

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE GENÉTICA EM PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO  
ABERTA DE *Eucalyptus urophylla* PARA TOLERÂNCIA AO FRIO**

**CRISTIANO BUENO DE MORAES**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Doutor em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP  
Novembro – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE GENÉTICA EM PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO  
ABERTA DE *Eucalyptus urophylla* PARA TOLERÂNCIA AO FRIO**

**CRISTIANO BUENO DE MORAES**

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. Edson Seizo Mori

Co-orientador: Prof. Dr. Rinaldo César de Paula

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Doutor em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP  
Novembro – 2013

Moraes, Cristiano Bueno de, 1973-  
M827v Variabilidade genética em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* para tolerância ao frio / Cristiano Bueno de Moraes. - Botucatu : [s.n.], 2013  
xvii, 90 f. : ils. color., graf., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013

Orientador: Edson Seizo Mori

Coorientador: Rinaldo César de Paula

Inclui bibliografia

1. Teste de progênies. 2. Parâmetros genéticos. 3. Melhoramento florestal. 4. Geada. I. Mori, Edson Seizo. II. Paula, Rinaldo César de. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: “VARIABILIDADE GENÉTICA EM PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO  
ABERTA DE *Eucalyptus urophylla* PARA TOLERÂNCIA AO FRIO”**

ALUNO: CRISTIANO BUENO DE MORAES

ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON SEIZO MORI  
COORIENTADOR: PROF. DR. RINALDO CÉSAR DE PAULA

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. EDSON SEIZO MORI

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. LEO ZIMBACK

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MÁRIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. EDWIN CAMACHO PALOMINO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MAURÍCIO DUTRA ZANOTTO

Data da Realização: 18 de novembro de 2013

**DEDICO**

Aos meus pais

Jair Bueno de Moraes

Aparecida Alves de Godoy Moraes

Aos meus irmãos

Álvaro Bueno de Moraes

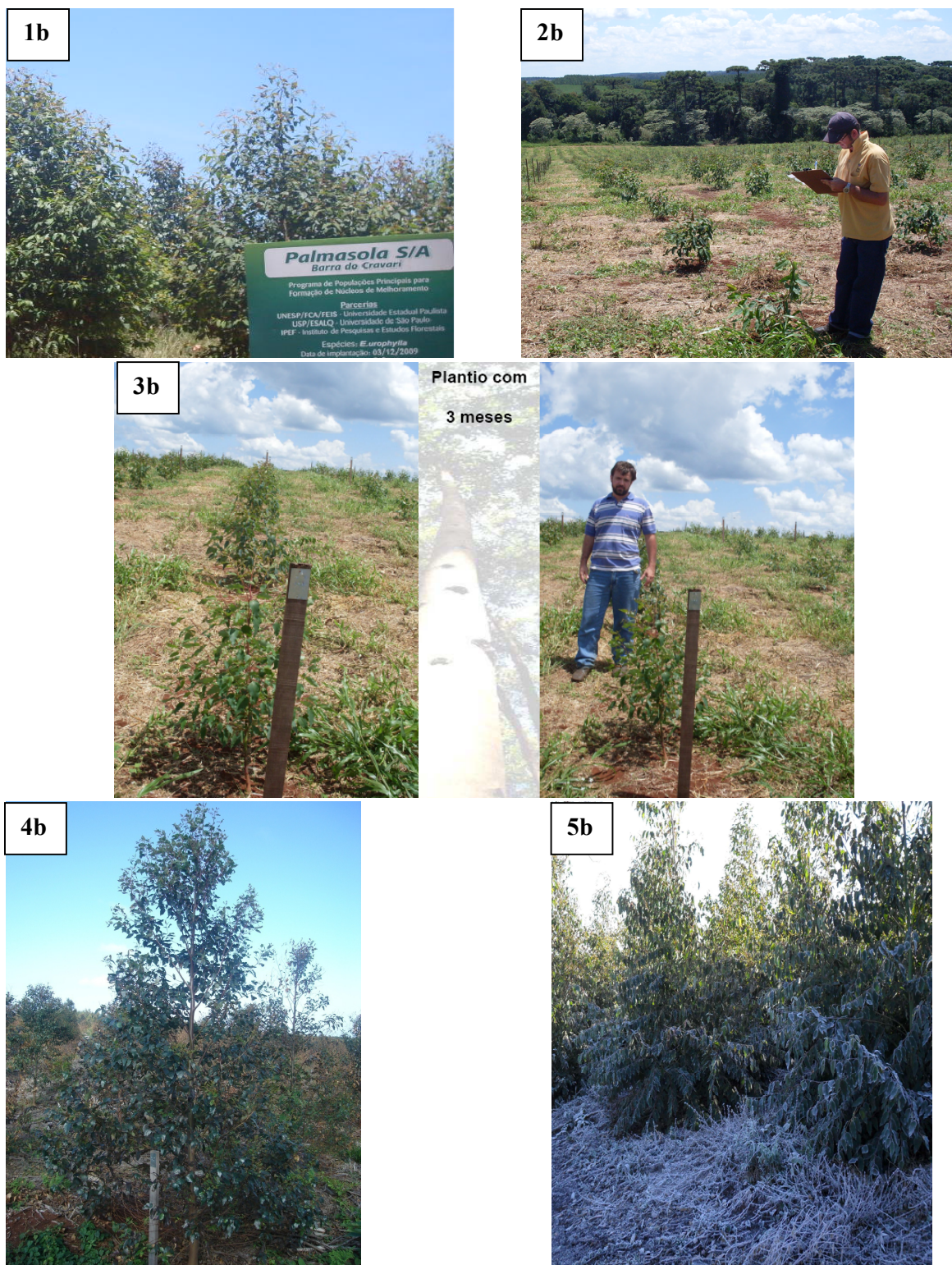
Gustavo Bueno de Moraes

À minha esposa  
Rosana Cristina de Moraes, e à  
Ana Laura Moraes da Silveira

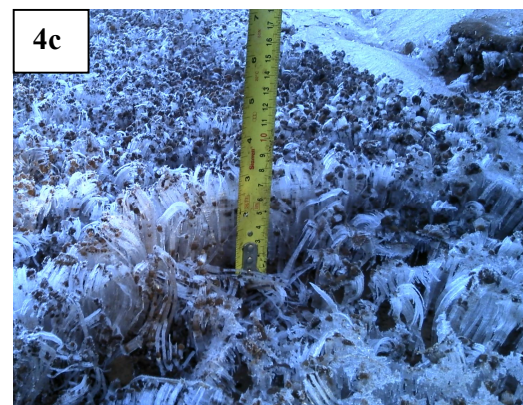
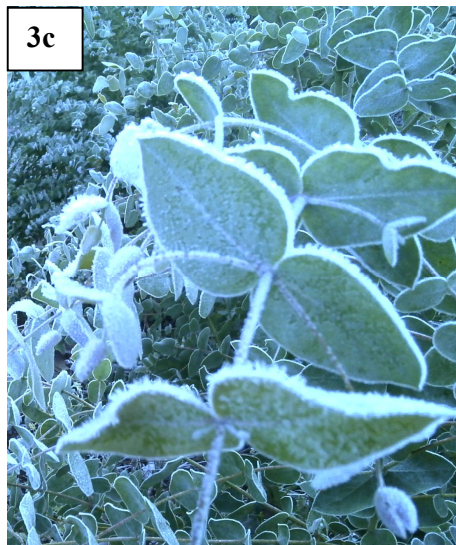
**OFEREÇO**



Figuras 1a, 2a, 3a, 4a, 5a e 6a – Teste de progênies de *E. urophylla* na região de Itatinga, Fazenda São José do Bromado (Empresa Eucatex/SP).



Figuras 1b, 2b, 3b, 4b e 5b – Teste de progênies de *E. urophylla* na empresa Palmasola/SC.



**Figuras 1c, 2c, 3c, 4c, 5c e 6c** – Ocorrência à geadas no município de Palma Sola/SC.

Grandeza significa: dar direção - Nenhum rio é por si só mesmo grande e abundante; é o fato de receber e levar adiante muitos afluentes que o torna assim. O mesmo sucede com todas as grandezas do espírito. Interessa apenas que um homem dê a direção que os muitos afluentes devem seguir; e não que ele inicialmente seja pobre ou rico em dons.

**Friedrich Nietzsche**  
**Filósofo Alemão**

## AGRADECIMENTOS

À todos da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu – FCA/UNESP, pela convivência nestes 12 anos e a oportunidade para a realização do trabalho de doutorado.

Ao Prof. Dr. Edson Seizo Mori por sua orientação, estímulo e amizade;

Ao Prof. Dr. Rinaldo César de Paula por sua co-orientação;

Ao meu avô Benedito Bueno de Moraes e minha avó Clementina Carpegiane de Moraes que em todos os momentos estiveram comigo;

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de estudo durante o curso de pós-graduação;

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) pelo apoio ao estudo realizado;

Aos professores e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP/Campus de Botucatu pela colaboração e incentivo, em especial aos professores Iraê Guerrini e Edson Furtado e as colaboradoras da pós-graduação Selma, Regina e Taynan;

Aos professores e pesquisadores Mário Luis Teixeira Moraes, Léo Zimback e Marcos Deon Vilela de Resende pelo ensinamento do programa estatístico SELEGEN;

Aos amigos “cachorros” Mel, Yanca, Kelly, Falcão, Pulga, Feiosinha, Ruby, Frida, Nina, Branca, Bela, Princesa, Volve, Preta, Melly, Pity, Sol, Tigor e em especial ao Grande que me ensinou todos os dias a paciência que tenho que galgar dentro de mim.

Aos amigos Airton Fioravante, Ana Lúcia, Célia Regina, Denise Melo, Ermete Nibi, Janaina Celoto Guerrero, Joel Di Creddo, Maria Inês, Maria Lúcia, Mirian Carani, Nilson de Camargo, Santin Manoel Vargem Júnior, Solange Spadim e Luiz da Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/UNESP/Campus de Botucatu, pela paciência, amizade e ajuda na consolidação do conhecimento;

Aos funcionários das empresas Eucatex, Palmasola e das Estações Experimentais de Itatinga e Anhembi pela condução dos experimentos;

Aos amigos André Carignato, Alexandre Carneiro, Alexandre Fragoso, Alexandre Felipe, Aline Miranda, Carlos Jorge, Cristiane Pieri, Débora Palheta, Eduardo Henriques, Evandro Tambarussi, Edwin Palomino, Evelize, Fernanda Abílio, Fernanda Chinelato, Geo, Gilberto, Gláucia Uesugi, Gustavo Pieroni, Hellen Barros, Isliana Caldas, Karolina Dória, Leandro, Lucas, Valdene, Maria Rita, Manoel, Neide Mori, Paulo Henrique, Paulão, Renata, Reginaldo, Rildo Moreira, Rodolfo, Rafael, Ricardo, Sergianne Frizon, Talitha Freitas e Willian pela amizade.

À todos que contribuíram para realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

CRISTIANO BUENO DE MORAES, filho de Aparecida Alves de Godoy Moraes e Jair Bueno de Moraes, nasceu em Amparo, São Paulo.

Em março de 2000 ingressou no Curso de Engenharia Florestal na Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu (FCA), da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, UNESP, Botucatu, São Paulo, concluindo-o em 12 de dezembro de 2004.

Ingressou em agosto de 2005 no Curso de Mestrado em Ciências Biológicas, Linha de Pesquisa em Genética e Melhoramento Florestal, no Instituto de Biociências de Botucatu (IBB/UNESP), Botucatu, São Paulo.

Defendeu dissertação em 2007 e recebeu o título de Mestre em Ciências Biológicas: Área de Concentração Genética.

Ingressou em março de 2010 no Curso de Doutorado em Ciência Florestal, Linha de Pesquisa Silvicultura e Genética Florestal, na FCA/UNESP, Botucatu, São Paulo.

Defendeu tese em 2013 e recebeu o título de Doutor em Ciência Florestal.

## SUMÁRIO

	Páginas
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>7</b>
2.1. Objetivo geral .....	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
3.1. Melhoramento florestal .....	8
3.2. Variabilidade genética.....	9
3.3. O Gênero.....	10
3.4. A espécie.....	10
3.5. Teste de progênies.....	12
3.6. Interação genótipos x ambientes .....	13
3.7. Produtividade, adaptabilidade e estabilidade.....	14
3.8. Geadas.....	15
3.9. Tolerância à geada.....	17
3.10. Danos por geada.....	20
3.11. Consequências da geada ao gênero <i>Eucalyptus</i> .....	22
3.12. Estimativas dos parâmetros genéticos .....	24
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
4.1. Material genético.....	29
4.2 - Experimentos .....	29

4.3. Delineamento experimental .....	32
4.3. Variáveis avaliadas.....	32
4.4. Estimativas dos parâmetros genéticos.....	34
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
5.1. Geadas nos testes de progênieis .....	39
5.2. Parâmetros genéticos.....	45
5.2.1. Análise Individual .....	45
5.2.2. Correlações genéticas e fenotípicas.....	57
5.2.3. Análise Conjunta .....	60
5.2.4. Ganho na seleção - Índice Multi-efeitos.....	62
5.2.5. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade.....	65
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>8. APÊNDICE .....</b>	<b>89</b>

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Caracterização dos locais de estudo. ....	30
Tabela 2. Escala de notas estabelecidas para avaliação de danos por geada em <i>Eucalyptus</i> . ....	32
Tabela 3. Percentagem de plantas bifurcadas aos 12 e 24 meses para as regiões edafoclimáticas do município de Itatinga/SP e Palma Sola/SC em teste de progênies de <i>E. urophylla</i> após à ocorrência de geada aos 12 meses. ....	43
Tabela 4. Estimativas dos componentes de variâncias para as características de crescimento em altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m <sup>3</sup> ) nas idades de 12 e 24 meses em teste de progênies de polinização aberta de <i>E. urophylla</i> para a localidade de Anhembi/SP (sem ocorrência de danos por geada) e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (com ocorrência de danos por geada). ....	46
Tabela 5. Estimativas dos componentes de variâncias para a avaliação de danos por geada (GE) e sobrevivência de plantas (SOB) aos 12 meses em teste de progênies de polinização aberta de <i>E. urophylla</i> para a localidade de Anhembi/SP (sem ocorrência de danos por geada) e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (com ocorrência de danos por geada). ....	47
Tabela 6. Estimativas dos parâmetros genéticos para as características de crescimento em altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m <sup>3</sup> ) nas idades de 12 e 24 meses para os testes de progênies de <i>E. urophylla</i> para a localidade de Anhembi/SP (sem ocorrência de danos por geada), e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (com ocorrência de danos por geada). ....	53
Tabela 7. Estimativas dos parâmetros genéticos para a avaliação de danos por geada (GE) e sobrevivência de plantas (SOB) aos 12 meses para os testes de progênies de <i>E. urophylla</i> para a localidade de Anhembi/SP (sem ocorrência de danos por geada), e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (com ocorrência de danos por geada). ....	54

Tabela 8. Estimativas dos parâmetros genéticos para as características de crescimento em altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m <sup>3</sup> ) nas idades de 12 e 24 meses para os testes de progênies de <i>E. urophylla</i> para a localidade de Anhembi/SP (sem ocorrência de danos por geadas), e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (com ocorrência de danos por geadas).....	55
Tabela 9. Estimativas dos parâmetros genéticos para a avaliação de danos por geadas (GE) e sobrevivência de plantas (SOB) aos de 12 meses para os testes de progênies de <i>E. urophylla</i> para a localidade de Anhembi/SP (sem ocorrência de danos por geadas), e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (com ocorrência de danos por geadas).....	56
Tabela 10. Correlações fenotípicas ( $r_f$ ) e genéticas aditivas ( $r_g$ ) entre altura de plantas (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m <sup>3</sup> ) para os três experimentos implantados (Anhembi: Local 1 (L1), Itatinga: Local 2 (L2) e Palma Sola: Local 3 (L3) nas idades de 12 e 24 meses. ....	58
Tabela 11. Análise de desviance para as características quantitativas de progênies de <i>E. urophylla</i> , para os três locais, aos 12* e 24 meses de idade.....	60
Tabela 12. Estimativas dos parâmetros genéticos para a análise conjunta das três regiões edafoclimáticas onde estão os testes de progênies de <i>E. urophylla</i> , avaliados aos 12 e 24 meses de idade, para as características altura de plantas (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m <sup>3</sup> ).....	62
Tabela 13. Seleção das progênies de <i>E. urophylla</i> aos 24 meses de idade utilizando o Índice de Multi-efeito (IME) com base na característica altura (ALT m) em três localidades. ....	64
Tabela 14. Seleção das melhores progênies de <i>E. urophylla</i> com base na altura de plantas (ALT m), em cada local de estudo, em todos os locais e com base na estabilidade genotípica	

(MHVG), adaptabilidade genotípica (PRVG) e simultaneamente por produtividade, estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) aos 24 meses de idade..... 66

Tabela 15. Seleção dos 30 melhores indivíduos de *E. urophylla* em três locais (Anhembi/SP, Itatinga/SP e Palma Sola/SC) para a característica altura de plantas (ALT m), com base nos efeitos aditivos (a), valores genéticos aditivos ( $u + a$ ), efeitos de dominância (d) e efeitos genotípicos totais (g), sem restrição do tamanho efetivo populacional ( $N_e$ )..... 69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição natural da espécie <i>E. urophylla</i> (MOURA, 2004). .....	11
Figura 2. Recomendação de material genético por fazenda/clima/solo (MORI; MORAES, 2010). .....	14
Figura 3. Geadas em <i>Eucalyptus</i> .....	16
Figura 4. Material genético de <i>Eucalyptus</i> tolerante (a) e susceptível (b) à geada. ....	18
Figura 5. Danos em <i>Eucalyptus</i> por geada: morte do ponteiro (a) e dos indivíduos (b). ....	21
Figura 6. Danos (a e b) provocados pelo efeito do fenômeno de geada em <i>Eucalyptus</i> . ....	23
Figura 7. Implantação do teste de progênies de polinização aberta de <i>E. urophylla</i> em Itatinga/SP na empresa Eucatex. ....	30
Figura 8. Médias de temperatura mínima, máxima e de precipitação com base em 30 anos de dados observados, para Anhembi/SP (Fonte: CLIMATEMPO, 2012). ....	31
Figura 9. Médias de temperatura mínima, máxima e de precipitação com base em 30 anos de dados observados, para Itatinga/SP (Fonte: CLIMATEMPO, 2012). ....	31
Figura 10. Médias de temperatura mínima, máxima e de precipitação com base em 30 anos de dados observados, para Palma Sola/SC (Fonte: CLIMATEMPO, 2012). ....	31
Figura 11. Planta não afetada .....	33
Figura 12. Planta pouco afetada. ....	33
Figura 13. Planta moderadamente afetada .....	33
Figura 14. Planta altamente afetada .....	33
Figura 15. Progênie tolerante à geada .....	39
Figura 16. Dano promovido na lâmina foliar de <i>Eucalyptus</i> devido à ocorrência por geada ....	40

Figura 17. Número de indivíduos avaliados para as três regiões edafoclimáticas de acordo com o seguinte critério de avaliação: 1 – Planta não afetada; 2 – Planta pouco afetada; 3 – Planta moderadamente afetada e 4 - Planta altamente afetada aos 12 meses .....	41
Figura 18. Morte do ponteiro apical em indivíduos dominados de <i>E. urophylla</i> em Palma Sola/SC.....	43
Figura 19. Danos promovidos pela ocorrência de geadas no teste de progênes de polinização aberta de <i>E. urophylla</i> em Palma Sola/SC. Copa deformada (a) e tortuosidade do fuste (b) ....	44
Figura 20. Média das correlações genéticas ( $r_g$ ) e fenotípicas ( $r_f$ ) para as características altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m <sup>3</sup> ) aos 12 meses. ....	59
Figura 21. Média das correlações genéticas ( $r_g$ ) e fenotípicas ( $r_f$ ) para as características altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m <sup>3</sup> ) aos 24 meses. ....	59
Figura 22. Indivíduos superiores de <i>E. urophylla</i> selecionados para tolerância à geada no município de Palma Sola/SC.....	70
Figura 23. Indivíduo superior de <i>E. urophylla</i> selecionado para tolerância à geada no município de Palma Sola/SC.....	71



## RESUMO

Os danos provocados pelas geadas severas em plantios de reflorestamentos de eucaliptos trazem prejuízos consideráveis para o setor florestal e agronegócio brasileiro. Essas perdas podem variar dependendo da intensidade da geada e da tolerância da espécie ao fenômeno. Na região sul do Brasil, a ocorrência de geadas é o principal fator que limita a produção de madeira do gênero eucaliptos, devido à inibição ou alterações de vários processos importantes no crescimento e desenvolvimento das plantas no período de inverno. Desta maneira, o objetivo da pesquisa foi estudar a variabilidade genética em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* para tolerância à geada em diferentes ambientes. Foram instalados três testes de progênies com material genético de *Eucalyptus urophylla*, todos em delineamento em blocos casualizados. Os testes foram implantados em áreas com histórico de observação de ocorrência de geada pertencentes às empresas Eucatex no município de Itatinga/SP e na Palmasola no município de Palma Sola/SC. O teste testemunha foi instalado na Estação Experimental de Anhembi/SP onde as geadas são raras. Os testes de progênies foram avaliados com: 150 progênies, quatro repetições, seis plantas por parcela, totalizando 3.600 plantas para cada um dos três experimentos. Foram realizadas as seguintes avaliações: a) medições de altura de plantas; b) diâmetro à altura do peito das plantas; c) volume de madeira; d) percentagem de bifurcação; e) sobrevivência de plantas e f) danos por geada. Os parâmetros genéticos foram estimados com base no procedimento REML/BLUP. Os resultados apontaram que a ocorrência de geada na região de Palma Sola/SC promoveram 36% de plantas bifurcadas e 22% de mortalidade, diferentemente das regiões de Itatinga/SP e Anhembi/SP. Foi verificada interação genótipos x ambientes para as progênies nas três regiões edafoclimáticas. A metodologia MHVG (estabilidade), PRVG (adaptabilidade) e

MHPRVG (produtividade, estabilidade e adaptabilidade) foi eficiente para seleção de genótipos produtivos e tolerantes à geada para a região de Itatinga/SP e Palma Sola/SC. A seleção dos melhores indivíduos para o estabelecimento de um pomar clonal (polinização controlada), podem gerar materiais genéticos potenciais para as regiões de Itatinga/SP e Palma Sola/SC para estudos mais detalhados com geada. A população de *E. urophylla* apresenta variabilidade genética permitindo ganhos em gerações futuras para todas as características estudadas.

