_a); herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2); herdabilidade da média de progênes (h_m^2); herdabilidade aditiva dentro de progênes (h_{ad}^2); coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}); coeficiente de variação genética entre progênie (CV_{gp}); teste da razão de verossimilhança (LRT); **significativo a 1%, *significativo a 5% com 1 grau de liberdade e ^{ns} não significativo. Fonte: do próprio autor.

APÊNDICE 3. Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em Selvíria-MS.

<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>					<i>P. tecunumanii</i>				
Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.	Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.
27	46,359	2	9,981	16	76	43,174	37	1.019	43
27	38,280	5	3,052	4	76	44,634	40	0.378	56
27	37,085	23	2,114	29	76	54,516	41	4.807	80
27	38,600	30	6,771	18	76	40,008	42	0.984	46
27	40,852	13	1,983	35	76	46,251	43	1.211	68
27	45,354	10	4,420	20	76	42,286	44	3.114	73
27	35,753	6	3,702	35	76	42,684	45	0.767	70
27	42,103	19	3,641	8	76	38,887	46	0.568	64
27	39,842	4	5,250	1	76	46,467	47	4.258	72
27	45,953	14	15,089	22	76	50,834	48	5.194	52
27	39,725	3	7,106	24	76	43,870	49	0.763	79
27	31,344	8	3,678	17	76	41,449	50	1.353	57
27	53,065	9	17,558	33	76	53,596	51	7.301	59
27	36,800	16	2,781	1	76	40,115	52	1.128	70
25	53,898	27	28,987	1	76	42,865	53	3.081	81
25	23,240	21	6,086	1	76	49,868	54	3.274	69
25	34,970	17	6,168	1	76	45,929	56	2.596	67
22	20,661	36	1,324	11	76	43,110	57	1.168	64
25	20,890	1	4,737	7	76	51,702	58	7.233	80
25	29,437	18	7,644	31	76	47,538	60	5.516	73
25	27,863	24	2,022	35	76	47,202	61	2.548	65
25	29,419	33	7,550	31	76	38,809	65	0.640	64
7	30,119	22	15,140	25	76	42,352	67	1.192	38
25	23,568	12	3,471	11	76	44,792	68	3.673	78
32	25,315	7	9,113	29	76	43,724	69	2.026	64
25	26,492	11	14,297	29	76	38,852	70	0.785	64
25	22,861	31	5,754	35	76	49,993	71	3.340	77
32	28,639	29	5,811	26	76	47,960	71	3.259	38
25	22,623	35	1,686	26	76	43,396	73	0.950	79
25	25,111	20	13,349	26	76	53,294	74	8.356	66
32	38,456	25	16,970	26	66	49,550	76	40.175	79
26	20,114	32			39	26,657	77	4.240	64
					66	20,892	80	4.489	64
					66	12,978	81	5.404	64
					39	11,614	38	2.449	64
					78	18,343	39	11.695	64
					79	9,791	66	8.573	64
					64	5,113	78	2.389	79
					64	2,198	79		
Max	53,898	Prog	25 e 27		Max	54,516	Prog	76 e 41	
Mini	1,324	Prog	36 e 11		Mini	0,378	Prog	40 e 56	

APÊNDICE 4. Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em Itapeva-SP.