**Palavras chaves:** teste de progênies; parâmetros genéticos; melhoramento florestal; geada.

**GENETIC VARIABILITY OF *Eucalyptus urophylla* OPEN-POLLINATED PROGENIES FOR COLD TOLERANCE.** Botucatu, 2013. 90 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CRISTIANO BUENO DE MORAES

Adviser: Prof. Dr. EDSON SEIZO MORI

Co-adviser: Prof. Dr. RINALDO CÉSAR DE PAULA

## **SUMMARY**

The damages caused by severe frosts on eucalypt plantings bring outstanding losses for Brazilian forest sector and agribusiness. Such losses may vary according to the frost intensity and the species tolerance. In the Southern Brazil, the occurrence of frosts is one of the main factor limiting the eucalypts wood production, due to inhibition or changes in several important processes to the plants growth and its development during the winter. Therefore, the objective of this research was to study the genetic variability of open-pollinated progenies of *Eucalyptus urophylla* for frost tolerance in different environments. We set up three progenies trials of *Eucalyptus urophylla* using the statistical design of randomized blocks. The trials were set up on areas with historic of frost occurrence belonging to Eucatex company in Itatinga municipality/SP and in Palmasola company in Palma Sola municipality/SC, both in Brazil. The control trial was set up in Anhembi Experimental Station in Anhembi/SP-Brazil with rare occurrence of frosts. The progenies trials were with 150 progenies, four replications, six plants per plot, totalizing 3.600 plants per trial. The following evaluations were performed with measurements of: a) plants height; b) diameter of breast height; c) wood volume; d) percentage of bifurcation, e) plants survival, and f) frost damage. The quantitative genetic parameters were estimated by REML/BLUP. The results showed that the occurrence of frosts in Palma Sola/SC promoted 36% of forked plants and 22% of mortality, different from Itatinga/SP and Anhembi/SP. There were genotype x environment interactions for progenies in those three climate regions. The methodology of MHVG (stability), PRVG (adaptability), and MHPRVG (productivity, stability and adaptability) was efficient for selection of productivity and frost-tolerant genotypes for Itatinga/SP and Palma Sola/SC regions, Brazil. The selection of the best individuals to set up a clonal orchard (for controlled pollination), can generate potential genetic materials to Itatinga/SP and Palma

Sola/SC for more detailed studies of frost. The *E. urophylla* population presented genetic variability, allowing gains in future generations for all the studied traits.

**Key words:** progenies trial; genetic parameters; forest tree improvement; frost.

## 1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro. O país encontra-se entre os principais produtores de madeira de *Eucalyptus* do mundo, com média de produtividade entre 45 a 50m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo que em alguns casos atingem 55m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, principalmente devido a utilização de genótipos adaptados as diferentes condições de clima que existem no país (FOELKEL, 2007).

Entre os fatores que limitam a produção de madeira e prejudicam a formação de reflorestamentos homogêneos de *Eucalyptus* na região sul do Brasil, e em outras regiões do mundo, destaca-se à ocorrência de geadas (HIGA et al., 1994; SILVA et al., 2009; CARON et al., 2011; ELOY et al., 2013). Nesta situação, os danos à espécie vão desde queda das folhas, morte do ponteiro apical ou até morte dos indivíduos pelo frio intenso (FERRAZ; COUTINHO, 1984; LISBÃO JÚNIOR, 1986; TIBBITS; REID, 1987a; HIGA et al., 1997; HIGA et al., 2000; LARCHER, 2000; TIBBITS; HODGE, 2003; ALVAREZ et al., 2011; PITZ FLORIANI et al., 2013).

A geada afeta o metabolismo dos vegetais alterando a produção e a atividade de enzimas importantes no estabelecimento e sobrevivência dos indivíduos ao estresse provocado pelo evento (TIBBITS; REID, 1987b; HIGA, 1989; CHEN; MURATA, 2002; KEREPESEI et al., 2004; PITZ FLORIANI et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Desta forma, a seleção de progênies e indivíduos superiores em populações de *Eucalyptus* com moderada a elevada variabilidade genética, implantados na forma de testes de progênies em condições propícias às geadas (TIBBITS et al., 2006) é

imprescindível para o estabelecimento de futuros programas de melhoramento genético para estas condições edafoclimáticas (LIMA; ANDRADE, 2009; PIRES et al., 2011).

Contudo, pesquisas a respeito de tolerância à geada para espécies tropicais, como o *Eucalyptus urophylla* são escassas além de não se ter conhecimento da variabilidade genética da espécie para regiões com ocorrência às geadas. Portanto, como hipótese deste trabalho, sustenta-se na existência de variabilidade genética para tolerância à geada em populações de *Eucalyptus urophylla*, pois apesar da espécie se distribuir em latitude tropical, e também ocorrer em grandes altitudes (PRYOR; JONHSON, 1971) no seu centro de origem.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Estudar a variabilidade genética para tolerância à geada em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla*, em diferentes ambientes.

### **2.2. Objetivos específicos**

- a) determinar as alterações morfológicas das progênies submetidas à geada em condições de campo;
- b) estimar os parâmetros genéticos quantitativos das progênies sob o efeito à geada;
- c) determinar a interação genótipos x ambientes para as progênies nos vários locais de estudo;
- d) selecionar material genético de *E. urophylla* em teste de progênies para regiões de ocorrências às geadas.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Melhoramento florestal**

O melhoramento genético de plantas é considerado uma das atividades continua mais antiga realizada pelo homem (HALLAUER, 2011), que tem como princípios básicos os conhecimentos de genética e estatística. Na área florestal é importante para a manutenção e o aumento da produtividade de madeira de forma sustentável e ecologicamente adequada, suprindo as necessidades de matéria prima para a produção de manufaturados a base de madeira para a sociedade atual.

Para Pires et al. (2011) o melhoramento é a aplicação de técnicas de seleção e recombinação gênica (meiose), com vista ao aumento e a alteração da frequência de alelos favoráveis para características de interesse, em uma determinada população.

A eficiência do melhoramento florestal depende essencialmente do conhecimento prévio do melhorista sobre a espécie de trabalho, e dos mecanismos genéticos envolvidos na herança da característica que se deseja melhorar (RESENDE, 2002). A escolha da estratégia e dos métodos de seleção para o estabelecimento do programa de melhoramento genético é outro ponto essencial para o desenvolvimento de uma nova progênie superior ou clone comercial, permitindo o estabelecimento de povoamentos mais produtivos e homogêneos.

De acordo com Zobel e Talbert (1994), o melhoramento florestal deve: a) determinar as espécies ou fontes geográficas dentro de uma espécie que possam ser usadas em uma área; b) determinar as causas, a quantidade e a natureza da variabilidade

dentro das espécies; c) produzir árvores que reúnam as combinações de características desejadas; d) produzir materiais melhorados para fins de reflorestamento e e) desenvolver e manter uma população base suficientemente adequada (alta variabilidade genética) para garantir o avanço das próximas gerações.

O melhoramento florestal brasileiro tem desempenhado papel importante no aumento da competitividade do setor florestal, sobretudo por seus reflexos positivos no aumento da produtividade e da qualidade da matéria prima (ASSIS; RESENDE, 2011).

### **3.2. Variabilidade genética**

A variabilidade genética é um dos princípios da vida, o reino vegetal, com sua complexidade, não teria se desenvolvido na sua ausência. Ela é definida como a capacidade de uma população ou espécie apresentar diferentes fenótipos, e estas diferenças podem ser devidos às condições ambientais ou genéticas (DARWIN, 1859).

Estudos mostram (LEITE et al., 1973; TIBBITS et al., 2006; MORAES et al., 2011) que existe variabilidade genética nas espécies e procedências do gênero *Eucalyptus* tropicais e subtropicais para diferentes condições edafoclimáticas (PRYOR, 1957; AWE; SHEPHARD, 1975; VOLKER et al., 1994).

Silva (2008) avaliando 32 progênies de *E. benthamii* para utilização em programas de melhoramento para produção de madeira serrada em áreas de ocorrência às geadas severas, observou variabilidade genética para as características de crescimento para a espécie estudada.

Segundo Mori (2007) para modificar ou aumentar a variabilidade em uma população pode-se introduzir novas amostras de sementes ou pólenes (células germinativa masculina dos vegetais, presentes nas anteras) dos centros de origem ou de bancos de germoplasma da espécie de interesse. Isto possibilita aos especialistas da área de melhoramento florestal introduzir características importantes inexistentes, como por exemplo: genes que possam conferir resistência à novas pragas e doenças e tolerância à estresse ao frio ou seca.

### 3.3. O Gênero

O *Eucalyptus* é um dos gêneros mais plantados no mundo, contando atualmente com aproximadamente 900 espécies (BROOKER; KLEINING, 2006). A maioria das espécies do gênero tem como centro de origem a Austrália, sendo introduzido no Brasil no início do século XIX como árvores ornamentais, e posteriormente para produção de matéria prima para o setor madeireiro. O primeiro plantio comercial com eucalipto que se tem registro no país foi realizado em 1904 (MARTINI, 2004; WILCKEN et al., 2008) por Edmundo Navarro de Andrade à Companhia Paulista de Estradas de Ferro.

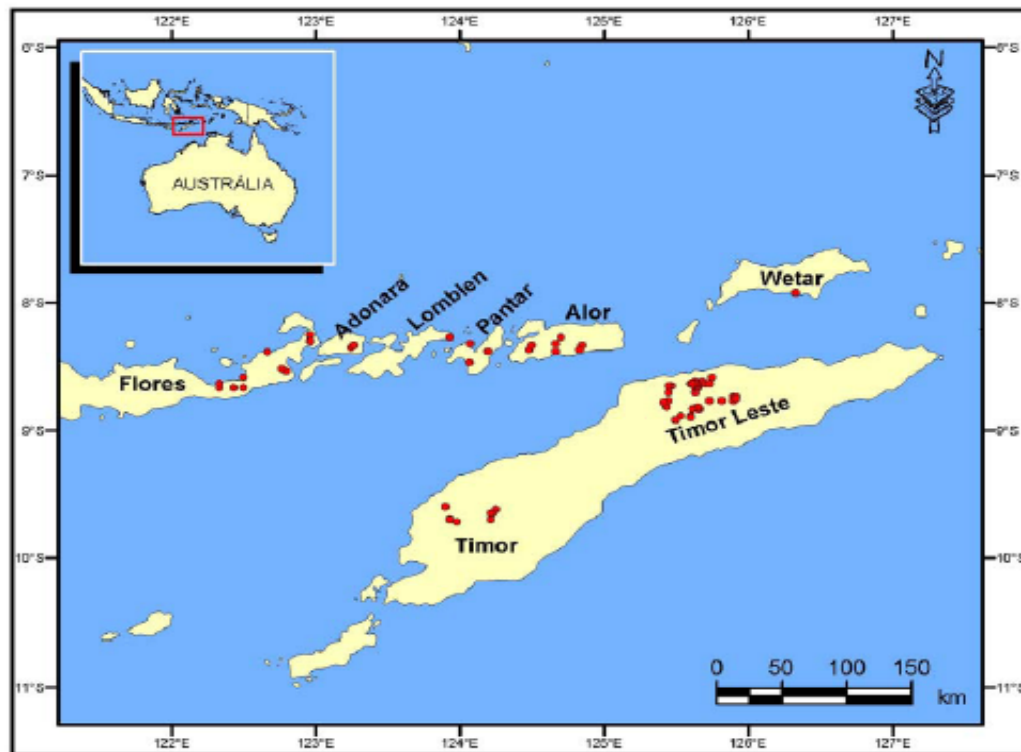
O gênero pertence à família das Myrtaceae, subfamília Leptospermoideae e subgênero Symphyomyrtus. Este subgênero é o grupo que apresenta a maior parte das espécies plantadas no mundo, com nove seções, das quais três contém praticamente todas as espécies mais cultivadas: Seção Transversaria: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. pellita*; Seção Exsertaria: *E. camaldulensis*, *E. exserta* e *E. tereticornis* e Seção Maidenaria: *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. smithii* e *E. nitens* (PRYOR, 1976; ELDRIDGE et al., 1994).

Silva et al. (2009) relataram que algumas espécies de *Eucalyptus* (*E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. dunnii*, os híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. benthamii* x *E. dunnii*) apresentaram tolerância ao resfriamento e ao congelamento até a temperatura de -4 °C.

### 3.4. A espécie

O *Eucalyptus urophylla* é uma das poucas espécies que não ocorrem na Austrália. Sua área de ocorrência situa-se em Timor, Flores e outras ilhas do arquipélago indonésio (Figura 1), que se encontram entre as latitudes de 7° 30' a 10°S e altitudes entre 500 e 3.000 m (PRYOR; JONHSON, 1971; MOURA, 2004).

A precipitação pluviométrica média anual da região é de aproximadamente 1.000 a 1.500 mm, concentrada no verão, com ocorrência de geadas em alguns dias do ano nas áreas de maior altitude.



**Figura 1.** Distribuição natural da espécie *E. urophylla* (MOURA, 2004).

A primeira vez que se teve relato da espécie *E. urophylla* no Brasil foi no ano de 1919 por Edmundo Navarro de Andrade, com o nome de *Eucalyptus alba*. A partir de 1970, a espécie foi introduzida no país, com o objetivo principal de substituir a espécie *Eucalyptus grandis* do patógeno *Cryphonectria cubensis* (causador do cancro), que colocava em risco os reflorestamentos das regiões costeiras dos Estados do Espírito Santo e Bahia (MORA; GARCIA, 2000; ROCHA et al., 2006).

De acordo com Mori et al. (1988) o *E. urophylla* apresenta boa produção de madeira e grande potencial para diversas regiões edafoclimáticas do Brasil. Possui resistência ao ataque do cancro (*C. cubensis*), muito comum em condições ambientais de climas tropicais. Vários pesquisadores da área de genética florestal relataram que a espécie *E. urophylla* (SANTOS et al., 1990; FONSECA et al., 2010; SOUZA et al., 2011; HENRIQUES, 2012; PUPIN et al., 2013) é uma das mais importantes para a silvicultura brasileira e mundial para os programas de melhoramento florestal, devido a sua

importante participação na formação de híbridos interespecíficos com alta produtividade (SILVA et al., 2012).

### **3.5. Teste de progênies**

Os testes de progênies de polinização aberta (livre) ou controlada (artificial) são instalados em delineamento estatístico com a finalidade de avaliar o desempenho dos genitores femininos e masculinos permitindo afirmar com confiança, que determinados indivíduos são superiores aos demais.

Segundo Allard (1971) o teste de progênies serve para verificar o valor de um genótipo baseado no comportamento de sua descendência, produzida segundo um sistema definido de reprodução.

Para Zobel e Talbert (1984) os testes de progênies são realizados quando se deseja verificar a superioridade que visualmente certo indivíduo apresenta (fenótipo superior). Pelo teste de progênies, é possível saber se determinado indivíduo aparentemente superior é devido à sua constituição genética ou se é devido a uma condição ambiental favorável.

Nos programas de melhoramento, os testes de progênies têm como objetivos principais: a conservação genética de populações, determinação da estrutura genética de populações, recombinação dos melhores indivíduos para a produção de sementes e a determinação do valor genético das árvores superiores selecionadas (ASSIS, 1996; RESENDE, 2007a; MORAES et al., 2012).

Segundo Kageyama (1980) os testes de progênies são utilizados para seleção de indivíduos superiores e principalmente como fonte de produção de sementes, mediante a transformação do teste em pomar de semente (SHIMIZU et al., 1982; SAMPAIO et al., 2002).

Os testes de progênies são partes integrantes do programa e da estratégia de melhoramento genético, reunindo grupos de diferentes entidades genéticas (progênies ou clones) na forma experimental, instalado em uma ou mais condições edafoclimáticas, possibilitando entender melhor a interação genótipos x ambientes (MORI et al., 1986; RESENDE et al., 1996; VARGAS-REEVE et al., 2013).

### 3.6. Interação genótipos x ambientes

A interação entre genótipos e ambientes pode ser definida como o comportamento (fisiológico e bioquímico) de determinado genótipo em resposta às diferentes condições edafoclimáticas de uma região.

Dentre as muitas definições de interação genótipos x ambientes, podemos resumi-las a uma implicação prática em que a melhor população, clone, progênie ou indivíduo em uma região, não necessariamente é melhor para outras regiões (MORI et al., 1988; MATHESON; COTTERILL, 1990; PIRES et al., 2011; MIRANDA, 2012; NOVAES et al., 2013; AOZANI et al., 2013).

Segundo Kageyama (1980) um mesmo genótipo tem respostas diferentes de acordo com o ambiente em que se encontra, e esta resposta diferencial dos efeitos genotípicos e ambientais no desenvolvimento dos organismos, possibilita a estimativa dos parâmetros genéticos conhecidos como interação genótipos x ambientes.

Segundo Cruz e Regazzi (1997) a avaliação da interação genótipos x ambientes torna-se de grande importância no melhoramento, pois, no caso de sua existência, há possibilidades de o melhor genótipo em um ambiente não o ser em outro. Este fato influencia o ganho de seleção e dificulta a recomendação de cultivar com ampla adaptabilidade (WRIGTH, 1976).

Para Mori et al. (1986) a produtividade dos reflorestamentos estão diretamente relacionadas ao potencial do material genético utilizado, e, quando bem adaptado às condições edafoclimáticas da região sua produtividade poderá ser otimizada.

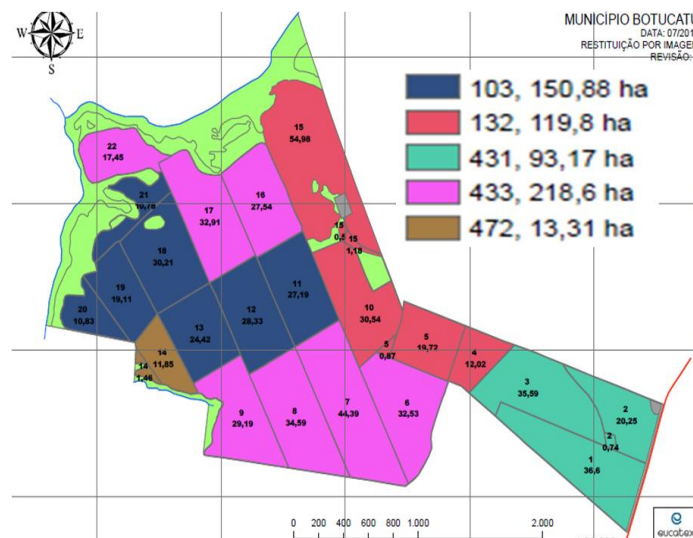
Segundo Burdon (1977) os fatores ambientais que podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas são extremamente amplos. Dentre eles, os mais comuns causadores da interação (G x E) são os seguintes: fotoperíodo, tipo de solo, fertilidade do solo; práticas culturais, distribuição pluviométrica, umidade relativa do ar, temperatura atmosférica e do solo, patógenos e insetos (BORÉM; MIRANDA, 2009).

De acordo com Eberhart e Russel (1966) a resposta diferenciada dos genótipos nos vários ambientes é conhecida como interação genótipos x ambientes, e é um fenômeno natural que faz parte da evolução das espécies vegetais. Os seus efeitos permitem o aparecimento de genótipos estáveis ou aptos a um ambiente específico.

### 3.7. Produtividade, adaptabilidade e estabilidade

Uma das atividades mais importante de um melhorista é a recomendação de material genético para as diferentes regiões de plantio. A recomendação de materiais genéticos superiores para estado/fazenda/solo/clima (Figura 2) em reflorestamentos de grande escala é uma das principais etapas de um programa de melhoramento genético florestal (MORI; MORAES, 2010).

Para auxiliar no trabalho de recomendação, o melhorista conduz testes experimentais (testes de progênies) em diferentes condições edafoclimáticas, buscando identificar materiais genéticos com maior produtividade, adaptabilidade e estabilidade possível diante da grande diversidade ambiental existente. Para atingir este objetivo, deve-se escolher uma metodologia apropriada para seleção, para tornar este processo o mais adequado possível, otimizando o desempenho do material genético utilizado (PINTO JÚNIOR et al., 2006; MIRANDA, 2012; COSTA et al., 2013; SOUZA et al., 2013).



**Figura 2.** Recomendação de material genético por fazenda/clima/solo (MORI; MORAES, 2010).

Um método utilizado que pode contribuir para seleção e classificação dos genótipos através de características de produtividade, adaptabilidade e estabilidade é o método da Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG).