<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>					<i>P. tecunumanii</i>				
Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.	Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.
6	28,687	1	6,447	20	69	36,002	37	6.500	72
35	26,352	2	3,968	9	81	26,914	38	3.331	76
33	24,616	3	2,865	16	81	42,672	39	7.649	65
35	18,007	4	2,058	23	52	43,285	40	3.582	66
22	28,669	5	7,211	32	81	31,574	41	4.984	42
13	30,236	6	5,394	11	81	27,376	42	2.656	55
31	24,500	7	1,593	25	52	46,010	43	12.865	68
31	28,306	8	2,811	26	69	37,737	44	9.008	59
35	24,246	9	6,117	29	52	39,633	46	6.680	73
19	29,951	10	5,350	16	61	34,568	47	6.253	65
31	23,649	11	4,777	21	51	34,785	48	2.951	67
20	30,283	12	3,571	18	81	31,599	50	3.277	67
35	40,402	13	5,878	10	52	36,673	51	9.981	54
20	18,437	14	2,026	17	81	56,718	52	19.349	70
35	36,303	15	5,201	29	74	35,358	53	9.156	59
35	21,664	16	5,416	19	80	32,541	54	8.175	70
32	23,896	17	4,595	19	81	23,515	55	2.738	56
32	28,754	19	5,724	22	81	27,666	56	4.361	69
22	30,183	20	12,372	30	81	34,171	57	4.218	58
31	30,545	21	7,173	25	81	34,140	58	5.956	60
35	41,245	22	10,581	24	81	24,264	59	2.692	70
31	21,181	23	1,637	25	81	32,141	60	6.015	67
35	21,028	24	3,184	34	81	48,497	61	11.289	78
31	27,189	25	5,915	30	81	24,691	65	7.218	66
35	27,990	26	3,278	28	81	24,574	67	4.503	66
32	16,528	27	6,399	28	81	25,696	68	5.921	78
33	20,324	28	8,792	30	81	38,107	69	16.446	66
35	19,897	29	5,721	32	81	20,231	70	7.573	70
35	23,131	30	3,918	34	74	27,508	71	13.966	70
35	19,064	31	11,993	34	74	23,409	72	5.434	76
35	20,648	32	11,490	34	77	10,521	73	10.521	77
35	24,649	33	1,865	34	45	32,595	74	5.426	78
35	18,953	34	7,111	18	81	23,921	76	5.069	77
18	16,305	35	16,305	18	81	23,732	78	10.957	79
					77	28,383	79	9.801	49
					81	25,967	80	13.453	49
					45	34,822	81	20.326	77
					77	33,102	77	17.403	66
					66	13,083	49	8.895	45
					66	5,953	45	5.953	66
Max	41,245	Prog	35 e 22		Max	56,718	Prog	81 e 52	
Mini	1,593	Prog	7 e 25		Mini	2,656	Prog	42 e 55	

APÊNDICE 5. Distâncias generalizadas de Mahalanobis entre progênies de *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH) e *P. tecunumanii* (PTE) em Luiz Antônio-SP.

<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>					<i>P. tecunumanii</i>				
Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.	Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog.
16	34,0007	1	11,8745	4	80	31,9892	37	0.9937	73
14	34,9101	2	9,6894	9	60	36,4856	38	4.9019	58
15	30,739	3	8,8349	5	76	32,6873	39	8.8874	58
18	29,2137	4	4,454	8	70	28,5445	40	8.3077	54
15	24,7878	5	2,831	7	80	30,4026	41	3.3371	66
17	23,3434	6	4,289	36	80	27,8059	42	2.4265	57
18	29,8218	7	8,3132	29	76	36,3704	43	5.8673	47
18	28,4163	8	2,3703	36	52	21,0636	44	4.9436	77
18	23,8887	9	2,4111	17	60	33,2121	45	3.6076	69
18	28,6956	10	3,4591	14	60	24,7399	47	1.2162	53
18	25,1722	11	2,3776	28	72	42,1301	48	9.9391	77
16	24,1558	12	0,8135	24	60	37,5728	49	3.9156	65
18	10,7064	13	0,811	21	80	24,4574	50	3.3361	54
18	26,6403	14	7,3193	25	60	30,3283	51	0.5915	78
18	21,6624	15	3,0812	28	72	36,4903	52	3.2612	69
26	27,721	16	5,7887	22	80	27,6242	53	2.4236	55
18	21,7162	17	3,1119	31	58	22,139	54	0.9592	74
24	22,4806	18	2,2217	19	80	23,2741	55	1.5824	78
24	13,7357	19	3,1772	22	60	30,9153	56	3.3191	60
25	11,2992	20	2,7494	29	80	22,8246	57	1.2689	74
36	6,0272	21	1,5113	29	80	24,0052	59	3.7209	66
24	11,7239	22	2,6302	32	61	38,7055	60	15.0042	46
36	8,8677	23	2,6377	25	80	33,3039	61	4.8208	78
31	10,5273	24	3,5145	26	76	21,7718	65	1.9299	71
36	16,6111	25	2,4427	26	72	26,3265	69	3.4144	77
36	14,4608	26	6,2294	27	80	35,4893	70	8.5375	78
31	7,595	27	0,5302	30	72	18,888	71	1.9575	67
31	7,4604	28	0,8511	33	80	17,1459	74	3.547	77
36	6,2226	29	3,6498	31	80	36,3114	76	7.1476	81
31	7,9488	30	2,3765	35	80	20,2277	77	2.3644	78
36	13,9842	31	1,696	32	80	25,6331	78	3.2065	68
36	9,8418	32	7,04	35	80	21,0978	79	6.4309	81
36	2,4292	33	2,2303	35	46	39,0235	80	24.3946	67
36	3,1582	35			46	26,155	81	5.778	68
					68	24,6881	46	6.9146	73
					67	20,834	66	8.7057	73
					67	11,1909	68	7.1658	73
					67	7,1443	73		
Max	34,9101	Prog	14 e 2		Max	42,1301	Prog	72 e 48	
Mini	0,5302	Prog	27 e 30		Mini	0,5915	Prog	51 e 78	