Segundo Resende (2007b) o método MHPRVG, preditos por BLUP é uma metodologia estatística de fácil interpretação e com seleção simultânea para: produtividade, estabilidade e adaptabilidade.

O método MHPRVG conduz a resultados semelhantes a outras metodologias, como por exemplo, aos métodos descritos por Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992). Em estudos com espécies perenes Pinto Junior et al., 2006, Maia et al., 2009, Verardi et al., 2009; Miranda, 2012, mostraram que a metodologia MHPRVG é vantajosa, por ponderar a informação por progênie e indivíduo, além de propiciar uma seleção otimizada de indivíduos, levando em conta a adaptabilidade, estabilidade e produtividade média das progênies estudadas.

Segundo Borém e Miranda (2009) adaptabilidade de um genótipo refere-se à sua capacidade de aproveitar vantajosamente as variações do ambiente. Já a estabilidade refere-se à sua capacidade de apresentar-se altamente previsível mesmo com as variações ambientes.

De acordo com Lavoranti (2003) a estabilidade é a capacidade de um genótipo exibir um desempenho o mais constante possível, em função de variações na qualidade ambiental. Assim, as respostas diferenciadas dos genótipos às diferentes condições do ambiente, reforçam a importância de estudos dessa natureza que aliados à necessidade de alta produtividade e à qualidade dos materiais genéticos nos vários ambientes, tornam-se umas das principais estratégias dos programas de melhoramento florestais.

### **3.8. Geadas**

De acordo com os profissionais de agrárias, as geadas são um fenômeno atmosférico que provoca a morte dos vegetais ou de suas partes (folhas, ramos, caule, botões florais, flores e frutos), devido à ocorrência de baixas temperaturas que acarretam o congelamento das soluções extracelular das células vegetais. Isto acontece devido ao desequilíbrio do potencial químico da água na solução intracelular em relação à solução extracelular, o que gera um fluxo contínuo da solução intra para extracelular causando a morte do tecido celular.

Em todo o globo terrestre, 75% da área continental estão sujeitas à ocorrência de geadas (SAKAI; LARCHER, 1987).

Dentre os fatores que se pode destacar que estão ligados diretamente ou indiretamente com à ocorrência de geadas (Figura 3), estão os processos de perda de calor da superfície terrestre para a atmosfera: reflexão, convecção, condução, radiação e evaporação (SMITH, 1986).



**Figura 3.** Geada em *Eucalyptus*.

Nestes fenômenos naturais, as condições atmosféricas possuem um papel muito importante, podendo frear ou acelerar a radiação solar (QUERALTO, 1971; IPCC, 2007; BOOTH, 2013). Caso a atmosfera apresente-se nublada ou com umidade relativa elevada, as pequenas partículas em suspensão atuam como barreira que refletem de volta ao solo grande parte da energia que a terra perde por radiação, sendo que nestas condições a perda de calor é menor, enquanto que no inverno, quando os dias são curtos e as noites longas a perda é maior.

Segundo Massignam e Dittrich (1998) o grau de nebulosidade, a velocidade do vento, o grau de exposição, a densidade de ar frio, o poder emissivo dos diversos corpos e a condutividade calorífica, também influenciam na ocorrência às geadas.

As geadas nunca ocorrem na presença de apenas um desses fatores, e sim na combinação de todos, em maior ou menor grau. Outro fator importante na formação das geadas são as correntes locais de convecção, que é consequência, sobretudo, do tipo e da configuração do terreno. Durante a noite o ar dissipa calor através da radiação,

aumentando sua densidade e acumulando nos lugares mais baixos dos terrenos, produzindo perdas de calor muito acentuadas e, por consequência, geadas (QUERALTO, 1971).

A geada de radiação forma-se logo após a passagem das frentes frias e sob condições de céu limpo e ausência de ventos. Durante as noites frias ocorre perda de calor por radiação das superfícies expostas e da camada de ar mais próxima ao solo, que se resfria por condução (MASSIGNAM; DITTRICH, 1998).

Em uma geada de radiação, a temperatura da planta se iguala a do ambiente num curto período de tempo. Apenas as partes maiores das plantas (caule e galhos), contendo grandes quantidades de água, perdem calor em menor velocidade (SAKAI; LARCHER, 1987). A troca de calor com o ambiente (ar) através do fenômeno de convecção é mais efetiva quanto menor e mais subdividido for o aparelho fotossintético das plantas, as folhas (LARCHER, 1975).

A velocidade do vento também influencia de forma positiva na perda de calor dos vegetais. Já no solo, a queda de temperatura abaixo de 0 °C é bastante lenta e só ocorre se as baixas temperaturas persistirem por um longo período de tempo. Nesse caso a velocidade de congelamento e a profundidade atingida no solo, dependem da cobertura, do teor de umidade e do tipo de solo. Solos descobertos, assim como solos mais secos congelam mais rápido que solos úmidos (SAKAI; LARCHER, 1987).

De acordo com Bootsma (1980) durante noites típicas de ocorrência de geadas de radiação, é comum observarem-se diferenças de temperatura da ordem de 5 °C ou mais entre a superfície do solo e o abrigo termométrico, instalado a 1,5 m de altura, o que demonstra a grande amplitude de variação térmica em diferentes alturas.

### **3.9. Tolerância à geada**

As espécies florestais de regiões tropicais não devem ser recomendadas para plantio em locais de frio rigoroso, pois não desenvolvem mecanismos de tolerância para suportar o frio (Figura 4), não aclimatam, perdem a aclimação muito rapidamente, ou morrem quando expostas a temperaturas próximas ao congelamento (KRAMER; KOSLOWSKI, 1979).

Já as espécies florestais de regiões de clima temperado, desenvolvem tolerância ao frio em consequência direta da queda na temperatura. A tolerância, neste caso, é consequência de um aumento nas reservas de carboidratos,

lipídeos e algumas enzimas que controlam o ponto de congelamento das substâncias internas das células vegetais (KOZLOWSKI et al., 1991; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Gonçalves (2009) um mecanismo de tolerância presente no gênero é a proteção para evitar a formação de gelo nos tecidos, definindo a capacidade de tolerância e de sobrevivência de um vegetal ao clima frio. A tolerância pode ser uma característica genética que os vegetais possuem, bem como pode ser característica induzida por modificações ambientais que antecedem as primeiras geadas (BECK et al., 2004).



**Figura 4.** Material genético de *Eucalyptus* tolerante (a) e susceptível (b) à geada.

Pode-se classificar a capacidade dos vegetais tolerar baixas temperaturas em três diferentes grupos: **a)** sensíveis a temperaturas baixas: danos ocorrem mesmo em temperaturas acima do ponto de congelamento. Enquadram-se nesse grupo plantas da floresta tropical; **b)** sensíveis ao congelamento: toleram temperaturas baixas, próximas ao congelamento. Os danos ocorrem assim que os cristais de gelo começam a se

formar. A proteção, nesse caso, ocorre por meio de mecanismos que postergam o congelamento e **c**) tolerantes ao congelamento: sobrevivem ao congelamento extracelular. Um grande número de espécies arbóreas consegue sobreviver frios extremos.

O desenvolvimento da tolerância à geadas, ocorre devido às mudanças na atividade enzimática e na concentração de açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos e lipídeos. A hidratação dos tecidos é reduzida enquanto que a permeabilidade das membranas aumenta. Observam-se essas mudanças em conjunto ou isoladamente (SAKAI; LARCHER, 1987; AGRAWAL et al., 2004).

É inevitável que com a alteração de temperatura do ambiente, mudanças bioquímicas ocorram em plantas expostas. Com a queda da temperatura as principais alterações no vegetal são: 1) modificações de processos enzimáticos; 2) diminuição parcial ou total do crescimento, resultando em menor utilização de carboidratos solúveis e compostos de nitrogênio e, 3) a menor taxa de respiração também acarreta menor necessidade de carboidratos solúveis. Por esses motivos, não é de se surpreender que açúcares e proteínas solúveis acumulem em plantas desenvolvendo tolerância ao frio. Esse acúmulo pode ou não estar relacionado com o aumento da tolerância, mesmo sabendo-se que esses dois processos estão intimamente correlacionados (KOZLOWSKI et al., 1991).

Em um vegetal, suas diferentes partes: sistema radicular, caule, galhos e as folhas respondem diferentemente ao frio. O sistema radicular é exposto às temperaturas amenas, devido à barreira isolante promovida pelo sistema edáfico. Já o aparelho fotossintético (folhas) e o caule são expostos as temperaturas extremas. Desta forma, as raízes são muito mais suscetíveis a danos que o caule e as folhas. Assim como as gemas apicais que desenvolvem geralmente menor tolerância ao frio que as gemas laterais (BOWERS, 1994).

Outro ponto importante é o desenvolvimento vegetativo alcançado pelas plantas, sendo este um fator que afeta a suscetibilidade das plantas às geadas. As temperaturas mais baixas ocorrem próximas ao solo, portanto, os gêneros, as espécies de plantas com desenvolvimento lento ou prejudicado estão mais expostas ao frio e sofrem danos maiores (GLERUM, 1976; PATON, 1982; HIGA et al., 1997).

A lignificação dos tecidos vegetais é outro mecanismo utilizado pelos vegetais para aumentar a tolerância ao frio. Então, quanto mais lignificadas as

células, menor o risco de danos aos sistemas condutores (sistema vascular: xilema e floema), aumentando a tolerância ao frio.

Conforme Paton (1981) a variação na temperatura e no período de exposição do vegetal ao frio é outro fator muito importante. As plantas que foram expostas a uma temperatura de 2 °C por dois dias, resistiram a uma temperatura de -6,5 °C que em outras condições seria letal. Com o aumento o período de exposição à temperatura de 2 °C observou-se maior tolerância.

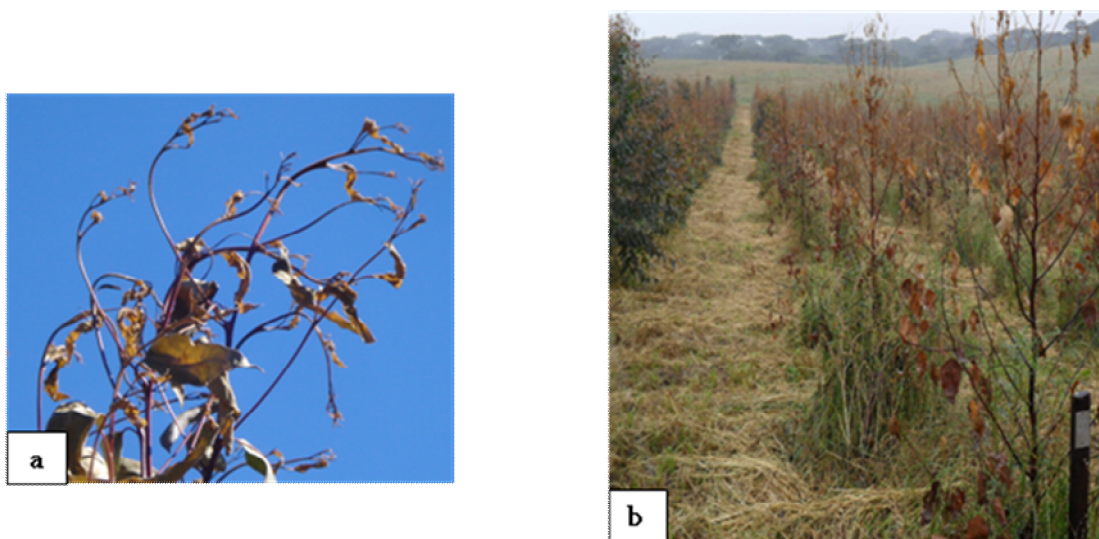
### **3.10. Danos por geada**

A geada pode promover diferentes tipos de danos aos vegetais (Figura 5). Segundo Sakai e Larcher (1987), os principais danos são: descoloração e roxeamento das folhas, morte de tecidos apicais, rupturas das células vegetais associadas ao efeito mecânico do congelamento.

Em algumas espécies vegetais de regiões tropicais e subtropicais os danos com o frio podem ser causados por qualquer temperatura baixa, porém, não suficientemente baixa para congelar os tecidos vegetais dos indivíduos, nos quais há formação de gelo (BOWERS, 1994).

De acordo com Kozlowski et al. (1991), em decorrência da perda de calor pelo vegetal, observa-se diminuição do processo fotossintético, suscetibilidade a organismos patogênicos, menor desenvolvimento e crescimento e, em casos extremos, a morte dos ponteiros apicais e até a morte do indivíduo. Esses danos ocorrem geralmente em noites de céu limpo, seguidos por dias ensolarados, atingindo principalmente reflorestamentos jovens.

Os danos em decorrência de períodos com baixas temperaturas dependem não somente da temperatura mínima atingida, mas do intervalo de período. Períodos prolongados de temperaturas moderadamente frias, por exemplo, podem causar mais danos que um período menor de temperaturas consideravelmente mais baixas (BOWERS, 1994).



**Figura 5.** Danos em *Eucalyptus* por geada: morte do ponteiro (a) e dos indivíduos (b).

De acordo com a FAO (1979), ventos fortes durante um período de temperaturas baixas podem causar danos ainda mais intensos. Larcher (1975) confirma que a influência do vento é negativa, e que sua presença acelera a transpiração das plantas, removendo o calor das folhas, podendo torná-las alguns graus menores que o ar.

Outra causa frequente de danos severos é a queda repentina de temperatura. Segundo FAO (1979), em casos extremos, a temperatura pode baixar 20 °C em apenas 12 horas. A época do ano em que as geadas ocorrem também influencia. Geadas esporádicas são normalmente mais danosas (LARCHER, 1975), porque embora as temperaturas raramente sejam muito baixas, elas atingem as plantas com pouca ou nenhuma rustificação (HIGA, 1998).

Desta forma, as geadas de outono e primavera são as mais prejudiciais. Bowers (1994) explica este fato afirmando que, na primavera, quando a temperatura começa a aumentar, a planta volta a crescer normalmente e, caso ocorra uma queda brusca de temperatura ou geada tardia, haverá certamente danos, e se agrava com a sua repetição.

A formação de gelo nos espaços intercelulares e nas paredes celulares normalmente não é fatal. Por outro lado quando o gelo se forma dentro das células, sendo este processo mais comum, está associado à ruptura mecânica da membrana celular e morte das plantas (KOZLOWSKI et al., 1991; BOWERS, 1994).

Os prejuízos do inverno são geralmente determinados pelo congelamento, embora sejam algumas vezes originados pela dessecação dos tecidos (KOZLOWSKI; KRAMER, 1972).

Os danos decorrentes do congelamento são observados nas plantas através do efeito mecânico do congelamento, má formação resultante das injúrias aos tecidos meristemáticos e diferenciação incompleta dos tecidos (LARCHER, 1980; SAKAI; LARCHER, 1987). Enquanto que os danos mais graves normalmente ocorrem quando as reservas de fotossintetizados são baixas, possivelmente pelo baixo potencial osmótico (TRESHOW, 1970).

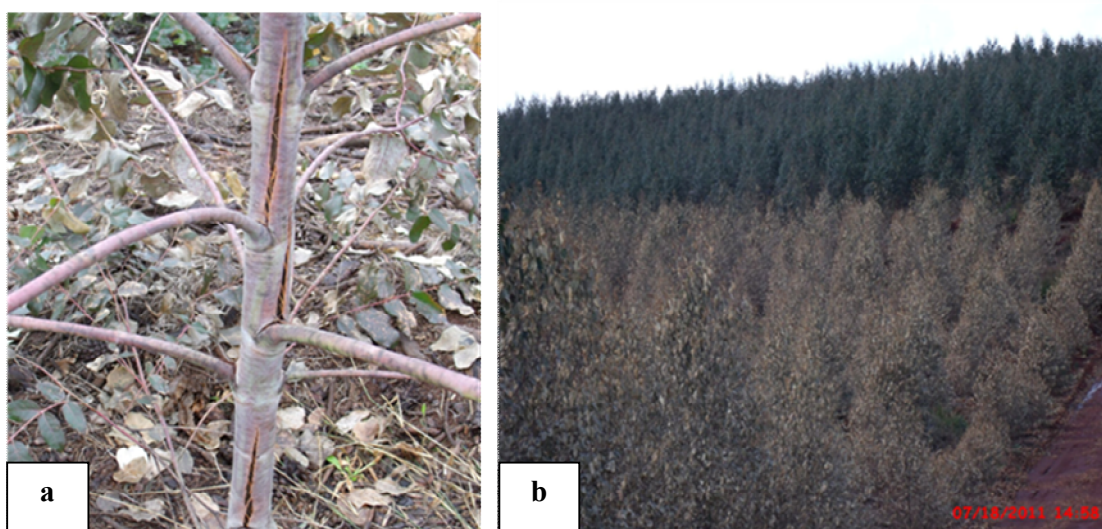
O rompimento na casca das plantas em decorrência do frio pode também ser observado, pois a madeira tende a encolher mais tangencialmente que radialmente durante o congelamento. Além das grandes diferenças nas temperaturas observadas do lado sombreado do tronco e do exposto ao sol. A radiação direta seguida de sombreamento com nuvens é o fator responsável pela grande e rápida diferença de temperaturas, causando sérios danos (BOWERS, 1994). Os tecidos finos e suculentos de plantas jovens são muito mais sensíveis ao frio que tecidos mais velhos. Há, porém, uma variação muito grande entre as espécies (TRESHOW, 1970).

Os sintomas visuais das folhas afetadas pelo frio não aparecem durante a exposição das folhas a perda de calor. Somente com o aumento da temperatura, entre 15 e 25 °C, os primeiros danos surgem. Trata-se, portanto, de reações dependentes da temperatura, cuja velocidade é muito baixa no frio, acelerando com o aumento da temperatura (BOWERS, 1994).

Segundo Balmelli (1993) uma consequência das geadas é a formação de indivíduos bifurcados ou ramificados, resultado da morte dos ponteiros vegetativos e da brotação das gemas axiais. A porcentagem de plantas com estas características e uma forma indireta de se avaliar a tolerância ao frio.

### **3.11. Consequências da geada ao gênero *Eucalyptus***

Em eucaliptos, as geadas causam a morte de brotações, trincas no tronco e morte dos indivíduos (Figura 6), onde posteriormente ocorrem à entrada de microorganismos, especialmente fungos patogênicos. Em seguida, com a reação da árvore, têm-se cancrios típicos no tronco injuriado (MORAES et al., 2011).



**Figura 6.** Danos (a e b) provocados pelo efeito do fenômeno de geada em *Eucalyptus*.

Além dos danos diretos, como morte total ou parcial da copa e até a morte da planta, os danos indiretos, mais frequentes podem não apenas restringir o potencial de crescimento das plantas, mas também inviabilizar a formação de povoamentos comerciais (HIGA, 1989).

Higa et al. (1997) observaram que as espécies *E. dunnii* e *E. camaldulensis* apresentaram sobrevivência superior a 70%, mas 27% das árvores remanescentes apresentaram bifurcações, mostrando que foram danificadas pelas geadas nos primeiros anos após o plantio.

Higa (1998) observou que plantas de *E. dunnii* apresentaram baixa mortalidade decorrente de geadas nos três primeiros anos de plantio. Porém, uma característica muito importante verificada em grande número de plantas após a ocorrência de geadas é a emissão de brotos laterais, consequência da morte da gema apical que pode provocar deformações no fuste ou bifurcações. Em qualquer um dos casos, mesmo que o crescimento não seja afetado, a qualidade da madeira pode ser prejudicada pela ocorrência de madeira morta inclusa ou pelo favorecimento da entrada de pragas e/ou doenças.

Ferraz e Coutinho (1984), trabalhando com um povoamento da espécie *E. saligna* com 9 anos de idade, concluíram que após uma geada, 48% das árvores tiveram a madeira danificada. Outra constatação é que árvores com DAP inferior a 4 cm

sofreram danos irreparáveis apresentando lenho apodrecido em 80% dos indivíduos. Enquanto que árvores com DAP igual ou maior a 9 cm, praticamente não foram afetadas. Sendo assim, árvores dominadas sofrem maiores danos em relação às dominantes.

Floss et al. (1997), estudando um teste de procedências de progênies de um povoamento com 10 meses de idade de *E. viminalis* no município de Chapecó/SC, observaram que 36% das plantas foram danificadas pelas geadas.

Higa et al. (1997), analisaram 20 diferentes espécies de *Eucalyptus*, e a espécie *E. dunnii* foi classificada no grupo que apresentou maior crescimento, com volumes superiores a 500 estéreos/ha com casca, aos 9 anos de idade. Deste grupo, *E. dunnii* foi, aparentemente, a espécie mais danificada pelas geadas (26% das plantas bifurcadas), em comparação com as outras (em torno de 10%). No entanto, *E. dunnii* apresentou a melhor capacidade de recuperação do crescimento igualando-se a *E. macarthurii* e *E. viminalis* aos 9 anos.

Para a avaliação de danos causados por geadas, Lisbão Junior (1986), recomenda uma classificação detalhada, com cinco níveis distintos de classificação, por serem estatisticamente preferíveis a métodos com apenas dois níveis, que podem apresentar equivalência de interpretações.

### **3.12. Estimativas dos parâmetros genéticos**

A seleção de material genético para compor os reflorestamentos com características importantes para produção de madeira para papel e celulose, serraria, carvão vegetal, laminação, chapas de fibras e compensados não é uma tarefa fácil. A obtenção destas árvores melhoradas que satisfaçam as exigências tanto de produtividade e qualidade da madeira é dependente da habilidade do melhorista em identificar estes genótipos na população em estudo.

Uma ferramenta que os especialistas da área de genética florestal utilizam para facilitar o trabalho de seleção de árvores são os programas estatísticos para selecionar as melhores progênies e indivíduos (CRUZ, 2001; RESENDE, 2006; RESENDE, 2007b), através dos cálculos das estimativas dos parâmetros genéticos, freqüentes em estudos com testes de progênies (MORAES, 2007; MORAES et al., 2008; MORAES et al., 2011; FREITAS et al., 2013).

Um dos programas mais utilizados para esta finalidade é o SELEGEN-REML/BLUP, desenvolvido pelo pesquisador e professor Marcos Deon de Vilela Resende utilizando a metodologia de modelos lineares mistos que atende às necessidades de análises de experimentos balanceados e não balanceados em espécies florestais e agronômicas (RESENDE, 2007a).

O SELEGEN abrange diversos delineamentos experimentais estatísticos, como por exemplo: blocos ao acaso e látice, delineamentos de cruzamento para polinização aberta e controlada, bem como testes clonais, uma ou várias populações, experimentos repetidos em vários locais, uma ou várias plantas por parcela, presença ou ausência de medidas repetidas (RESENDE, 2007b). Ele fornece: a) valores genéticos aditivos preditos; b) valores genotípicos preditos; c) estimativas de componentes de variância; d) ordenamento dos candidatos à seleção, segundo valores genéticos aditivos ou genotípicos; e) estimativas de ganhos genéticos; f) estimativas do tamanho efetivo populacional; g) estimativas da interação genótipos x ambientes e h) estimativas do valor genético de cruzamentos (RESENDE, 2006).

O programa emprega modelos, estimadores e preditores apresentados por Resende et al. (1994) e Resende (2000; 2002), podendo ser aplicado às plantas alógamas, autógamas e com sistema reprodutivo misto. É direcionado às espécies perenes e semiperenes, podendo também ser aplicado às espécies anuais e ao melhoramento animal.

O SELEGEN-REML/BLUP tem sido utilizado com sucesso, em vários países no mundo (África do Sul, Argentina, China, Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, Estados Unidos, México, Índia, Peru entre outros) e no Brasil principalmente com espécies florestais, tais como: *Pinus* (DUDA, 2003; MISSIO et al., 2005; FREITAS et al., 2012; ESTOPA et al., 2013; MOREIRA et al., 2013), *Eucalyptus* (CARIGNATO et al., 2011; MORAES et al., 2013; RACHID et al., 2013), Seringueira (COSTA et al., 2002; VERARDI et al., 2013; DOURADO et al., 2013), Pinhão manso (MORAES et al., 2012), *Parkia* (BARROS et al., 2012), Guapuruvu (FREITAS et al., 2011), Cacau (RESENDE; DIAS, 2000).

Segundo Resende (1997), a predição dos valores genéticos pode ser efetuada por três procedimentos e situações distintas: a) Melhor Predição – BP (“Best Prediction”) - iguais quantidades e precisões de informações associadas a todos os

candidatos à seleção, onde as médias e variâncias são conhecidas ou estimadas com exatidão; b) Melhor Predição Linear – BLP (“Best Linear Prediction”) - diferentes quantidades e precisões de informações associadas a todos os candidatos à seleção, com médias e variâncias conhecidas ou estimadas com precisão e c) Melhor Predição Linear Não - Viciada - BLUP (“Best Linear Unbiased Prediction”) - diferentes quantidades e precisões das informações associadas aos candidatos à seleção, sendo a variância conhecida ou estimada com precisão e a média não conhecida.

Dentre esses procedimentos, o BLUP é o mais completo e conduz à maximização do ganho genético, por ciclo de seleção (RESENDE, 2007a). O método (BLUP) consiste na predição de valores genéticos dos efeitos aleatórios do modelo estatístico associados às observações fenotípicas, ajustando os dados aos efeitos fixos e ao número desigual de informações nas parcelas por meio de metodologia de modelos mistos. A predição de valores genéticos usando o BLUP assume que os componentes de variância são conhecidos, entretanto, na prática não se conhecem os verdadeiros componentes de variância, que devem ser estimados com o procedimento da Máxima Verossimilhança Restrita (REML).

A seleção de indivíduos ou progênies em uma população pode ser fenotípica, quando o valor fenotípico da característica é o referencial, ou genotípica quando baseada nos valores genéticos desses indivíduos. Valores genéticos aditivos, como aqueles estimados nos testes de progênies de meios-irmãos, são efeitos aleatórios. Estes podem ser obtidos pelo procedimento BLUP, que estima os efeitos fixos (médias de blocos) pelo método dos mínimos quadrados generalizados, considerando as variâncias, sendo esta a razão da maior acuidade. Ao mesmo tempo, o procedimento prediz os valores dos efeitos genéticos aleatórios e dos efeitos aleatórios não-correlacionados incluídos no modelo (RESENDE, 2006).

O método REML possui propriedades estatísticas superiores quando comparadas àquelas do método dos mínimos quadrados, para a estimação dos parâmetros genéticos com dados não balanceados (SEARLE et al., 1992). Devido às vantagens desse método, seu emprego no melhoramento florestal tem crescido expressivamente, como pode ser observado em vários trabalhos de pesquisas (RESENDE et al., 1996; BUENO FILHO, 1997; PALUDZYSZYN FILHO, 2000; DUDA, 2003; HENRIQUES, 2012; SANTOS et al., 2013).

Segundo Vencovsky e Barriga (1992) os valores obtidos das variâncias são importantes para os cálculos dos parâmetros genéticos quantitativos, tais como:  $\hat{C}_{parc}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;  $CV_e$  %: coeficiente de variação residual;  $CV_{gi}$  %: coeficiente de variação genética aditiva individual;  $CV_{gp}$  %: coeficiente de variação genotípica entre progênies;  $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $\hat{h}_m^2$ : herdabilidade da média de progênies;  $\hat{h}_{ad}^2$ : herdabilidade aditiva dentro de parcela;  $CV_r$ : coeficiente de variação relativa;  $\hat{r}_{aa}$ : acurácia da seleção de progênies entre outros, que auxiliam no planejamento e na continuidade de um programa de melhoramento (FALCONER, 1964).

Os coeficientes de herdabilidade são parâmetros genéticos importantes não estáveis, pois vários fatores podem afetar as estimativas, como por exemplo: o caráter, o método de estimação, a diversidade na população, o nível de endogamia da população, o tamanho da amostra avaliada, o número e tipo de ambientes considerados, a unidade experimental considerada, a precisão na condução do experimento e a coleta de dados (ROBINSON; COCKERHAM, 1965; NAMKOONG et al., 1966; BORÉM, 1998; RESENDE; DUARTE, 2007; RAMALHO et al., 2012).

Moraes et al. (2011) estudando materiais genéticos de eucaliptos para local de geada estimaram valores médios para os coeficientes de herdabilidades individuais e de genótipos ( $\hat{h}_g^2 = 0,11$  a  $0,42$ ;  $\hat{h}_{mc}^2 = 0,67$  a  $0,93$ ) de baixa a alta magnitude para as características silviculturais altura, diâmetro à altura do peito e volume de madeira.

Rockwood e Meskimen (1991) obtiveram valores de coeficiente herdabilidade individual e ao nível de progênies ( $\hat{h}_a^2 = 0,21$  e  $\hat{h}_{mp}^2 = 0,49$ ) para tolerância à geada em *E. amplifolia* na Florida.

Para Vencovsky et al. (2012) as estimativas dos parâmetros genéticos contribuíram para o enorme progresso genético do agronegócio brasileiro obtidos nos últimos quarenta anos. As informações obtidas pela genética quantitativa possibilitam que os melhoristas respondam, com muita ciência, inúmeras questões do seu trabalho tais como: utilizar material genético híbrido ou não; qual a população segregante utilizar; qual método de melhoramento empregar; alternativa para melhorar a eficiências

do programa de seleção e como manusear os dados das avaliações de progênies para se identificar as mais estáveis e assim aprimorar a recomendação.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Material genético**

As progênies de polinização aberta de *E. urophylla* utilizadas na pesquisa representam boa parte da base genética para esta espécie, no país, e foram compostas pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF/ESALQ/USP a partir de seis procedências: Teixeira de Freitas/BA, Lençóis Paulista/SP, Acesita/MG, Itamarandiba/MG, Timor e Flores originárias da Indonésia de Timor e Flores.

Historicamente, essas procedências introduzidas no país, já tiveram oportunidades de se recombinar por vários momentos, em algumas décadas, possibilitando dessa forma, que se possa considerá-las como um único conjunto gênico populacional viabilizando as estimativas dos parâmetros genéticos.

### **4.2 - Experimentos**

Os experimentos foram instalados em 2009 em três condições ambientais distintas: no município de Itatinga/SP (Empresa Eucatex S.A.), no município de Palma Sola/SC (Empresa Palmasola) com ocorrência à geada e o local testemunha em Anhembi/SP (Estação Experimental de Anhembi, da ESALQ/USP).

O clima dos locais (Anhembi/SP e Itatinga/SP), segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (temperado úmido com inverno seco e verão quente) e Cfa (Palma Sola/SC) clima mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos rigorosos (Tabela 1 e Figura 7).

Os solos foram classificados como Latossolo Bruno Distrófico, textura argilosa (Palma Sola/SC) e Neossolo Quartzarênico (Anhembi/SP, Itatinga/SP) pela classificação da EMBRAPA (1999).

**Tabela 1.** Caracterização dos locais de estudo.

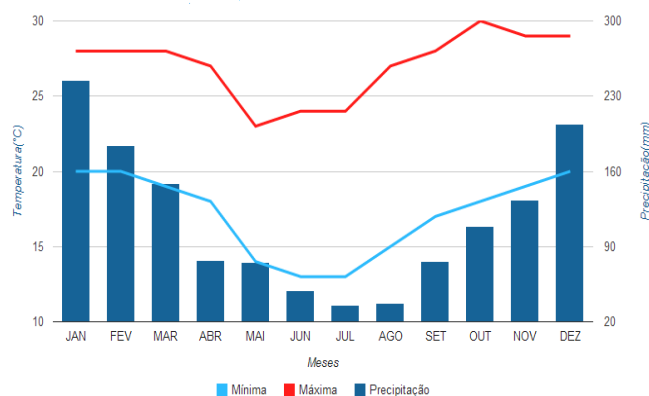
Local	Nº de progênies	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	TMA (°C)	Tm (°C)	TM (°C)	PP (mm)
Anhembi/SP	150	22°28'	48°07'	472	22,3	18,5	25,2	1300
Itatinga/SP	150	23°20'	48°36'	845	19,4	16,0	22,7	1500
Palma Sola/SC	150	26°20'	53°16'	870	17,4	15,0	24,4	2200

TMA = temperatura média anual; Tm = temperatura média mínima anual; TM = temperatura média máxima anual; PP = precipitação pluviométrica.

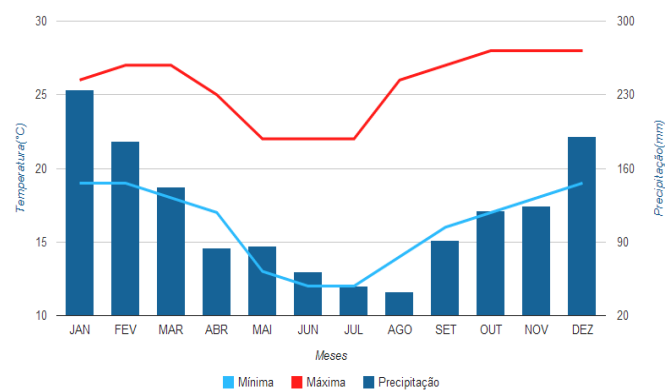


**Figura 7.** Implantação do teste de progênies de polinização aberta de *E. urophylla* em Itatinga/SP na empresa Eucatex.

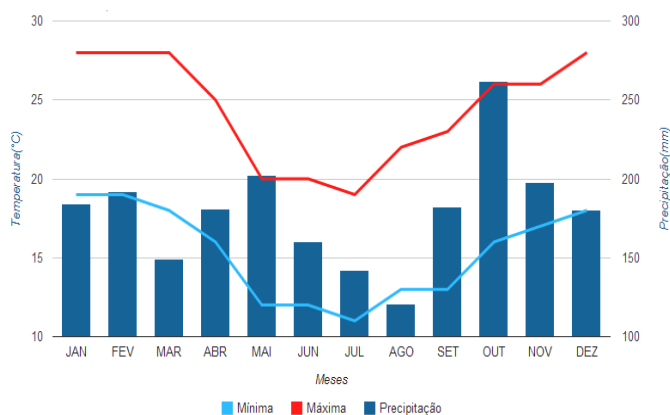
As condições climáticas para os municípios de (Anhembi/SP, Itatinga/SP e Palma Sola/SC) onde foram instalados os testes de progênies estão apresentadas nas Figuras 8, 9 e 10.



**Figura 8.** Médias de temperatura mínima, máxima e de precipitação com base em 30 anos de dados observados, para Anhembi/SP (Fonte: CLIMATEMPO, 2012).



**Figura 9.** Médias de temperatura mínima, máxima e de precipitação com base em 30 anos de dados observados, para Itatinga/SP (Fonte: CLIMATEMPO, 2012).



**Figura 10.** Médias de temperatura mínima, máxima e de precipitação com base em 30 anos de dados observados, para Palma Sola/SC (Fonte: CLIMATEMPO, 2012).

### 4.3. Delineamento experimental

O delineamento estatístico utilizado nas implantações dos testes de progênies de polinização aberta de *E. urophylla* foi o de blocos casualizados, compostos de 150 progênies, quatro repetições, seis plantas por parcela, totalizando 3.600 plantas por experimento (CROQUI APÊNDICE). O espaçamento utilizado no plantio dos testes foi de 3 x 2 metros e bordadura externa dupla.

### 4.4. Variáveis avaliadas

Foram avaliados em todos os testes: **1.** altura total da árvore (ALT), **2.** diâmetro à altura do peito (DAP), **3.** sobrevivência das plantas (SOB), **4.** percentagem de plantas bifurcadas (B) e **5.** volume de madeira (VOL) foi calculado pela expressão:

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = \frac{\pi (\text{DAP})^2 \times ff}{40.000} \times \text{ALT}$$

sendo: Volume = volume da árvore em metro cúbico; DAP = diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo) em centímetro; ALT = altura total da árvore em metro; *ff* = 0,5 (fator de forma).

Para determinar os níveis de tolerância à geada nas progênies de *E. urophylla* foi utilizada uma escala de nota, conforme a Tabela 2 e as Figuras 11, 12, 13 e 14. Os indivíduos passaram pelo seguinte critério de notas: 1 a 4 para determinar os níveis de lesões ocorridas, sendo que: 1 – Planta não afetada (sem danos); 2 – Planta pouco afetada (30% do limbo foliar com danos); 3 – Planta moderadamente afetada (50% do limbo foliar e 30% do meristema apical do indivíduo com danos) e 4 - Planta altamente afetada (100% do limbo foliar e do caule com danos). As avaliações foram realizadas após à ocorrência de geada aos 12 meses de idade.

**Tabela 2.** Escala de notas estabelecidas para avaliação de danos por geada em *Eucalyptus*.

PLANTA			
Não afetada	Pouco afetada	Moderadamente afetada	Altamente afetada
1	2	3	4



**Figura 11.** Planta não afetada.



**Figura 12.** Planta pouco afetada.



**Figura 13.** Planta moderadamente afetada.



**Figura 14.** Planta altamente afetada.

#### 4.5. Estimativas dos parâmetros genéticos

As estimativas dos componentes de variâncias e dos parâmetros genéticos foram obtidas a partir do programa estatístico SELEGEN utilizando o procedimento REML/BLUP (Estimativa dos parâmetros genéticos por máxima verossimilhança restrita - REML, e predição dos valores genéticos pelo procedimento da melhor predição linear não viciada - BLUP), conforme proposto por Resende (2007b).

Os dados foram analisados utilizando o modelo número 93 para as análises individuais de cada experimento.

$$y = Xr + Za + Wp + \mathcal{E}$$

onde:  $y$  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),  $p$  é o vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios) e  $\mathcal{E}$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.  $X$ ,  $Z$  e  $W$  são matrizes de incidência conhecidas, formadas por valores zero e um, as quais associam as incógnitas  $r$ ,  $a$  e  $p$  ao vetor de dados  $y$ , respectivamente. A metodologia de modelos mistos permite estimar  $r$  pelo procedimento de quadrados mínimos generalizados e prever  $a$  e  $p$  pelo procedimento BLUP (Unbiased). Por meio dos algoritmos EM realiza-se o procedimento REML (Restrict Maximum Likelihood) ou método da máxima verossimilhança, onde as resoluções de matrizes geram estimativas de efeitos ajustados dos vetores calculados. Foram calculados os seguintes parâmetros genéticos:

a) Variância genética aditiva ( $\hat{\sigma}_a^2$ ):

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} (A^{-1} C^{22})] / q$$

b) Variância ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_c^2$ ):

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}' \hat{c} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}] / s_1$$

c) Variância residual (ambiental + não aditiva) ( $\hat{\sigma}_e^2$ ):

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{r}' X' y - \hat{a}' Z' y - \hat{c}' W' y] / [N - r(x)]$$

em que:  $C^{22}$ ,  $C^{33}$ ,  $C^{44}$  e  $C^{55}$  vem da inversa de C.

C: matriz dos coeficientes das equações de modelo misto.

tr: operador traço matricial.

$r(x)$ : posto da matriz X.

$N$ ,  $q$ ,  $s_i$ : números de dados, de indivíduos e de parcelas, respectivamente.

d) Variância fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ ):  $\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2$

e) Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos:  $\hat{h}_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2}$

f) Herdabilidade da média de progênes:  $\hat{h}_m^2 = \frac{(1/4) \cdot \hat{\sigma}_a^2}{(1/4) \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \frac{\hat{\sigma}_c^2}{r} + \frac{(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)}{n \cdot r}}$

g) Herdabilidade aditiva dentro de parcela:  $\hat{h}_{ad}^2 = \frac{0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2}{0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2}$

h) Coeficiente de variação genética aditiva individual:  $CV_{gi}(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100$

i) Coeficiente de variação genotípica entre progênes:  $CV_{gp}(\%) = \frac{\sqrt{0,25 \cdot \hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100$

j) Coeficiente de variação experimental:  $CV_e(\%) = \frac{\sqrt{[(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2) / n] + \hat{\sigma}_c^2}}{\hat{m}} \cdot 100$

k) Coeficiente de variação relativa:  $CV_r = \frac{CV_{gp}}{CV_e}$

l) Acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa:  $\hat{r}_{aa} = \sqrt{\hat{h}_m^2}$

**m)** Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ):  $\hat{C}_p^2 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_f^2}$

**n)** Correlações fenotípicas e genotípicas: foram estimadas segundo Resende (2002 e 2007a), utilizando os modelos 105 e 102 do programa SELEGEN.

**o)** A análise conjunta foi realizada pelo modelo matemático 4, no delineamento experimental em blocos ao acaso, progênies de meios-irmãos, várias plantas por parcela, vários locais.

**p)** Ganho na seleção pelo método do índice multi-efeitos com base em Resende (2002).

Uma das vantagens da seleção pelo método multi-efeitos é a redução do peso dado à média geral das matrizes, permitindo assim uma melhor distribuição dos indivíduos selecionados nas várias matrizes.

O Índice Multi-efeitos possui a expressão ( $\hat{I}$ ):

$$\hat{I} = \hat{b}_1 Y_{ijk} + (\hat{b}_2 - \hat{b}_3) \bar{Y}_{i..} + (\hat{b}_3 - \hat{b}_1) \bar{Y}_{ij.} - \hat{b}_3 \bar{Y}_{.j.} + (\hat{b}_3 - \hat{b}_2) \bar{Y}_{...}$$

em que:  $\bar{Y}$ : média geral do ensaio;  $Y_{ijk}$ : valor individual;  $\bar{Y}_i$ : média da matriz no ensaio;

$\bar{Y}_{ij.}$ : média da matriz em determinado bloco (média da parcela);  $\bar{Y}_{.j.}$ : média do bloco;

$\hat{b}_1 = \hat{h}_d^2$ : herdabilidade no sentido restrito dentro de parcelas:  $\hat{h}_d^2 = \frac{(3/4)\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2}$ ;  $\hat{b}_2 = \hat{h}_m^2$ :

herdabilidade no sentido restrito de matrizes:  $\hat{h}_m^2 = \frac{[(3+n.b)/(4.n.b)]\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{r} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{n.r}}$ ;  $\hat{b}_3 = \hat{h}_p^2$ :

herdabilidade no sentido restrito de parcelas:  $\hat{h}_p^2 = \frac{[3/(4.n)]\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_e^2 + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{n}}$

**q)** O tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) foi obtido com base em Resende (2002):

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

em que:  $\bar{k}_f$  = número médio de indivíduos selecionados por matriz;  $\sigma_{kf}^2$  = variância do número de indivíduos selecionados por matriz;  $N_f$  = n° de matrizes selecionadas.

r) A diversidade genética (D), após a seleção, foi quantificada conforme Resende (2002):  $D = N_{ef} / N_{fo}$ , em que  $0 < D \leq 1$ ;  $N_{fo}$  = número original de matrizes,  $N_{ef}$  = número efetivo de matrizes selecionadas, sendo dado por:  $N_{ef} = (\sum k_f)^2 / \sum k_f^2$

s) Produtividade, estabilidade e adaptabilidade foi utilização o modelo matemático número 51 do programa SELEGEN.