APÊNDICE 7. Croqui PTE- Selvíria.

[illegible]

APÊNDICE 9. Croqui PTE- Itapeva.

[illegible]

APÊNDICE 12. Ganho na seleção de 50% das progênes baseado no VOL para *P. caribaea* var. *hondurensis* em Selvíria, Luiz Antônio e Itapeva aos 5 anos anos de idade.

Selvíria		Luiz Antônio		Itapeva	
VOL (2017)		VOL (2017)		VOL (2017)	
$k_f = \forall \ k \neq 0$		$k_f = \forall \ k \neq 0$		$k_f = \forall \ k \neq 0$	
Progênes	k_f	Progênes	k_f	Progênes	K_f
5	2	2	17	1	1
7	1	3	44	4	3
8	1	5	28	7	10
9	1	6	1	8	8
10	2	7	33	10	16
14	2	9	3	12	7
17	1	10	37	13	17
19	1	11	17	14	18
20	1	12	21	15	10
23	1	13	2	16	5
29	1	14	2	17	13
-	-	15	1	18	17
-	-	16	3	19	19
-	-	17	15	22	19
-	-	18	26	23	13
-	-	19	12	24	16
-	-	20	35	25	1
-	-	21	8	26	9
-	-	22	3	27	19
-	-	23	3	28	18
-	-	24	10	29	9
-	-	25	21	30	8
-	-	26	25	31	19
-	-	27	4	32	11
-	-	28	1	33	17
-	-	29	21	34	18
-	-	30	29	35	19
-	-	31	21	-	-
-	-	32	8	-	-
-	-	33	13	-	-
-	-	35	13	-	-
n		n	477	n	340
N_{fo}		N_{fo}	35	N_{fo}	35
N_f		N_f	32	N_f	27
$\bar{k}_f$		$\bar{k}_f$	14,9	$\bar{k}_f$	12,59
$\hat{\sigma}_{kf}^2$		$\hat{\sigma}_{kf}^2$	153,24	$\hat{\sigma}_{kf}^2$	34,94
N_e		N_e	67,69	N_e	74,04
$\mu(cm)$		$\mu(cm)$	15,89	$\mu(cm)$	17,06

$\hat{a}(cm)$	3,3	$\hat{a}(cm)$	0,10	$\hat{a}(cm)$	0,05
$\hat{G}_s(\%)$	26,6	$\hat{G}_s(\%)$	0,60	$\hat{G}_s(\%)$	0,33
$\hat{D}$	0,61	$\hat{D}$	0,54	$\hat{D}$	0,63

Número de indivíduos selecionados (n); número original de famílias (N_{fo}); número de famílias selecionadas (N_f); número médio de indivíduos selecionados por família ($\bar{k}_f$); variância do número de indivíduos selecionados por família ($\hat{\sigma}_{kf}^2$); tamanho efetivo populacional (N_e); média do experimento para o DAP (μ); efeito genético aditivo ($\hat{a}$); ganho de seleção ($\hat{G}_s$); diversidade genética ($\hat{D}$).

APÊNDICE 13. Ganho na seleção de 50% das progênes baseado no VOL para *P. tecunumanii* em Selvíria, Luiz Antônio e Itapeva aos 5 anos de idade.