Para a estimativa da estabilidade e adaptabilidade das progênes de *E. urophylla*, foi utilizado o método MHPRVG (média harmônica da performance relativa dos valores genéticos) preditos por BLUP tendo por base os trabalhos de Resende (2004) e Oliveira et al., (2005). A estabilidade corresponde a Média Harmônica dos Valores Genotípicos através dos locais (MHVG); a adaptabilidade, então pode ser dita como a Performance Relativa dos Valores Genotípicos em relação a média de cada local (PRVG) e a estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (Produtividade, representada pela característica ALT) corresponde a Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos (MHPRVG). Dessa forma, o modelo utilizado foi:

$$y = Xr + Zg + Wp + Ti + \epsilon,$$

em que:  $y$ ,  $r$ ,  $g$ ,  $p$ ,  $i$ ,  $\epsilon$  = vetores de dados dos efeitos fixos (média de blocos), aleatórios (efeito genético das progênes, da interação genótipos x ambientes e do erro), respectivamente.  $X$ ,  $Z$  e  $W$  = matrizes de incidência de  $r$ ,  $g$  e  $c$ , respectivamente. Assim, aos parâmetros estimados nas análises individuais deve-se adicionar a:

1. Variância da interação genótipos x ambientes ( $\hat{\sigma}_i^2$ );

2. Variância fenotípica da análise conjunta ( $\hat{\sigma}_F^2$ ):  $\hat{\sigma}_F^2 = \hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_C^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_E^2$ ;

Em que:  $\hat{\sigma}_A^2$  (variância genética aditiva);  $\hat{\sigma}_C^2$  (variância ambiental entre parcelas) e  $\hat{\sigma}_E^2$  (variância residual (ambiental + não aditiva)) foram obtidas na análise conjunta.

3. Coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes ( $\hat{C}_i^2$ ):

$$\hat{C}_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_i^2}{\hat{\sigma}_F^2}$$

4. Correlação genotípica entre o desempenho das progênes nos vários ambientes ( $\hat{r}_{gloc}$ ):

$$\hat{r}_{gloc} = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_A^2 + 4\hat{\sigma}_i^2}$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha dos locais para as instalações dos experimentos (testes de progênies de polinização aberta de *E. urophylla*) obedeceram aos critérios bioclimáticos que atendessem aos objetivos da pesquisa, principalmente para as condições de ocorrências às geadas.

### 5.1. Geadas nos testes de progênies

Durante a etapa de avaliação, que decorreu após três meses da ocorrência do fenômeno de geada nas localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC, foi observado que alguns indivíduos apresentaram-se tolerantes à geada (Figura 15). A população apresentou variabilidade genética tanto entre como dentro das progênies de *E. urophylla* para ambas as regiões. Os indivíduos tolerantes apresentaram sintomas leves (danos nas lâminas foliares sem morte do ponteiro apical).



**Figura 15.** Progênie tolerante à geada.

Vários autores (TIBBITS; HODGE, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2004; ALVAREZ et al., 2011; MORAES et al., 2011; PITZ FLORIANI et al., 2013) mostraram que um dos principais sintomas de danos observados após alguns dias da ocorrência à geada são os provocados na parte aérea dos vegetais. As folhas com o tempo ficam flácidas e de coloração escura, e com o tempo secam e aparentam coloração palha (Figura 16), aspecto semelhante ao encontrado para este estudo.



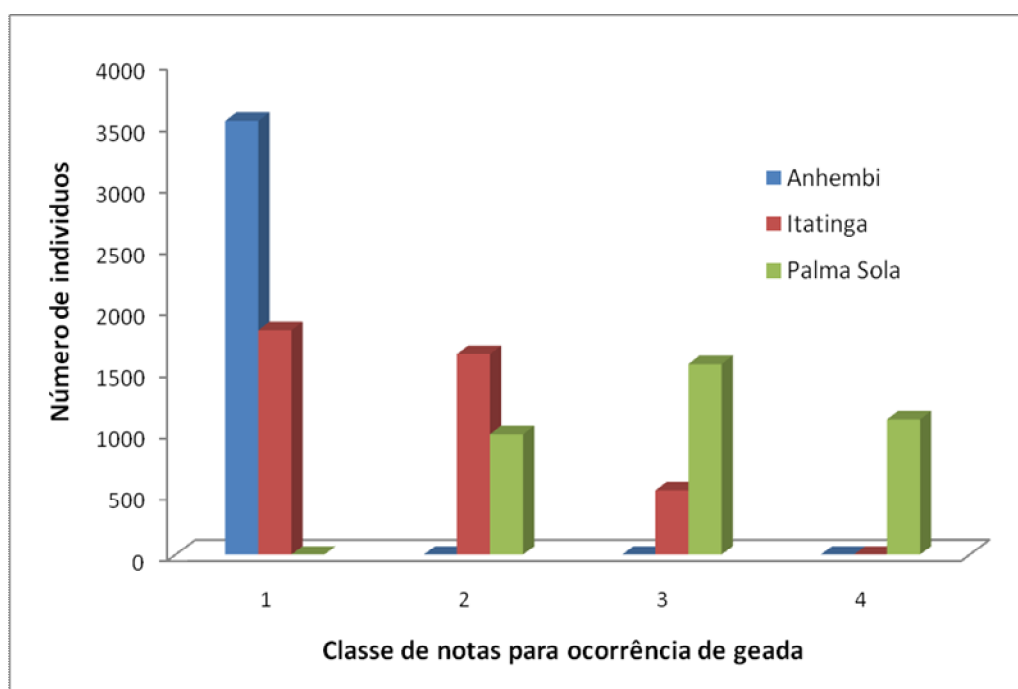
**Figura 16.** Dano promovido na lâmina foliar de *Eucalyptus* devido à ocorrência por geada.

Para Taiz e Zeiger (2009) alguns danos decorridos do processo de baixa temperatura são o crescimento mais lento do vegetal, descoloração ou lesões nas folhas, e o aspecto encharcado da folhagem, como se fosse embebida em água por longo período, prejudicando o processo fotossintético dos indivíduos.

Segundo Higa et al. (1994), temperaturas inferiores a - 3 ou - 4 °C causam danos nas plantas decorrentes do congelamento dos líquidos presentes nos espaços intercelulares, consequentemente levando à ruptura de membranas por compressão e extravasamento irreversível do citoplasma, levando à morte o tecido vegetal.

Silva et al. (2009), estudando as espécies *E. dunnii*, *E. saligna*, *E. camaldulensis* e os híbridos *E. benthamii* x *E. dunnii* e *E. grandis* vs *E. urophylla* observaram que suas células foram tolerantes ao resfriamento e congelamento até - 4°C, enquanto que as do híbrido espontâneo de *E. maculata* apresentaram susceptibilidade.

Na região de Palma Sola (Local 3) os sintomas à geada foram mais severos, apresentando alta taxa de indivíduos com nota 4 (altamente afetada pela geada - Figura 17) com danos em toda copa dos indivíduos, seguido de morte total. Estes sintomas mais intensos ocorreram principalmente no bloco experimental quatro (repetição quatro) que se encontrava na parte mais baixa do terreno, onde ocorre o acúmulo do ar frio, diferente do teste da região de Anhembi sem ocorrência à geada (Testemunha) e da região de Itatinga onde à geada foi amena, e não promoveu danos severos, como por exemplo, a morte de indivíduos.



**Figura 17.** Número de indivíduos avaliados para as três regiões edafoclimáticas de acordo com o seguinte critério de avaliação: 1 – Planta não afetada; 2 – Planta pouco afetada; 3 – Planta moderadamente afetada e 4 - Planta altamente afetada aos 12 meses.

Segundo Higa e Wrege (2010) outro fator que existe e agrava ainda mais são os corredores de geadas, onde ocorre o escoamento do ar frio, acentuando ainda mais os danos na árvore.

Os indivíduos que apresentaram danos irreversíveis do terço superior, com o decorrer do tempo, foram morrendo devido aos danos provocados pelo frio aos vasos condutores (xilema e floema). Com a formação dos cristais de gelo e a

desidratação do protoplasto das células ocorreu necrose dos vasos do indivíduo, cessando o transporte de água e nutrientes levando-os a morte (MAZUR, 1969; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Como observado na Figura 17, com a ocorrência à geada aos 12 meses de idade, de modo geral, os níveis de indivíduos afetados foram diferentes para cada uma das três regiões edafoclimáticas estudadas, ou seja, cerca de 45% dos indivíduos das progênes testadas obtiveram nota 1 (planta não afetada) e nota 2 (35% - pouco afetada) para a região de Itatinga/SP.

No teste de Palma Sola/SC, apesar de não apresentar indivíduos nota 1 (planta não afetada), foram observados aproximadamente 30% de plantas pouco afetadas (nota 2), e entre eles vários indivíduos (genótipos) potenciais para a região de geada, com destaque para as progênes 50, 59, 75, 80 e 85 entre outras.

Leite et al. (1973), estudando o efeito de geadas sobre diversas espécies e procedências de eucaliptos introduzidas na região de Lages/SC observaram a existência de grandes diferenças entre as espécies para danos provocados na parte aérea dos indivíduos. De acordo com os mesmos autores os danos de parte aérea variaram de 1,2% a 89,6% (*E. viminalis* – Austrália: 1,2 %; *E. maidenii* – Austrália: 83,4%; *E. deanei* – Austrália: 75,1%; *E. grandis* – Austrália: 89,6%; *E. saligna/grandis* - R. G. Sul – Brasil: 80,3%; *E. viminalis* - R. G. Sul – Brasil: 2,8%; *E. saligna* – Mairinque: 78,5%; *E. deanei* – Argentina: 40,6%), sendo mais graves entre as espécies de clima tropical.

Outro dano frequentemente encontrado nas plantas após à geada, foi o aumento da percentagem de plantas bifurcadas (Tabela 3 e Figura 18), provocada pela morte do meristema apical, sendo que indivíduos dominados foram os mais afetados. É importante ressaltar que a percentagem de plantas bifurcadas não foi calculada para região de Anhembi, pois nesta região não ocorreram geadas no período do estudo.

O valor encontrado de 36% de plantas bifurcadas neste estudo está de acordo com os relatados por Higa et al. (1997) para *Eucalyptus* devido à geada.

**Tabela 3.** Percentagem de plantas bifurcadas aos 12 e 24 meses para as regiões edafoclimáticas do município de Itatinga/SP e Palma Sola/SC em teste de progênies de *E. urophylla* após à ocorrência de geadas aos 12 meses.

LOCAL	% PLANTAS BIFURCADAS	
	Antes da geadas	Após à geadas
Itatinga/SP	3,5	5,2
Palma Sola/SC	4,4	36,0

Com o passar do período de inverno, a retomada do crescimento e do desenvolvimento dos indivíduos ocorreu somente alguns meses após à geadas. Neste momento, surgiu um novo ápice, na maioria das vezes com fustes de tortuosidade de leve a intensa, o que levou as plantas a apresentarem copa deformada com elevada percentagem de novas ramificações (Figura 19). Estes tipos de danos prejudicam a qualidade da madeira, se o objetivo final for utiliza-la para o processo de laminação ou para serraria, que necessitam de fustes retos, sem deformações e bifurcações. Outro problema atrelado a estes danos é a fragilidade dos indivíduos a quebra pelo vento, gerando reflorestamentos heterogêneos e com menor produtividade dificultando a colheita no final do ciclo.



**Figura 18.** Morte do ponteiro apical em indivíduos dominados de *E. urophylla* em Palma Sola/SC.



**Figura 19.** Danos promovidos pela ocorrência de geadas ao teste de progênes de polinização aberta de *E. urophylla* em Palma Sola/SC. Copa deformada (a) e tortuosidade do fuste (b).

Após um mês da ocorrência à geadas na região de maior intensidade e frequência (Local 3 – Palma Sola/SC) os indivíduos altamente afetados (nota 4) apresentaram rachaduras iniciais na base do caule, queda das folhas e morte dos indivíduos, atingindo 22% de mortalidade.

Eloy et al. (2013), estudando o efeito da ocorrência à geadas em espécies florestais na região norte do Rio Grande do Sul observaram que a espécie *Eucalyptus grandis* teve maior concentração de danos nas folhas, mostrando ser tolerante à geadas nas condições estudadas. Dos indivíduos avaliados, 93% apresentaram menos de 25% da área foliar danificada, 5,6% das plantas apresentaram de 25 a 49% da área foliar danificada. Apesar de sofrer danos, apresentaram 100% de sobrevivência. Entretanto, mais de 98% das plantas tiveram os meristemas apicais e caules danificados.

Dobner Júnior et al. (2009), estudando o efeito da cobertura do gênero *Pinus* na proteção contra geadas no crescimento de indivíduos jovens de *E. dunnii*, observou danos de rachaduras no caule das plantas de 27%.

Higa e Carvalho (1990) relataram para a espécie subtropical *E. benthamii* mortalidade de 30%, aos 45 meses de idade em plantios localizados no município de Dois Vizinhos/PR. Silva (2008) estudando a mesma espécie (*E. benthamii*)

observou mortalidade média variando de 8,3% a 39,8% para progênies em diferentes ambientes para condições de geadas.

Floss et al. (1997), estudando procedências de progênies de *E. viminalis* no município de Chapecó/SC, verificaram que aos 60 meses de idade, houve 20% de mortalidade dos indivíduos presentes no teste de procedências, resultados estes que estão próximos do obtidos para as progênies de *E. urophylla* utilizadas neste estudo.

Outros autores (HIGA et al., 1994; SELLE; VUADEN, 2008) relataram que em alguns casos às geadas registradas no sul do Brasil provocam perdas de até 100% em talhões de espécies suscetíveis, comprometendo o suprimento de madeira das indústrias de base florestal. Cabe ressaltar que nestes casos de regiões com geadas severas uma ótima estratégia é a utilização de zoneamento de plantio com espécies ou genótipos mais tolerantes a estas condições.

## **5.2. Parâmetros genéticos**

### **5.2.1. Análise Individual**

Os resultados da variância aditiva ( $\hat{\sigma}_a^2$ ) para as características altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m<sup>3</sup>) apresentam valores crescentes ao longo das idades e locais, independente de estarem em localidade de ocorrência ou não à geadas (Tabelas 4 e 5).

**Tabela 4.** Estimativas dos componentes de variâncias para as características de crescimento em altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m<sup>3</sup>) nas idades de 12 e 24 meses em teste de progênies de polinização aberta de *E. urophylla* para a localidade de Anhembi/SP (**sem ocorrência de danos por geadas**) e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (**com ocorrência de danos por geadas**).

Sem ocorrência de danos por geadas				Com ocorrência de danos por geadas							
Local 1 (Anhembi/SP)				Local 2 (Itatinga/SP)				Local 3 (Palma Sola/SC)			
Características	Variâncias	12* meses	24 meses	Características	Variâncias	12	24	Características	Variâncias	12	24
ALT	$\hat{\sigma}_a^2$	1,2652	3,0846	ALT	$\hat{\sigma}_a^2$	1,0356	3,4642	ALT	$\hat{\sigma}_a^2$	0,3809	0,8571
	$\hat{\sigma}_c^2$	0,6812	0,7980		$\hat{\sigma}_c^2$	0,0367	0,0324		$\hat{\sigma}_c^2$	0,3888	0,8748
	$\hat{\sigma}_e^2$	3,5711	8,2164		$\hat{\sigma}_e^2$	0,8781	2,8181		$\hat{\sigma}_e^2$	2,1576	4,8547
	$\hat{\sigma}_f^2$	5,5175	12,099		$\hat{\sigma}_f^2$	1,9506	6,3148		$\hat{\sigma}_f^2$	2,9274	6,5867
	<b>Média (m)</b>	<b>10,40</b>	<b>14,99</b>		<b>Média (m)</b>	<b>6,79</b>	<b>10,68</b>		<b>Média (m)</b>	<b>3,79</b>	<b>5,79</b>
DAP	$\hat{\sigma}_a^2$	0,8275	1,8819	DAP	$\hat{\sigma}_a^2$	1,4404	3,1532	DAP	$\hat{\sigma}_a^2$	0,2453	0,5526
	$\hat{\sigma}_c^2$	0,2270	0,0621		$\hat{\sigma}_c^2$	0,2883	0,1841		$\hat{\sigma}_c^2$	0,1890	0,4253
	$\hat{\sigma}_e^2$	3,9650	8,3374		$\hat{\sigma}_e^2$	0,5555	2,5240		$\hat{\sigma}_e^2$	1,4041	3,1571
	$\hat{\sigma}_f^2$	5,0195	10,281		$\hat{\sigma}_f^2$	2,2843	5,8614		$\hat{\sigma}_f^2$	1,8384	4,1351
	<b>Média (cm)</b>	<b>7,89</b>	<b>10,52</b>		<b>Média (cm)</b>	<b>5,65</b>	<b>8,80</b>		<b>Média (cm)</b>	<b>7,09</b>	<b>10,60</b>
VOL	$\hat{\sigma}_a^2$	6,7 x 10 <sup>-5</sup>	4,7 x 10 <sup>-4</sup>	VOL	$\hat{\sigma}_a^2$	1,7 x 10 <sup>-5</sup>	4,5 x 10 <sup>-4</sup>	VOL	$\hat{\sigma}_a^2$	7,0 x 10 <sup>-6</sup>	1,5 x 10 <sup>-5</sup>
	$\hat{\sigma}_c^2$	1,9 x 10 <sup>-5</sup>	2,1 x 10 <sup>-5</sup>		$\hat{\sigma}_c^2$	2,0 x 10 <sup>-6</sup>	2,1 x 10 <sup>-5</sup>		$\hat{\sigma}_c^2$	4,0 x 10 <sup>-6</sup>	9,0 x 10 <sup>-6</sup>
	$\hat{\sigma}_e^2$	2,3 x 10 <sup>-4</sup>	1,9 x 10 <sup>-3</sup>		$\hat{\sigma}_e^2$	7,0 x 10 <sup>-6</sup>	1,5 x 10 <sup>-4</sup>		$\hat{\sigma}_e^2$	2,4 x 10 <sup>-5</sup>	5,4 x 10 <sup>-5</sup>
	$\hat{\sigma}_f^2$	3,2 x 10 <sup>-4</sup>	2,5 x 10 <sup>-3</sup>		$\hat{\sigma}_f^2$	2,6 x 10 <sup>-5</sup>	6,2 x 10 <sup>-5</sup>		$\hat{\sigma}_f^2$	3,5 x 10 <sup>-5</sup>	7,8 x 10 <sup>-5</sup>
	<b>Média (m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,029</b>	<b>0,077</b>		<b>Média (m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,010</b>	<b>0,047</b>		<b>Média (m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,008</b>	<b>0,012</b>

$\hat{\sigma}_a^2 = V_a$  = variância genética aditiva;  $\hat{\sigma}_c^2 = V_{\text{parc}}$  = variância ambiental entre parcelas;  $\hat{\sigma}_e^2 = V_e$  = variância residual (ambiental + não aditiva) e  $\hat{\sigma}_f^2 = V_f$  = variância fenotípica individual. Médias aos 12 e 24 meses de idade para altura de plantas de metros (ALT m), diâmetro à altura do peito em centímetros (DAP cm) e volume em metros cúbicos (VOL m<sup>3</sup>).  $V_a$ ;  $V_{\text{parc}}$ ;  $V_e$ ;  $V_f$  = nomenclatura fornecida pelo programa estatístico Selegen.

**Tabela 5.** Estimativas dos componentes de variâncias para a avaliação de danos por geadas (GE) e sobrevivência de plantas (SOB) aos 12 meses em teste de progênies de polinização aberta de *E. urophylla* para a localidade de Anhembi/SP (**sem ocorrência de danos por geadas**) e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (**com ocorrência de danos por geadas**).

Sem ocorrência de danos por geadas			Com ocorrência de danos por geadas					
Local 1 (Anhembi/SP)			Local 2 (Itatinga/SP)			Local 3 (Palma Sola/SC)		
Características	Variâncias	12	Características	Variâncias	12	Características	Variâncias	12
	$\hat{\sigma}_a^2$	-		$\hat{\sigma}_a^2$	0,01851		$\hat{\sigma}_a^2$	0,01286
	$\hat{\sigma}_c^2$	-		$\hat{\sigma}_c^2$	0,00918		$\hat{\sigma}_c^2$	0,00634
GE	$\hat{\sigma}_e^2$	-	GE	$\hat{\sigma}_e^2$	0,01563	GE	$\hat{\sigma}_e^2$	0,01085
	$\hat{\sigma}_f^2$	-		$\hat{\sigma}_f^2$	0,04333		$\hat{\sigma}_f^2$	0,030061
	<b>Média</b>	-		<b>Média</b>	<b>1,54</b>		<b>Média</b>	<b>1,84</b>
	$\hat{\sigma}_a^2$	0,00602		$\hat{\sigma}_a^2$	0,00475		$\hat{\sigma}_a^2$	0,01584
	$\hat{\sigma}_c^2$	0,00172		$\hat{\sigma}_c^2$	0,00144		$\hat{\sigma}_c^2$	0,00713
SOB	$\hat{\sigma}_e^2$	0,10374	SOB	$\hat{\sigma}_e^2$	0,04379	SOB	$\hat{\sigma}_e^2$	0,13862
	$\hat{\sigma}_f^2$	0,11148		$\hat{\sigma}_f^2$	0,04999		$\hat{\sigma}_f^2$	0,16160
	<b>Média</b>	<b>88%</b>		<b>Média</b>	<b>97%</b>		<b>Média</b>	<b>78%</b>

$\hat{\sigma}_a^2 = Va$  = variância genética aditiva;  $\hat{\sigma}_c^2 = V_{\text{parc}}$  = variância ambiental entre parcelas;  $\hat{\sigma}_e^2 = Ve$  = variância residual (ambiental + não aditiva) e  $\hat{\sigma}_f^2 = Vf$  = variância fenotípica individual. Médias aos 12 meses de idade para danos por geadas (GE) e sobrevivência de plantas (SOB) aos 12 meses de idade. Va; V<sub>parc</sub>; Ve; Vf = nomenclatura fornecida pelo programa estatístico Selegen.

Os valores da variância residual ( $\hat{\sigma}_e^2$ ) foram crescentes para todas as características estudadas, com exceção para a ocorrência de geada (GE), que apresentou valor mais alto para Itatinga que para Palma Sola (Tabela 5).

A variância ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_c^2$ ) foi variável para as características estudadas, tanto em relação as idades de 12 e 24 meses, como para os locais de estudo.

Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 estão apresentados os resultados dos parâmetros genéticos para as três regiões edafoclimáticas de estudos, com e sem ocorrência às geadas.

As progênies mostraram crescimento vegetativo adequado ao longo dos dois anos para o Local 1 para as variáveis silviculturais ALT, DAP e VOL que tiveram médias de 10,40 m, 7,89 cm e 0,029 m<sup>3</sup> aos 12 meses respectivamente. As médias aos 24 meses para ALT, DAP e VOL foram de 14,99 m, 10,52 cm e 0,077 m<sup>3</sup>. Nas condições edafoclimáticas de Itatinga (Local 2) e Palma Sola (Local 3), as médias para os teste de progênies para o crescimento vegetativo para as variáveis ALT, DAP e VOL, mostraram-se inferiores para as idades de 12 e 24 meses (Tabela 6).

Em Itatinga com a ocorrência da geada em nível moderado, o crescimento silvicultural e dos indivíduos testados foram afetados, em relação ao tratamento testemunha (Local 1 – Anhembi). Na localidade 3 (Palma Sola/SC), a média geral do experimento foi muito afetada ao longo dos dois anos de condução do teste experimental, devido às severas geadas ocorridas nesta região, atingindo temperaturas próximas aos -10 °C, valor este semelhante ao encontrado por Santos (2008) para a região de Guarapuava/PR, em 2008, em reflorestamento de *E. benthamii*.

Importante enfatizar que até espécies subtropicais como *E. benthamii* e *E. dunnii* em condições de geadas extremas como ocorridas em 2008 e 2010 sofreram danos, mas em percentagens menores quando comparadas com espécies tropicais como *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. saligna* e outras.

Moraes et al. (2011), pesquisando o comportamento da variabilidade genética de diferentes materiais genéticos e espécies de *Eucalyptus* (*E. saligna*; *E. torelliana*; híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. grandis* x *E. camaldulensis* e híbridos espontâneos de *E. dunnii*) em local com alta ocorrência às geadas observaram

crescimento médio de 10,35m para altura de planta e 11,62 cm para o diâmetro à altura do peito aos 30 meses de idade, mesmo após os danos sofridos, mostrando que é possível a produção de madeira de eucaliptos com qualidade para essas condições climáticas.

O coeficiente de variação experimental ( $CV_e\%$ ) para a característica VOL foi o que se apresentou mais elevado em relação ao DAP e ALT, mas ainda estão adequados para às condições de campo em experimentos com *E. urophylla* (Tabela 6). De acordo com Garcia (1989), os coeficientes de variação experimental para espécies florestais, em condições de campo, mesmo em valores superiores observados para outras culturas, espécies e gêneros, revelam boa precisão experimental.

Os valores dos coeficientes de variação experimental ( $CV_e\%$ ) variaram de 9,35% a 36,10% para ALT, DAP e VOL, mostrando uma boa precisão dos experimentos conduzidos. Esses valores estão próximos aos encontrados por Mori et al. (1988), Paula et al. (2002), Rocha et al. (2007), Freitas et al. (2009) e Miranda (2012), estudando as espécies *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. urophylla* em regiões sem ocorrências às geadas.

Higa (1998), avaliando *E. dunnii* atingidos por geadas na região de Campo do Tenente/PR aos 12, 24 e 36 meses para as características altura de plantas, DAP e volume de madeira em condições de geada observou valores maiores para o coeficientes de variação experimental ( $CV_e\%$ ) variando de 13,15% a 41,26%.

O coeficiente de variação genética, que expressa, em porcentagem da média geral, a quantidade de variação genética entre progênies, foi mais baixo para as três características em relação ao individual para plantas ( $CV_{gi}$ ). O VOL está indicando boa variação genética entre as progênies (27,51% a 45,16%), portanto mostrando ótimo potencial para a seleção mesmo para condições às geadas (Tabela 6).

Segundo Sebbenn et al. (1999) o coeficiente de variação genética é um parâmetro importante para os programas de melhoramento vegetal, por permitir um ganho adicional pela seleção dentro de progênies. Os valores das estimativas do coeficiente de variação genética dentro de progênies reforçam a hipótese da eficiência de ganhos em trabalhos de genética florestal.

Para todas as características analisadas, o parâmetro genético coeficiente de determinação dos efeitos ambientais entre parcelas ( $\hat{C}_{parc}^2$ ) apresentaram

valores baixos a moderado, ou seja, o ambiente atuou pouco entre as parcelas, promovendo baixa variação ambiental entre as parcelas em todos os locais. Rocha et al. (2006) estudando o gênero *Eucalyptus*, encontraram resultados semelhantes para as características altura de plantas (ALT) e diâmetro à altura do peito (DAP). Segundo Resende (2002), o  $\hat{C}_{parc}^2$  quantifica a variabilidade das parcelas dentro dos blocos, sendo que uma estimativa até 10% não chega a interferir na estimativa dos parâmetros genéticos.

A relação entre o coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação experimental foi estimada para ALT, DAP e VOL nos três locais e nas idades de 12 e 24 meses, mostrando sempre valores mais altos para o volume na região de Itatinga, indicando que está é a melhor condição para a seleção de indivíduos superiores em regiões com geadas fracas. Quando a relação do coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental aproximam-se de valores maiores ou iguais a um, caracteriza-se uma situação favorável para a prática da seleção (VENCOVSKY 1969; CRUZ et al., 2004).

Como observado na Tabela 7, houve diferenças significativas ( $p < 0,01$ ) de sobrevivência entre as várias progênies de Anhembi, Itatinga e Palma Sola (Tabela 7). Em geral se observou baixo percentual de falhas nas parcelas, nos dois anos para as condições de Anhembi e Itatinga, mostrando boa adaptação das progênies de *Eucalyptus urophylla*. Na região sul, em Palma Sola (Local 3), a taxa de mortalidade (22%) foi elevada quando comparada as demais, devido às intensas geadas ocorridas naquela região. Mesmo o local experimental 2 ter sofrido com geadas, a taxa de mortalidade apresentou adequada, mostrando a capacidade de tolerância do material genético às condições de geada.

O coeficiente de variação experimental ( $CV_e\%$ ) para as localidades de Itatinga e Palma Sola, para danos com a geada foram de 7,7% e 5,4% aos 12 meses de idade, respectivamente, valores estes considerados adequados, dentro dos padrões encontrados para *Eucalyptus* para diversas características em condições de campo (Tabela 7).

As herdabilidades ao nível de média de progênies ( $\hat{h}_m^2$ ) obtidas para Itatinga foram as que apresentaram maiores valores para as características estudadas (ALT, DAP e VOL – Tabela 8).

Os valores de  $\hat{h}_m^2$ , para Itatinga, para as características altura de planta (ALT: 0,72; 0,76), diâmetro à altura do peito (DAP: 0,77; 0,79) e volume de madeira (VOL: 0,77; 0,88) aos 12 e 24 meses de idade respectivamente, revelam alto controle genético para a seleção, podendo dessa forma, selecionar plantas individuais. Estes valores apresentam-se altos, pois o material genético (*E. urophylla*) encontra-se em fase inicial do programa de melhoramento. Com as sucessivas gerações de melhoramento e a seleção artificial realizada para características importantes (ALT, DAP e VOL entre outros) para o programa de melhoramento, a tendência é que com o tempo ocorra diminuição dos valores do ganho genético.

Os valores de herdabilidades ao nível de média de progênies para os DAP e de ALT estão de acordo com Kageyama e Vencovsky (1983), que estudaram progênies de *E. grandis* aos 30 anos de idade. Martins et al. (2001) em seus estudos envolvendo progênies de meios irmãos de *E. grandis*, encontraram valores de herdabilidade média de progênies para ALT e DAP iguais a 0,68 e 0,69 respectivamente, sendo valores menores dos encontrados neste estudo. Zanata et al. (2010), estudando *Eucalyptus pellita*, encontraram valores para  $\hat{h}_m^2$  de 0,85 para ALT e 0,90 para DAP, valores esses superiores aos obtidos neste trabalho. No presente trabalho, as herdabilidades foram classificadas de acordo com a interpretação de Resende (1995) que considera herdabilidades de 0,01 a 0,15 como baixas; de 0,15 a 0,50 como medianas; e acima de 0,50 como altas.

A herdabilidade no sentido restrito ao nível de plantas individuais ( $\hat{h}_a^2 = 0,13$  a  $0,19$ ) para as características altura de planta (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume de madeira (VOL) foram inferiores para a localidade de Palma Sola em relação as demais, evidenciando o efeito do ambiente sobre as características. A herbabilidade dentro das parcelas ( $\hat{h}_{ad}^2$ ) variou de 0,11 a 0,17, tanto entre os locais como entre as idades.

A acurácia seletiva representa a relação entre o valor genético verdadeiro e o estimado, apresentando-se adequado para todas as características estudadas, variando de 57% (ALT) a 92% (VOL). Isso indica boa precisão no acesso à variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada para a característica (Tabela

8). O valor da acurácia seletiva superior a 50% ( $\hat{r}_{aa}$ ) está ideal conforme relatado por Resende (2007), indicando uma maior eficiência na seleção dos genótipos de interesse. O mesmo autor afirma que para etapas iniciais ou intermediárias do programa de melhoramento florestal o adequado são acurácias na ordem de 70% ou mais.

Silva (2008) obteve para progênies de *E. benthamii* proveniente de quatro localidades no sul do país boa acurácia seletiva (81% em Caçador; 65% em Calmon; 76% em Chapecó e 73% em Vargem Bonita) indicando alta precisão no acesso à variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada para as características estudadas, próximas aos valores encontrados para o referente estudo.

Miranda (2012), estudando uma população com aproximadamente 150 progênies de polinização aberta de *E. grandis* em quatro diferentes condições edafoclimáticas observou acurácia seletiva para ALT, DAP e VOL aos dois anos de idade, acima de 85%, atestando boa precisão e controle ambiental.

As estimativas para o coeficiente de herdabilidade individual para danos por geadas (Tabela 9), no sentido restrito (0,42 e 0,43) e herdabilidade média de progênies (0,49 e 0,50) apresentaram-se medianos para os testes, conforme valores adotados por Resende (1995).

**Tabela 6.** Estimativas dos parâmetros genéticos para as características de crescimento em altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m<sup>3</sup>) nas idades de 12 e 24 meses para os testes de progênes de *E. urophylla* para a localidade de Anhembi/SP (**sem ocorrência de danos por geadas**), e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (**com ocorrência de danos por geadas**).

Características	Local	Parâmetros genéticos											
		Média		LTR		$\hat{C}_{parc}^2$		$CV_e\%$		$CV_{gi}\%$		$CV_{gp}\%$	
		12*	24	12	24	12	24	12	24	12	24	12	24
ALT	Anhembi	10,40	14,99	165,89**	177,21**	0,123	0,065	11,52	10,65	10,81	11,71	5,40	5,85
	Itatinga	6,79	10,68	437,25**	300,06**	0,126	0,031	11,02	9,35	11,67	16,61	8,83	8,30
	Palma Sola	3,79	5,79	135,03**	109,49**	0,123	0,132	23,11	23,51	16,22	16,26	8,13	8,13
DAP	Anhembi	7,89	10,52	110,51**	162,02**	0,045	0,006	12,61	12,34	11,53	13,04	5,76	6,52
	Itatinga	5,65	8,80	432,35**	251,24**	0,018	0,005	9,80	10,98	17,90	21,14	8,99	10,56
	Palma Sola	7,09	10,60	146,42**	171,07**	0,102	0,101	9,41	9,50	6,98	7,00	3,49	3,51
VOL	Anhembi	0,029	0,077	109,42**	129,66**	0,061	0,008	27,26	25,94	27,51	28,06	13,75	14,03
	Itatinga	0,010	0,047	358,08**	226,84**	0,073	0,034	23,63	21,51	43,39	45,16	21,69	22,58
	Palma Sola	0,008	0,012	80,64**	102,83**	0,112	0,114	36,04	36,10	31,35	31,40	15,67	15,70

Média \* 12 e 24 meses de idade; LTR= teste da razão de verossimilhança (\*\*significativo a 1%, com 0,5 grau de liberdade; ns não significativo);  $\hat{C}_{parc}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;  $CV_e\%$ : coeficiente de variação residual;  $CV_{gi}\%$ : coeficiente de variação genética aditiva individual;  $CV_{gp}\%$ : coeficiente de variação genotípica entre progênes.

**Tabela 7.** Estimativas dos parâmetros genéticos para a avaliação de danos por geadas (GE) e sobrevivência de plantas (SOB) aos 12 meses para os testes de progênies de *E. urophylla* para a localidade de Anhembi/SP (**sem ocorrência de danos por geadas**), e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (**com ocorrência de danos por geadas**).

Características	Local	Média	Parâmetros genéticos				
			LTR	$\hat{C}_{parc}^2$	$CV_e$ %	$CV_{gi}$ %	$CV_{gp}$ %
GE	Anhembi	-	-	-	-	-	-
	Itatinga	1,54	120,39**	0,212	7,7	8,81	4,4
	Palma Sola	1,84	219,51**	0,210	5,4	6,15	3,07
SOB	Anhembi	88%	226,64**	0,052	16,6	8,9	4,5
	Itatinga	97%	113,73**	0,017	7,2	4,7	2,3
	Palma Sola	78%	178,07**	0,044	22,6	15,9	7,9

Média aos 12 meses de idade; LTR= teste da razão de verossimilhança (\*\*significativo a 1%, com 0,5 grau de liberdade; ns não significativo);  $\hat{C}_{parc}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;  $CV_e$  %: coeficiente de variação residual;  $CV_{gi}$  %: coeficiente de variação genética aditiva individual;  $CV_{gp}$  %: coeficiente de variação genotípica entre progênies.

**Tabela 8.** Estimativas dos parâmetros genéticos para as características de crescimento em altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m<sup>3</sup>) nas idades de 12 e 24 meses para os testes de progênies de *E. urophylla* para a localidade de Anhembi/SP (**sem ocorrência de danos por geadas**), e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (**com ocorrência de danos por geadas**).

Características	Local	Parâmetros genéticos									
		$\hat{h}_a^2$		$\hat{h}_m^2$		$\hat{h}_{ad}^2$		$CV_r$		$\hat{r}_{aa}$ (%)	
		12*	24	12	24	12	24	12	24	12	24
ALT	Anhembi	0,23	0,25	0,47	0,55	0,21	0,22	0,47	0,55	68	74
	Itatinga	0,63	0,54	0,72	0,76	0,66	0,48	0,80	0,88	84	87
	Palma Sola	0,13	0,13	0,32	0,31	0,12	0,11	0,35	0,37	57	58
DAP	Anhembi	0,16	0,18	0,45	0,53	0,13	0,14	0,45	0,53	67	73
	Itatinga	0,53	0,55	0,77	0,79	0,47	0,48	0,91	0,96	88	88
	Palma Sola	0,13	0,13	0,35	0,35	0,11	0,12	0,38	0,36	59	60
VOL	Anhembi	0,21	0,19	0,50	0,54	0,18	0,15	0,50	0,54	71	73
	Itatinga	0,67	0,72	0,77	0,81	0,66	0,69	0,91	1,04	92	90
	Palma Sola	0,19	0,19	0,43	0,43	0,17	0,17	0,44	0,43	66	67

$\hat{h}_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $\hat{h}_m^2$ : herdabilidade da média de progênies;  $\hat{h}_{ad}^2$ : herdabilidade aditiva dentro de parcela;  $CV_r$ : coeficiente de variação relativa;  $\hat{r}_{aa}$ : acurácia da seleção de progênies; 12\* e 24 meses de idade.

**Tabela 9.** Estimativas dos parâmetros genéticos para a avaliação de danos por geadas (GE) e sobrevivência de plantas (SOB) aos 12 meses para os testes de progênies de *E. urophylla* para a localidade de Anhembi/SP (**sem ocorrência de danos por geadas**), e para as localidades de Itatinga/SP e Palma Sola/SC (**com ocorrência de danos por geadas**).

		Parâmetros genéticos				
Características	Local	$\hat{h}_a^2$	$\hat{h}_m^2$	$\hat{h}_{ad}^2$	$CV_r$	$\hat{r}_{aa}$ (%)
		12	12	12	12	12
GE	Anhembi	-	-	-	-	-
	Itatinga	0,42	0,49	0,47	0,58	70
	Palma Sola	0,43	0,50	0,47	0,57	71
SOB	Anhembi	0,06	0,22	0,05	0,27	47
	Itatinga	0,07	0,30	0,06	0,32	55
	Palma Sola	0,10	0,32	0,08	0,35	57

$\hat{h}_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $\hat{h}_m^2$ : herdabilidade da média de progênies;  $\hat{h}_{ad}^2$ : herdabilidade aditiva dentro de parcela;  $CV_r$ : coeficiente de variação relativa;  $\hat{r}_{aa}$ : acurácia da seleção de progênies; 12\* meses de idade.

### 5.2.2. Correlações genéticas e fenotípicas

Na Tabela 10 e Figuras 20 e 21 estão apresentadas às correlações genéticas ( $r_g$ ) e fenotípicas ( $r_f$ ) para as características ALT, DAP, e VOL para os três experimentos em Anhembi (Local 1), Itatinga (Local 2) e em Palma Sola (Local 3) sob o efeito de geadas. Os resultados mostram potencialidades na utilização de seleção simultâneas em programas de melhoramento genético para características silviculturais para estas regiões.

As correlações para as características silviculturais, de maneira geral, apresentaram valores de médios a altos. As maiores correlações foram encontradas para característica de volume de madeira, nas diferentes idades. Os altos valores encontrados mostram que o desempenho dos materiais não varia com o aumento da idade. Esse comportamento é importante quando se deseja realizar seleção precoce.

Vários trabalhos na literatura (HIGA et al., 1997; HIGA, 1998; HIGA et al., 2000; MORAES et al., 2011) mostraram que a característica altura de indivíduos é muito importante, e deve ser avaliada em condições edafoclimáticas com ocorrência de geadas, pois existe forte evidências (relação) entre as duas características, pois quando maior o crescimento em altura dos indivíduos menos afetados são os ápices os indivíduos.

Higa (1998) avaliando 40 progênies de *E. dunnii* observou-se que os valores das correlações entre tolerância à geadas e crescimento em altura foram positivos e significativos, enquanto que as correlações entre a tolerância à geadas e resiliência foram significativos, mas negativos.

Outros autores estudando outras características (PITZ FLORIANI et al. 2013) como, por exemplo, a relação entre concentrações foliares de carboidratos solúveis totais e tolerância ao frio em diferentes espécies de eucaliptos encontraram correlação negativa entre a concentração foliar de carboidratos solúveis totais nas espécies avaliadas.

Silva (2008) estudando tolerância à geadas em 32 progênies de *E. benthamii* observou correlações genéticas entre o DAP e as características bifurcação e forma de fuste de baixa magnitude, exceto para a correlações entre a sobrevivência e o DAP nas localidades de Calmon (0,37) e Vargem Bonita (0,45), com valores moderados. Segundo o mesmo autor, correlações positivas indicam que o sentido da seleção é o mesmo, isto é, que a seleção para uma das características significa, também, melhoria para a outra.