Selvíria		Luiz Antônio		Itapeva	
VOL (2017)		VOL (2017)		VOL (2017)	
$k_f = \forall k \neq 0$		$k_f = \forall k \neq 0$		$k_f = \forall k \neq 0$	
Progênes	k_f	Progênes	k_f	Progênes	K_f
37	17	37	8	37	15
38	17	38	37	38	12
41	25	39	9	40	14
42	11	40	40	41	16
43	17	41	30	42	13
44	18	42	12	43	15
45	6	43	40	44	12
46	8	45	44	45	13
47	1	47	13	46	11
48	37	48	29	47	9
49	1	49	32	48	11
50	21	51	30	49	14
51	1	52	36	50	15
52	24	53	28	51	12
53	28	55	1	52	13
57	1	56	20	53	15
58	38	57	7	53	12
59	24	58	38	55	13
60	2	59	7	56	10
61	37	61	35	57	15
65	12	65	21	58	12
67	17	66	24	59	13
68	18	67	1	60	12
69	1	68	17	61	11
70	10	69	32	66	9
71	24	71	1	67	7
72	27	73	11	68	11
77	10	74	3	69	6
78	4	77	15	70	10
79	3	78	15	71	8
80	30	79	4	72	9
81	15	80	14	73	10
-	-	81	1	74	13
-	-	-	-	76	9
-	-	-	-	-	-
n	507	n	655	n	400
N_{fo}	41	N_{fo}	41	N_{fo}	41
N_f	32	N_f	33	N_f	34
$\bar{k}_f$	15,8	$\bar{k}_f$	19,84	$\bar{k}_f$	11,7

$\hat{\sigma}_{kf}^2$	117,8	$\hat{\sigma}_{kf}^2$	187,50	$\hat{\sigma}_{kf}^2$	6,12
N_e	72,2	N_e	81,12	N_e	85,4
$\mu(cm)$	18,1	$\mu(cm)$	16,85	$\mu(cm)$	17,2
$\hat{a}(cm)$	1,20	$\hat{a}(cm)$	0,05	$\hat{a}(cm)$	0,1
$\hat{G}_s(\%)$	6,9	$\hat{G}_s(\%)$	0,31	$\hat{G}_s(\%)$	0,60
$\hat{D}$	0,14	$\hat{D}$	0,55	$\hat{D}$	0,85

Número de indivíduos selecionados (n); número original de famílias (N_{fo}); número de famílias selecionadas (N_f); número médio de indivíduos selecionados por família ($\bar{k}_f$); variância do número de indivíduos selecionados por família ($\hat{\sigma}_{kf}^2$); tamanho efetivo populacional (N_e); média do experimento para o DAP (μ); efeito genético aditivo ($\hat{a}$); ganho de seleção ($\hat{G}_s$); diversidade genética ($\hat{D}$).

APÊNDICE 14. Ganho na seleção dentro de progênes com intensidade de 50% baseado no VOL para *P. caribaea* var. *hondurensis* em Selvíria, Luiz Antônio e Itapeva aos 5 anos de idade.

Selvíria		Luiz Antônio		Itapeva	
VOL (2017)		VOL (2017)		VOL (2017)	
$kf = \forall k \neq 0$		$kf = \forall k \neq 0$		$kf = \forall k \neq 0$	
Progênes	kf	Progênes	kf	Progênes	Kf
1	1	1	21	1	9
2	1	2	14	2	9
3	1	3	22	3	10
4	1	4	12	4	9
5	1	5	21	5	10
7	1	6	24	6	9
8	1	7	23	7	10
9	1	8	13	8	10
10	1	9	13	9	9
14	1	10	24	10	10
16	1	11	13	11	10
17	1	12	13	12	9
19	1	13	1	13	10
20	1	14	18	14	9
23	1	15	23	15	10
29	1	16	10	16	10
33	1	17	15	17	9
-	-	18	14	18	9
-	-	19	13	19	10
-	-	20	17	20	10
-	-	21	5	21	9
-	-	22	4	22	10
-	-	23	14	23	10
-	-	24	5	24	10
-	-	25	14	25	10
-	-	26	13	26	10
-	-	27	3	27	10
-	-	28	3	28	10
-	-	29	11	29	10
-	-	30	16	30	10
-	-	31	12	31	10
-	-	32	9	32	10
-	-	33	16	33	10
-	-	35	13	34	10
-	-	36	13	35	10
n	13	n	477	n	340
N_{fo}	16	N_{fo}	35	N_{fo}	35
N_f	11	N_f	35	N_f	35