Wilcox (1980) trabalhando com *E. regnans* também não observou altas correlações entre características de crescimento silvicultural e de tolerância à geadas. Segundo o

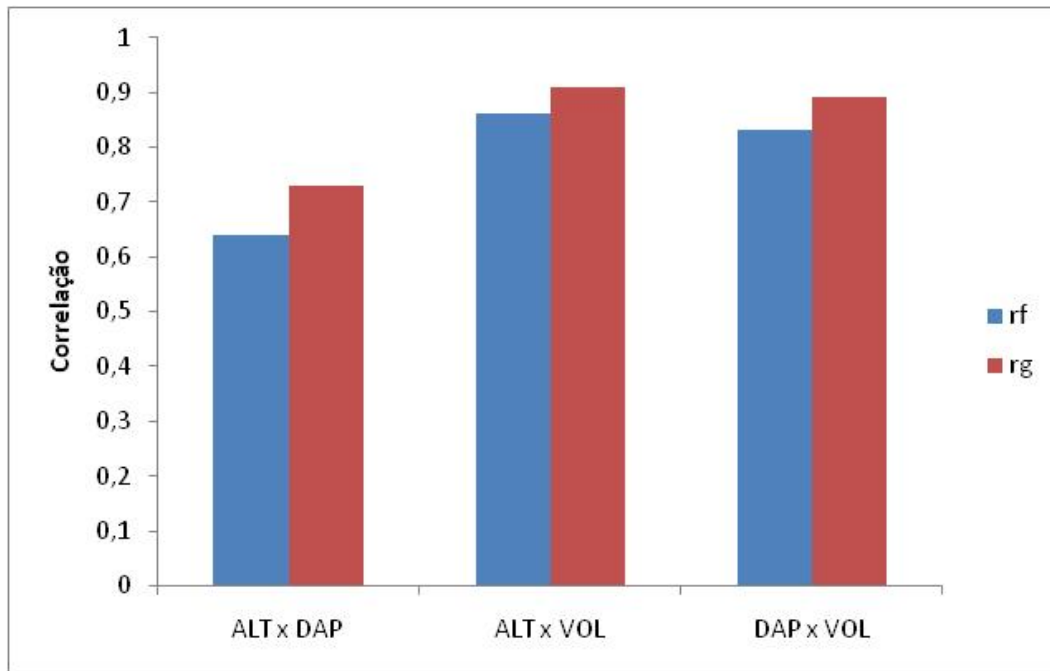
autor, algumas progênies são tolerantes às geadas porque possuem a capacidade de se aclimatar rapidamente, enquanto outras não são capazes de se aclimatarem até o início do inverno. Isso explicaria a correlação baixa ou inexistente entre o crescimento vegetativo e a tolerância à geada encontradas para a espécie.

Higa (1998) constatou, para *E. dunnii*, alta correlação genética entre a característica DAP e tolerância à geada, aos 36 meses de idade. No entanto, o mesmo autor encontrou para as outras características baixas correlações entre o crescimento e tolerância, o que limita a obtenção de ganhos para seleção simultânea.

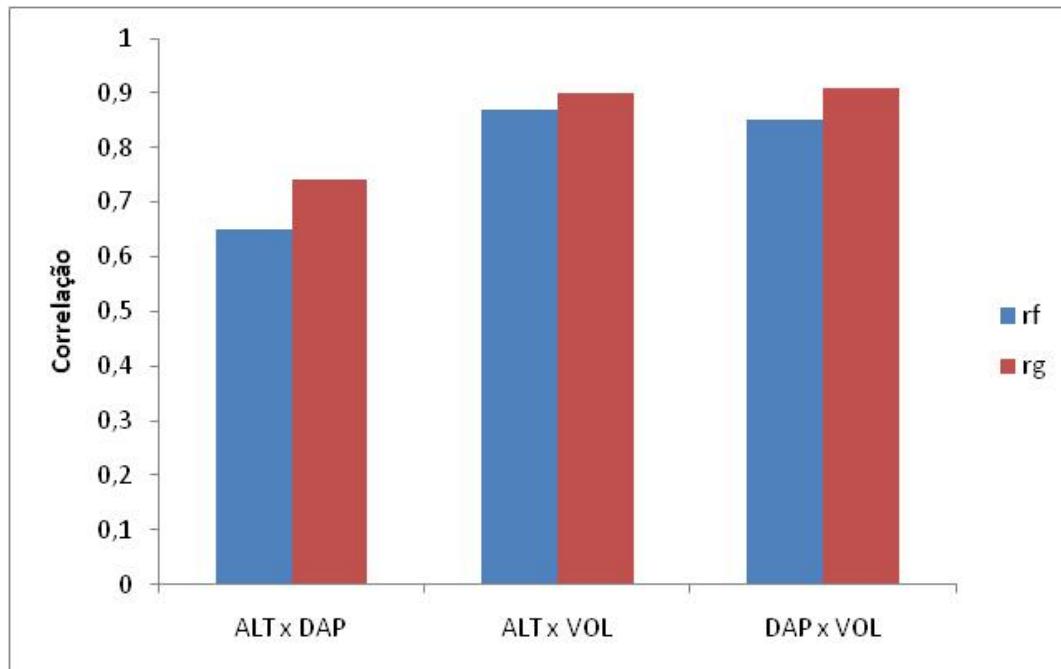
**Tabela 10.** Correlações fenotípicas ( $r_f$ ) e genéticas aditivas ( $r_g$ ) entre altura de plantas (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m<sup>3</sup>) para os três experimentos implantados (Anhembí: Local 1 (L1), Itatinga: Local 2 (L2) e Palma Sola: Local 3 (L3) nas idades de 12 e 24 meses.

		Características					
Idade	Local	ALT x DAP		ALT x VOL		DAP x VOL	
		$r_f$	$r_g$	$r_f$	$r_g$	$r_f$	$r_g$
12*	L1	0,81	0,86	0,82	0,89	0,94	0,95
	L2	0,82	0,86	0,92	0,96	0,86	0,92
	L3	0,30	0,46	0,85	0,87	0,69	0,79
	<b>Média</b>	<b>0,64</b>	<b>0,73</b>	<b>0,86</b>	<b>0,91</b>	<b>0,83</b>	<b>0,89</b>
24	L1	0,81	0,83	0,81	0,88	0,94	0,95
	L2	0,83	0,90	0,91	0,95	0,92	0,96
	L3	0,30	0,47	0,85	0,87	0,69	0,80
	<b>Média</b>	<b>0,65</b>	<b>0,74</b>	<b>0,87</b>	<b>0,90</b>	<b>0,85</b>	<b>0,91</b>

12\* e 24 meses.



**Figura 20.** Média das correlações genéticas ( $r_g$ ) e fenotípicas ( $r_f$ ) para as características altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m<sup>3</sup>) aos 12 meses.



**Figura 21.** Média das correlações genéticas ( $r_g$ ) e fenotípicas ( $r_f$ ) para as características altura de planta (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m<sup>3</sup>) aos 24 meses.

Considerando a característica DAP, as correlações genéticas e fenotípicas nas diferentes idades de 12 e 24 meses foram altas nas localidades de Anhembi e Itatinga, sendo que na localidade de Palma Sola os valores apresentaram-se menores, variando de 0,30 a 0,80.

As correlações fenotípicas médias variaram nas idades 12 e 24 meses de 0,64 até 0,87 nas três regiões edafoclimáticas de estudo, não tendo diferenças significativas entre as idades. Quanto às correlações genéticas médias, as estimativas variaram desde 0,64 a 0,91 para as idades de 12 e 24 meses, com a melhor correlação para DAP x VOL.

Zimback et al. (2011) trabalhando com progênies de *E. grandis* em regiões sem ocorrência de geadas obtiveram correlações genéticas acima de 0,81 para DAP e altura com volume em todas as idades nos experimentos, sendo esperada boa resposta correlacionada na seleção para volume (BRIZOLLA, 2009).

A característica que melhor representa os ganhos genéticos comerciais é o volume de madeira. Para esta característica a melhor correlação encontrada foi (0,91) na idade 24 meses entre o VOL x DAP.

### 5.2.3. Análise Conjunta

A significância dos efeitos genéticos aditivos e dos efeitos da interação, envolvendo os três testes de progênies estão apresentados na Tabela 11. As análises de desviance foram para todas as progênies e características, indicando a existência de variabilidade genética entre progênies e a possibilidade de ganhos com a seleção. Os efeitos da interação genótipos x ambientes foram significativos, indicando diferenças entre os genótipos dentro de cada ambiente.

**Tabela 11.** Análise de desviance para as características quantitativas de progênies de *E. urophylla*, para os três locais, aos 12\* e 24 meses de idade.

Efeito	ALT		DAP		VOL	
	12*	24	12	24	12	24
Progênies	359,16**	320,32**	371,57**	389,83**	270,40**	234,84**
Parcela	105,66**	5,71*	9,78**	0,45 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
Prog x Loc	98,08**	85,71**	53,34**	14,68**	15,30**	91,58**

Qui-quadrado tabelado: 3,84(\*) e 6,63(\*\*) para os níveis de significância de 5% e 1%, respectivamente a 1° grau de liberdade.

Para a escolha das progênies que apresentam adaptação ampla ou restrita aos locais específicos (BRESSIANI et al., 2002), estudos mais detalhado dessa interação é necessário, pois esses valores servirão de subsídios aos melhoristas.

De modo geral, os resultados indicaram que existem diferenças genéticas entre as progênies e, portanto, existe a possibilidade de melhoramento genético da população a partir da seleção entre progênies em cada um dos locais.

Na Tabela 12 estão apresentadas as estimativas dos parâmetros genéticos da análise conjunta para os locais em estudo.

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas ( $\hat{C}_{parc}^2$ ) foi baixo para todas as características avaliadas e em todos os locais, isso indica que não houve heterogeneidade ambiental dentro dos blocos, podendo inferir que o delineamento foi eficiente e a capacidade de teste adequada (STURION; RESENDE, 2005). A acurácia seletiva para ALT, DAP e VOL foi acima de 76% em todos os locais, indicando boa precisão da seleção e maior ganho genético (Tabela 12).

O coeficiente de determinação da interação genótipos x ambientes ( $\hat{C}_{int}^2$ ) para os caracteres ALT, DAP e VOL foi significativa, apresentando moderada amplitude de variação.

O resultado do  $\hat{C}_{int}^2$  conduziu a um valor de correlação genotípica ( $\hat{r}_{gloc}$ ) acima de 60% para ALT e DAP para ambas as idades, apresentando boa magnitude, indicando que a interação não é de natureza complexa, ou seja, a posição relativa dos genótipos é pouca alterada (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). A interação simples ocorre quando os genótipos apresentam diferentes comportamentos nos diferentes tipos de ambiente, mas a classificação da produtividade dos genótipos não altera entre os ambientes (MORAIS et al., 2010).

Os coeficientes de herdabilidade em nível de médias de progênies ( $\hat{h}_m^2$ ) apresentaram-se altos, acima de 60% para as características de crescimento ALT e DAP, indicando que grande parte da variação fenotípica total e média entre progênies é de origem genética e, portanto, o controle genético das características é alto ao nível de médias de progênies na análise conjunta.

**Tabela 12.** Estimativas dos parâmetros genéticos para a análise conjunta das três regiões edafoclimáticas onde estão os testes de progênies de *E. urophylla*, avaliados aos 12 e 24 meses de idade, para as características altura de plantas (ALT m), diâmetro à altura do peito (DAP cm) e volume de madeira (VOL m<sup>3</sup>).

Parâmetros genéticos	Características					
	ALT		DAP		VOL	
	12*	24	12	24	12	24
$\hat{h}_a^2$	0,056	0,060	0,043	0,055	0,035	0,048
$\hat{C}_{parc}^2$	0,100	0,070	0,079	0,012	0,066	0,014
$\hat{C}_{int}^2$	0,016	0,017	0,028	0,022	0,025	0,028
$\hat{h}_m^2$	0,68	0,72	0,60	0,72	0,60	0,70
$\hat{r}_{aa}$	0,82	0,85	0,78	0,85	0,76	0,82
$\hat{r}_{gloc}$	0,77	0,78	0,60	0,71	0,58	0,63
$CV_{gi}(\%)$	6,5	6,71	5,05	6,22	13,42	15,82
$CV_e$	13,68	12,58	11,38	10,75	32,71	29,32
<b>Média</b>	<b>6,61</b>	<b>10,46</b>	<b>7,26</b>	<b>9,99</b>	<b>0,0158</b>	<b>0,0458</b>

$\hat{h}_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $\hat{C}_{parc}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;  $\hat{C}_{int}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente;  $\hat{h}_m^2$ : herdabilidade da média de progênies;  $\hat{r}_{aa}$ : acurácia da seleção de progênies;  $\hat{r}_{gloc}$ : correlação genotípica entre o desempenho das progênies nos vários ambientes;  $CV_{gi}\%$ : coeficiente de variação genotípica individual;  $CV_e\%$ : coeficiente de variação residual; Média geral do experimento; \* 12 e 24 meses de idade.

#### 5.2.4. Ganho na seleção - Índice Multi-efeitos

A utilização do Índice Multi-efeitos (IME) permite segundo Resende e Higa (1994), explorar frações da variância genética aditiva que não são consideradas na seleção entre e dentro de progênies, levando a melhor precisão no momento da seleção, muito embora, nos casos em que o experimento esteja bem conduzido e balanceado, a inclusão dos efeitos de parcela e blocos pode pouco alterar na seleção. Os resultados apresentados na Tabela 16 são importantes quando deseja conhecer o ganho na seleção e o que a seleção para a obtenção deste ganho pode provocar em termos de tamanho efetivo ( $N_e$ ) e diversidade genética ( $\hat{D}$ ).

Para estimar os ganhos genéticos na seleção em cada local foi proposta a seguinte estratégia, utilizando o Índice de Multi-efeito (IME): seleção dos 330 melhores indivíduos para cada local com base na classificação do IME independente do número de indivíduos por família ( $K_f$ : variável). A característica utilizada foi o ALT aos 24 meses já que esta característica gerou resultados importantes para as regiões à geada (Tabela 13).

A região de Itatinga apresentou o maior ganho genético ( $G_s\% = 34,89$ ) na seleção com um número de progênies selecionadas de  $N_f = 101$ , consequentemente levando a uma diversidade genética de  $\hat{D} = 0,372$ , para uma seleção ideal, mantendo aceitável diversidade na população.

O número de progênies e o número médio de indivíduos selecionados por progênies para cada local foi diferente, afetando diretamente o tamanho efetivo da população. É importante atentar para o número médio de indivíduos selecionados por progênies, tanto para elevar o tamanho efetivo populacional, como para manter uma alta diversidade genética da população de melhoramento.

Segundo Moraes (2001) com a seleção dos melhores indivíduos pelo IME, delimitando um valor máximo de indivíduos selecionados por progênie ( $K_f$ ), consegue-se um aumento no número de progênies selecionadas, um tamanho efetivo populacional adequado e uma boa diversidade genética.

Para a região de Palma Sola onde a geada foi mais severa, verificou-se menor número de progênies selecionadas; ou seja, é possível verificar que o tamanho efetivo correspondeu a 92 e a diversidade genética a  $\hat{D} = 0,185$ . Portanto, foi mantida nesta condição 18% da diversidade genética inicial existente no teste de progênies. Com à geada diminuiu o número de progênies selecionadas e observou um aumento do número de indivíduos para as progênies mais tolerantes às condições de geada.

**Tabela 13.** Seleção das progênies de *E. urophylla* aos 24 meses de idade utilizando o Índice de Multi-efeito (IME) com base na característica altura (ALT m) em três localidade.

Anhembi		Palmasola		Itatinga	
Progênies	K <sub>f</sub>	Progênies	K <sub>f</sub>	Progênies	K <sub>f</sub>
59	2	59	4	59	1
75	15	67	1	48	1
85	14	50	2	82	1
50	4	47	2	67	2
103	1	78	7	103	3
94	10	82	2	79	1
64	2	103	7	93	4
79	2	75	6	78	3
167	7	101	14	75	10
95	6	93	3	77	9
81	7	80	12	85	7
82	10	154	6	154	4
63	2	90	18	50	2
48	6	63	1	101	1
101	2	81	9	80	1
N	330		330		330
N <sub>f</sub>	94		61		101
$\bar{K}_f$	3,4		5,2		3,2
$\hat{\sigma}_{Kf}^2$	13,22		31,51		7,47
N <sub>e</sub>	128,45		92,72		154,27
IME (a)	2,13		1,96		1,86
Gs%	28,78		23,55		34,89
$\hat{D}$	0,298		0,185		0,372

N: n° de indivíduos selecionados; N<sub>f</sub>: n° de progênies selecionadas; K<sub>f</sub>: n° de indivíduos selecionados por progênie;  $\bar{K}_f$ : n° médio de indivíduos selecionados por progênie;  $\hat{\sigma}_{Kf}^2$ : variância do n° de indivíduos selecionados por progênie; N<sub>e</sub>: tamanho efetivo; a: efeito genético aditivo = IME: Índice Multi-efeito; Gs%: Ganho na seleção;  $\hat{D}$ : Diversidade genética.

Moraes (2001), estudando o gênero *Pinus*, encontrou para o DAP eficiência do IME de 12,81%, quando comparado com a seleção entre e dentro de progênies. Essa metodologia tem sido aplicada a diversas espécies perenes: *Pinus* (MISSIO et al., 2005), *Eucalyptus* (ROCHA et al., 2007). A seleção baseada no Índice Multi-efeitos promove ganhos

genéticos mais elevados, por conta da exploração dos efeitos de progênes, de parcela e de indivíduos dentro da parcela.

O adequado é que para cada local seja feita uma seleção diferente, pois além de proporcionar maior eficiência no ganho genético ainda mantém uma alta diversidade genética na população principal, ou seja, condições ideais para a continuidade do melhoramento genético ao longo das futuras gerações.

#### **5.2.5. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade**

Foram selecionadas 50 progênes conforme a classificação do programa SELEGEN, ou seja, aproximadamente 30% do total das progênes presentes nos testes de cada região edafoclimática, na análise conjunta de todos os ambientes e para as análises de estabilidade, adaptabilidade e simultaneamente por produtividade, estabilidade e adaptabilidade.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados referentes à seleção das 15 melhores progênes para a característica altura de plantas (ALT m) segundo diferentes critérios de seleção, conforme modelo matemático 51 do programa SELEGEN (RESENDE, 2006). Foi estabelecido para este estudo, que a característica altura de plantas (ALT m) para região de geada é muito importante (pois indivíduos mais altos são menos afetados), desta maneira, foi utilizado como critério de seleção.

Analisando o resultado da seleção das 15 melhores progênes classificadas pela análise conjunta, verifica-se que as grandes maiorias das progênes selecionadas contemplam de forma satisfatória cada região edafoclimática. Isto está de acordo com a boa correlação genotípica para a característica altura de plantas ( $\hat{r}_{gloc} = 0,78$ ) entre os locais, verificada na análise conjunta, com destaque para a progênie 59 que obteve ótimo desempenho para todas as regiões.

**Tabela 14.** Seleção das melhores progênies de *E. urophylla* com base na altura de plantas (ALT m), em cada local de estudo, em todos os locais e com base na estabilidade genotípica (MHVG), adaptabilidade genotípica (PRVG) e simultaneamente por produtividade, estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) aos 24 meses de idade.

Ordem	Anhembi	Itatinga	Palma Sola	Conjunta	MHVG	PRVG	MHPRVG
	Progênies	Progênies	Progênies	Progênies	Progênies	Progênies	Progênies
1	59	59	59	59	59	59	59
2	82	48	67	82	67	82	82
3	75	82	50	67	82	57	67
4	85	67	47	48	50	50	50
5	101	103	78	75	75	75	75
6	48	79	82	50	47	48	48
7	64	93	103	101	78	101	101
8	67	78	75	85	101	47	47
9	50	75	101	47	103	103	103
10	79	77	93	64	93	78	93
11	167	85	80	93	48	93	78
12	47	154	154	103	80	80	80
13	63	50	90	63	63	63	64
14	81	101	63	79	154	64	63
15	88	80	81	167	167	85	85

Utilizando o método MHPRVG, foram explorados os conceitos de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e os dois atributos simultaneamente, e também considerando a produtividade genotípica. Foi verificado que mesmo não obedecendo 100% a ordem de seleção, a grande maioria das melhores progênies coincidiu com as melhores selecionadas com base na análise conjunta de todos os locais. Isto é um bom sinal, pois indica que as melhores progênies são também estáveis e de boa adaptabilidade.

Para Resende (2007) estabilidade (MHVG) é a pequena variação na performance genotípica através do ambiente e a adaptabilidade (PRVG) é a capacidade de resposta de um genótipo à melhoria do ambiente.

Miranda (2012) estudando progênies de *Eucalyptus grandis*, para as análises de MHVG, PRVG e MHPRVG aos 12 meses, para as 10 primeiras progênies (13, 163, 15, 14, 139, 29, 30, 131, 22 e 107) obteve coincidência de 100% na classificação, quando comparado com a análise conjunta, tendo somente uma progênie (21) que não coincidiu. Aos 24 meses as 10 primeiras progênies foram 163, 15, 131, 14, 152, 13, 98, 29, 139 e 30 que também coincidiram 100% em todas as análises.

Murillo et al. (2007 apud Resende, 2007) estudando *Tectona grandis* em diferentes experimentos na Costa Rica, observaram que dentre as melhores progênies na análise conjunta de todos os sítios, estão também as dez melhores nos sítios 1, 2, 3 e 4 respectivamente, indicado pela análise conjunta para todos os sítios, atende-se muito bem cada sítio em particular. Resultados estes que estão de acordo com os encontrados para este trabalho.

As progênies que aparecem bem classificadas em todos os ambientes como as mais produtivas não foram influenciadas significativamente pelo ambiente e, conseqüentemente, apresentaram pequena variação na interação genótipos x ambientes, como foram os casos das progênies 59, 82 e 67. A estabilidade de valores genéticos pode ser avaliada via Média Harmônica de Valores Genéticos (MHVG). Esta medida indica a previsibilidade, isto é, a manutenção da produtividade, frente às diversidades dos ambientes (MAIA et al., 2009). Esse resultado é indicativo de que predições seguras sobre valores genéticos podem ser feitas com um único critério de seleção contemplando três atributos: produção, adaptabilidade e estabilidade.