$\bar{k}_f$	1,25	$\bar{k}_f$	13,62	$\bar{k}_f$	9,71
$\hat{\sigma}_{kf}^2$	0,11	$\hat{\sigma}_{kf}^2$	38,00	$\hat{\sigma}_{kf}^2$	0,21
N_e	17,02	N_e	98,26	N_e	106,78
$\mu(cm)$	12,6	$\mu(cm)$	16,55	$\mu(cm)$	17,66
$\hat{a}(cm)$	0,25	$\hat{a}(cm)$	0,04	$\hat{a}(cm)$	0,02
$\hat{G}_s(\%)$	1,55	$\hat{G}_s(\%)$	0,24	$\hat{G}_s(\%)$	0,15
$\hat{D}$	0,33	$\hat{D}$	0,83	$\hat{D}$	0,99

Número de indivíduos selecionados (n); número original de famílias (N_{fo}); número de famílias selecionadas (N_f); número médio de indivíduos selecionados por família ($\bar{k}_f$); variância do número de indivíduos selecionados por família ($\hat{\sigma}_{kf}^2$); tamanho efetivo populacional (N_e); média do experimento para o DAP (μ); efeito genético aditivo ($\hat{a}$); ganho de seleção ($\hat{G}_s$); diversidade genética ($\hat{D}$).

APÊNDICE 15. Ganho na seleção dentro de progênes com intensidade de 50% baseado no VOL para *P. tecunumanii* em Selvíria, Luiz Antônio e Itapeva aos 5 anos anos de idade.

Selvíria		Luiz Antônio		Itapeva	
VOL (2017)		VOL (2017)		VOL (2017)	
$kf = \forall \ k \neq 0$		$kf = \forall \ k \neq 0$		$kf = \forall \ k \neq 0$	
Progênes	kf	Progênes	kf	Progênes	Kf
37	14	37	13	37	11
38	15	38	19	38	10
39	20	39	22	39	14
40	17	40	25	40	11
41	23	41	25	41	16
42	14	42	15	42	10
43	16	43	20	43	13
44	16	44	18	44	10
45	21	45	23	45	12
46	11	46	12	46	8
47	8	47	9	47	6
48	19	48	17	48	10
49	15	49	16	49	10
50	14	50	20	50	12
51	17	51	18	51	12
52	15	52	19	52	11
53	14	53	20	53	10
54	19	54	16	54	11
55	11	55	3	55	1
56	10	56	12	56	9
57	20	57	15	57	7
58	12	58	20	58	14
59	15	59	12	59	10
60	19	60	19	60	10
61	1	61	18	61	10
65	13	65	13	65	11
66	13	66	12	66	8
67	16	67	15	67	9
68	9	68	10	68	7
69	17	69	19	69	11
70	10	70	12	70	6
71	16	71	13	71	10
72	15	72	18	72	8
73	15	73	15	73	9
74	12	74	15	74	10
76	17	76	18	76	13
77	13	77	18	77	9
78	6	78	7	78	3

79	10	79	14	79	9
80	15	80	15	80	10
81	15	81	15	81	9
n	507	n	655	n	400
N_{fo}	41	N_{fo}	41	N_{fo}	41
N_f	41	N_f	41	N_f	41
$\bar{k}_f$	12,36	$\bar{k}_f$	15,97	$\bar{k}_f$	9,75
$\hat{\sigma}_{kf}^2$	10,13	$\hat{\sigma}_{kf}^2$	20,62	$\hat{\sigma}_{kf}^2$	7,48
N_e	125,3	N_e	129,27	N_e	118,31
$\mu(cm)$	17,1	$\mu(cm)$	17,57	$\mu(cm)$	17,79
$\hat{a}(cm)$	0,4	$\hat{a}(cm)$	0,02	$\hat{a}(cm)$	0,05
$\hat{G}_s(\%)$	2,2	$\hat{G}_s(\%)$	0,13	$\hat{G}_s(\%)$	0,28
$\hat{D}$	0,93	$\hat{D}$	0,92	$\hat{D}$	0,93

Número de indivíduos selecionados (n); número original de famílias (N_{fo}); número de famílias selecionadas (N_f); número médio de indivíduos selecionados por família ($\bar{k}_f$); variância do número de indivíduos selecionados por família ($\hat{\sigma}_{kf}^2$); tamanho efetivo populacional (N_e); média do experimento para o DAP (μ); efeito genético aditivo ($\hat{a}$); ganho de seleção ($\hat{G}_s$); diversidade genética ($\hat{D}$).