As progênies 59, 67, 48 e 50 podem ser recomendadas para plantios em vários ambientes, com diferentes padrões de interação genótipos x ambientes (G x E), particularizada neste estudo, e também possível material genético (fonte de genes) para cruzamentos controlados para tolerância à geadas. A necessidade de alta produtividade dos materiais genéticos em vários ambientes tornam-se a recomendação de genótipos adaptáveis e estáveis uma das principais estratégias dos programas de melhoramento atuais (LAVORANTI, 2003), principalmente para regiões de ocorrência às geadas.

A metodologia utilizada além de ranquear as progênies com ampla adaptabilidade e estabilidade constante para diversos ambientes, permite inferências adicionais,

tais como: seleção de genótipos específicos para cada local; seleção de genótipos estáveis através de locais e seleção de genótipos responsivos à melhoria do ambiente (RESENDE, 2004).

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados da seleção individual de 30 indivíduos superiores para compor a base genética de um pomar clonal de sementes para região de ocorrência à geada, com base na análise conjunta de todos os locais, realizado pelo modelo matemático 4 do programa SELEGEN.

**Tabela 15.** Seleção dos 30 melhores indivíduos de *E. urophylla* em três locais (Anhembi/SP, Itatinga/SP e Palma Sola/SC) para a característica altura de plantas (ALT m), com base nos efeitos aditivos (a), valores genéticos aditivos (u + a), efeitos de dominância (d) e efeitos genotípicos totais (g), sem restrição do tamanho efetivo populacional (Ne).

Ordem	Bloco	Progênie	Árvore	f	a	u + a	Ganho	Nova Média	Ne	d	g
1	2	50	5	21,00	4,34	14,81	4,34	14,81	1,00	2,23	6,57
2	3	97	1	23,80	2,15	12,62	3,24	13,71	2,00	1,03	3,18
3	4	59	5	20,80	2,09	12,56	2,86	13,33	3,00	0,61	2,70
4	1	60	3	13,50	2,08	12,55	2,66	13,13	4,00	1,14	3,22
5	1	79	5	11,40	2,07	12,54	2,55	13,01	5,00	0,86	2,94
6	1	154	1	22,40	1,99	12,46	2,45	12,92	6,00	0,84	2,84
7	1	85	2	11,10	1,94	12,41	2,38	12,85	7,00	0,74	2,69
8	4	156	3	23,30	1,91	12,37	2,32	12,79	8,00	1,08	2,99
9	1	75	3	11,25	1,90	12,37	2,27	12,74	9,00	0,64	2,55
10	2	63	3	21,60	1,89	12,36	2,24	12,70	10,00	0,74	2,64
11	1	62	4	13,50	1,89	12,36	2,20	12,67	11,00	1,06	2,96
12	1	63	5	12,45	1,86	12,33	2,18	12,64	11,49	0,72	2,58
13	1	75	4	21,50	1,82	12,29	2,15	12,62	12,03	0,59	2,41
14	4	103	2	20,60	1,81	12,28	2,12	12,59	13,03	0,67	2,49
15	1	81	4	12,00	1,81	12,28	2,10	12,57	14,03	0,72	2,54
16	2	81	5	22,00	1,80	12,27	2,09	12,55	14,58	0,72	2,53
17	4	67	5	19,10	1,80	12,27	2,07	12,54	15,58	0,53	2,34
18	1	123	3	12,00	1,79	12,27	2,05	12,52	16,57	0,83	2,64
19	3	50	1	20,00	1,78	12,26	2,04	12,51	17,14	0,53	2,33
20	2	79	4	20,30	1,77	12,25	2,03	12,50	17,73	0,66	2,45
21	1	95	3	22,20	1,76	12,24	2,01	12,48	18,72	0,86	2,63
22	3	48	3	20,40	1,76	12,23	2,00	12,47	19,71	0,54	2,31
23	1	82	2	20,30	1,75	12,23	1,99	12,46	20,70	0,47	2,23
24	1	85	6	10,20	1,75	12,22	1,98	12,45	21,28	0,61	2,37
25	1	117	2	13,50	1,73	12,21	1,97	12,44	22,27	1,10	2,85
26	1	82	4	8,70	1,73	12,20	1,96	12,43	22,86	0,45	2,19
27	4	75	3	20,50	1,73	12,20	1,96	12,42	23,07	0,53	2,26
28	1	167	1	10,50	1,73	12,20	1,95	12,42	24,05	0,63	2,36
29	2	50	1	19,50	1,72	12,20	1,94	12,41	24,29	0,49	2,22
30	4	50	2	19,40	1,70	12,19	1,93	12,40	24,21	0,49	2,22

Como apresentado na Tabela 15, o melhor indivíduo para a altura de plantas (ALT m), dentre todos os avaliados nas três regiões edafoclimática foi o indivíduo 5 da progênie 50, do bloco 2 e do local 1. Seu valor fenotípico observado (f) é de 21,0 m e seu valor genético aditivo é de 14,8. Assim, em uma produção de sementes desse indivíduo, metade desse valor genético aditivo será transmitida para a sua descendência. O efeito genotípico ( $g = 6,57$ ) desse indivíduo somado à média geral (10,46) fornece o valor genotípico ou valor clonal do mesmo, que neste caso é de 17,03.

A seleção dos 30 melhores indivíduos (Figuras 22 e 23) para o estabelecimento de um pomar de sementes conduzirá a um ganho genético de 1,94 sobre a média geral (10,46) e a média da população melhorada em uma próxima geração de plantio será de 12,40. O ganho genético será então de 18,54 %.



**Figura 22.** Indivíduos superiores de *E. urophylla* selecionados para tolerância à geada no município de Palma Sola/SC.



**Figura 23.** Indivíduo superior de *E. urophylla* selecionado para tolerância à geada no município de Palma Sola/SC.

Esses 30 genótipos selecionados representam um tamanho efetivo populacional de 24,21, equivalente em termos de indivíduos não aparentados. O número efetivo 21 é menor que o número físico 30, porque vários desses indivíduos são meios irmãos devido ao fato de pertencerem à mesma progênie. Exemplo disso são as progênies 50 e 75 que contribuem com 10% de indivíduos cada, sendo 3 da progênie 50 e 3 da progênie 75 em um montante de 30 indivíduos selecionados (INDIVÍDUOS SELECIONADOS APÊNDICE).

Com este valor de tamanho efetivo ( $N_e$ ), o coeficiente de endogamia ou de endocruzamento associado as sementes que serão produzidas na próxima geração é de  $F = [1/(2N_e)] = 2,4\%$ . Este valor indica que na próxima geração estaremos perdendo 2,4% da variação por geração em função da endogamia.

Os resultados apontaram presença de variabilidade genética para as progênies de polinização aberta para a espécie *E. urophylla* para às condições de geadas moderadas e severas.

Essa variação genética entre e dentro das progênies de *E. urophylla* foi observada pelos valores estimados pelo coeficiente de variação genética individual ( $CV_{gi}$ ) que variou de 5 a 45% para as características estudadas.

Os resultados obtidos pela análise de variância conjunta pode-se verificar que o efeito da interação genótipos x ambientes foi significativo, causando comportamento diferenciado dos genótipos em relação aos ambientes avaliados, justificando a aplicação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade.

Foi verificada pequena alteração no ordenamento da classificação das 15 melhores progênies, para altura de plantas (ALT m), ao longo dos ambientes. As estatísticas MHVG (estabilidade), PRVG (adaptabilidade) e MHPRVG (produtividade, estabilidade e adaptabilidade) são eficientes como critérios seletivos de genótipos no programa de melhoramento desta população de *E. urophylla*, permitindo seleção de progênies com alto potencial produtivo e também para às condições de geada.

A seleção dos 30 melhores indivíduos para o estabelecimento de um pomar clonal (polinização controlada), podem gerar materiais genéticos potenciais para as regiões 2 (Itatinga/SP) e 3 (Palma Sola/SC) para estudos mais detalhados para o fenômeno de geada.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo permitiram as seguintes conclusões:

- a) o material genético de *E. urophylla* apresentou variabilidade para tolerância à geada às condições de geada, mostrando potencialidade para seleção em programas de melhoramento;
- b) alterações morfológicas ocorreram principalmente para forma do fuste, da copa dos indivíduos e aumento da percentagem de plantas bifurcadas;
- c) as herdabilidades ( $\hat{h}^2$ ) foram de médias a altas para danos por geada, métodos simples podem ser eficientes na seleção;
- d) a interação genótipos x ambientes (G x E) apresentou interação simples indicando diferenças entre as progênies e os ambientes;
- e) as progênies 48, 50, 59, 67, 75 e 85 apresentaram-se potenciais para tolerância à geada.

## 7. REFERÊNCIAS

AGRAWAL, A.A.; CONNER, J.K.; STINCHCOMBE, J.R. Evolution of plant resistance and tolerance to frost damage. **Ecology Letters**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 1199-1208, 2004.

ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1971. 381 p.

ALVAREZ, J.S.; STAPE, J.L.; FOX, T.; RUBILAR, R.; ALBAUGH, T. Estimating potential productivity of cold-tolerant *Eucalyptus benthamii* in the Southeastern US. In: IUFRO WORKING GROUP 2.08.03 IMPROVEMENT AND OF CULTURE EUCALYPTUS, 2011. Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2011. CD-ROM.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Rome, v. 46, p. 269-278, 1992.

AOZANI, T.S.; PAVAN, B.E.; SILVA, W.M.; COSTA, T.K.C.L.; COSTA JUNIOR, S.A.C. Interação genótipos x ambientes em clones de eucalipto no norte do Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 433-436.

ASSIS, T.F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 189, p. 32-51, 1996.

ASSIS, T.F.; RESENDE, M.D.V. Genetic improvement of forest tree species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa-MG, v. 1, p. 44-49, 2011.

AWE, J.O.; SHEPHARD, K.R. Provenance variation in frost resistance in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. **Australian Forestry**, Canberra, v. 38, n.1, p.26-33, 1975.

BALMELLI, G. Daño de Heladas en *Eucalyptus*: Evaluacion de daño en especies y origenes en el primer invierno. **Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria**, Tacuarembó, 32 p. 1993. (Série Técnica, 40).

BARROS, H.S.D.; PEREIRA, A.G.; MORAES, C.B.; CRUZ, E.D.; SILVA, A.C.; SILVA, E.A.A. Avaliação da variabilidade genética para características morfológicas em uma

população de *Parkia gigantocarpa* Ducke. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2, 2012, Belém. **Anais...** Belém, 2012. CD-ROM.

BECK, E.H.; HEIM, R.; HANSEN, J. Plant resistance to cold stress: Mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening. **Journal of Biosciences**, Bangalore, v. 29, n. 4, p. 449-459, 2004.

BOOTH, T.H. Eucalypt plantations and climate change. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 28-34, 2013.

BOOTSMA, A. **Frost risk survey of Prince Edward Island**. Ottawa: Department of Agriculture and Forestry, Canada, 1980. 35 p.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 2 Ed., Viçosa: UFV, 1998. 453p.

BORÉM A; MIRANDA G.V. **Melhoramento de Plantas**. 5 Ed. Viçosa: UFV, 2009. 529p.

BOWERS. M.C. Environmental Effects of Cold on Plants. In: WILKINSON, R.E. (Ed.). **Plant-Environment Interactions**. Georgia: Marcel Dekker Inc, 1994. p. 391-411.

BRESSIANI, A.J.; VENCOVSKY, R.; BURNQUIST, W.L. Interação entre famílias de cana-de-açúcar e locais: efeito na resposta esperada com a seleção. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 1-10, 2002.

BRIZOLLA, T.F.; **Variabilidade genética de progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e correlações juvenil-adulto**. 2009. 61 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

BROOKER, M.I.H.; KLEINIG, D.A., 2006. **Field Guide to *Eucalyptus***. South-eastern Australia, 3 ed. vol. 1. Bloomings, Melbourne, 2006, 356p.

BUENO FILHO, J.S.S. **Modelos mistos na predição de valores genéticos aditivos em testes de progênies florestais**. 1997. 118 f. Tese (Doutorado em Genética) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

BURDON, R.D. Genetic correlation as a concept for studying genotype-environment interaction in forest tree breeding, **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 26, n. 5-6, p. 168- 175, 1977.

CARIGNATO, A.; DE PIERI, C.; FRAGOSO, A.M.; MORAES, C.B.; MORI, E.S. Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus urophylla* para resistência a *Puccinia psidii*. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 23, 2011, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 2011. CD-ROM.

CARON, B.O.; SOUZA, V.Q.; ELOY, E.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R. Resistência inicial de quatro espécies arbóreas em diferentes espaçamentos após ocorrência de geadas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 817-822, 2011.

CHEN, T.H.H; MURATA, N. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. **Current Opinion in Plant Biology**, Saint Louis, v. 5, n. 3, p. 250-257, 2002.

COSTA, R.B.; RESENDE, M. D.V.; GONÇALVES, P.S.; ARRUDA, E.J.; OLIVEIRA, C. S.; BORTOLETTO, N. Prediction of genotypic values for yield in rubber tree-clone test trials using REML/BLUP procedure. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 4, p. 579-586, 2002.

COSTA, R.M.L.; ESTOPA, R.A.; BIERNASKI, F.A.; MORAES, C.B.; MORI, E.S. Seleção de progênies *Eucalyptus benthamii* visando produtividade, estabilidade e adaptabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 395-398.

CRUZ, C.D. **Programa Genes**: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. rev. Viçosa: Editora UFV, 1997. 390 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa-MG: UFV, 2004. v. 1, 480 p.

DARWIN, C. **The origin of species**. Harvard: University Press, 1859. 513 p.

DOBNER JÚNIOR., M.; HIGA, A.R.; SEITZ, R.A. Efeito da Cobertura de *Pinus taeda* L. na proteção contra geadas e no crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 807-823, 2009.

DOURADO, C.L.; MOREIRA, J.P.; CAMBUIM, J.; SOUZA, F.B.; SILVA, A.A.; MOREIRA, B.P.; MORAES, S.M.B.; MORAES, M.L.T. Melhoramento em população natural de seringueira proveniente de Rio Branco-AC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 457-460.

DUDA, L.L. **Seleção genética de árvores de *Pinus taeda* L. na região de Arapoti, Paraná**. 2003. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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

- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; WYCK, G.V. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Oxford University Press, 1994. 288p.
- ELOY, E.; CARON, B.O.; TREVISAN, R.; ELLI, E.F.; MONTEIRO, G.C. Ocorrência de geada nas espécies florestais *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus grandis* na região norte do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n. 16, p. 1626, 2013.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1999. 212 p.
- ESTOPA, R.A.; COSTA, R.M.L.; BIERNASKI, F.A.; MORAES, C.B.; MORI, E.S. Seleção visando a produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 411-414.
- FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. New York, Ronald Press, 1964. 365 p.
- FAO. **Eucalypts for Planting 11**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1979.
- FERRAZ, E.S.B.; COUTINHO, A.R. Efeitos da geada na madeira de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n. 28, p. 57-62, 1984.
- FLOSS, P.A.; CROCE, D.M.; BOHNER, J.A.M.; HIGA, A.R. Teste de Procedências e Progênies de *Eucalyptus viminalis* LABILL na Região Oeste de 65 Santa Catarina/Brasil. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA, Salvador, 1997.
- FOELKEL, C. As plantações de florestas no Brasil. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p. 13-24.
- FONSECA, S.M.; RESENDE, M.D.V.; ALFENAS, A.C.; GUIMARÃES, L.M.S.; ASSIS, T.F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prática de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG, Ed. UFV, DFP. 2010.
- FREITAS, R.G.; VASCONCELOS, E.S.; CRUZ, C.D.; ROSADO, A.M.; ROCHA, R.B.; TAKAMIL, K. Predição de ganhos genéticos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 2, p. 255-263, 2009.
- FREITAS, T.C.M.; CARIGNATO, A.; ZIMBACK, L.; MORAES, C.B.; MORI, E.S. Estimativa dos parâmetros genéticos em teste progênies de guapuruvu para formação de pomar de sementes. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 23, 2011, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 2011. CD-ROM.

FREITAS, T.C.M.; RODRIGUES, D.P.; MORAES, C.B.; MORI, E.S. Variabilidade genética em progênies de polinização aberta de *Pinus*. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 24, 2012, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 2012. CD-ROM.

FREITAS, T.C.M.; COSTA, R.M.L.; BIERNASKI, F.A.; ESTOPA, R.A.; MORAES, C.B.; MORI, E.S. Divergência genética entre progênies de *Pinus taeda* por meio de caracteres quantitativos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 483-485.

GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 12p. (Circular Técnica, 171).

GLERUM, C. Frost hardiness of forest trees. In: CANNELL, M.G.R.; LAST, F.T. **Tree physiology and yield improvement**. London: Academic Press, 1976. p. 403-435.

GONÇALVES, A.N. Fisiologia e a interação com os efeitos ambientais: déficit hídrico e frio (geada). In: WORKSHOP EM MELHORAMENTO FLORESTAL, 5, 2009, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2009.

HALLAUER, A.R. Evolution of plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa - MG, v. 11, n. 3, p. 197-206, 2011.

HENRIQUES, E.P. **Variabilidade genética de caracteres de produção e qualidade da madeira, para carvão vegetal, em progênies de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

HIGA, R.C.V. **Studies on the physiology of frost resistance in *Eucalyptus viminalis* LABILL.** M.Sc. Thesis – Australian National University, 1989.

HIGA, A.R.; CARVALHO, P.E.R. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO 6, 1990, Campos do Jordão. Anais . São Paulo: SBS, 1990. p.459- 461. Publicado em Silvicultura, v. 3, n. 42, 1990.

HIGA, A.R.; GARCIA, C.H.; SANTOS, E.T. Geadas, prejuízos à atividade florestal. **Silvicultura**, São Paulo, v. 15, n. 58, p. 40-43, 1994.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Comportamento de vinte espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região Sul do Brasil. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997. Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA, Salvador, v. 4, p. 106-110.

HIGA, R.C.V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* Maiden atingidos por geadas em Campo do Tenente, PR**. 1998. 111 f. Tese (Doutorado em Silvicultura) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 67-76, 2000.

HIGA, R.C.V.; WREGGE, M.S. Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região sul do Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 23 p. (Serie Documentos 209).

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2007. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br>>. Acesso em: 25 set. 2013.

KAGEYAMA, P.Y. **Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. 1980. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

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

KEREPESI, I.; BÁNYAI-STEFANOVITS, E.; GALIBA, G. Cold acclimation and abscisic acid induced alterations in carbohydrate content in calli of wheat genotypes differing in frost tolerance. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 161, p. 131-133, 2004.

KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J. **Fisiologia das árvores**. Tradução: A.M.A. GOMES. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.

KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. **The Physiological Ecology of Woody Plants**. San Diego: Academic press, 1991, 657 p.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press. 1979. 811p.

LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. 252 p.

LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology**. 2. Ed. Berlin: Springer-Verlag, 1980. 303 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 398 p.

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

LEITE, N.B.; FERREIRA, M.; RAMOS, P.G.; NETO, F.G. Procedências de *Eucalyptus* SPP introduzidas na região de Lages - Santa Catarina (Resultados Preliminares). **IPEF**, Piracicaba, n. 7, p.101-114, 1973.

LIMA, L.J.; ANDRADE, H.B. Expectativas da utilização de técnicas tradicionais do melhoramento na obtenção de materiais tolerantes à seca e/ou ao frio. In: WORKSHOP

EM MELHORAMENTO FLORESTAL, 5, 2009, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2009.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, p. 193-198, 1988.

LISBÃO JÚNIOR, L. Comparação entre dois métodos de avaliação e análise dos danos de geada em mudas de *Eucalyptus viminalis* Labill. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 13, p. 25-33, 1986.

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.

MARTINI, A.J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 2004. 332 f. Dissertação (Mestrado em História Social) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MARTINS, I.S.; MARTINS, R.C.C.; CORREIA, H.S. Comparação entre seleção combinada e seleção direta em *Eucalyptus grandis*, sob diferentes intensidades de seleção. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 36-43, 2001.

MASSIGNAM, A.M.; DITTRICH, R.C. Estimativa do número médio e da probabilidade mensal de ocorrência de geadas para o estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 213-220, 1998.

MATHESON, A.C.; COTTERILL, P.P. Utility of Genotype x Environment Interactions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 159-174, 1990.

MAZUR, P. Freezing injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto. v. 20, p. 77-109, 1969.

MIRANDA, A.C. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus grandis***. Botucatu, 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2012.

MISSIO, R.F.; SILVA, A.M.; DIAS, L.A.S.; MORAES, M.L.T.; RESENDE, M.D.V. Estimates of genetic parameters and prediction of additive genetic values in *Pinus kesiya* progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa-MG, v. 5, p. 394-401, 2005.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000, 112 p.

- MOURA, V.P.G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil.** Brasília: Embrapa. 2004. 12 p. (Comunicado Técnico 111).
- MORAES, C.B. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden sob os efeitos de biorregulador e adubação química.** Botucatu, 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- MORAES, C.B.; FREITAS, T.C.M.; PIERONI, G.B.; ZIMBACK, L.; MORI, E.S. Genetic variability in eucalypt clones for frost tolerance. In: IUFRO WORKING GROUP 2.08.03 IMPROVEMENT AND OF CULTURE EUCALYPTUS, 2011. Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2011. CD-ROM.
- MORAES, C.B.; DE PIERI, C.; FRAGOSO, A.M.; GRANDE, J.P.; UESUGI, G.; MARTINS, M.R.S.G.; CARIGNATO, A. RODRIGUES, D.P.; ZIMBACK, L.; MOREIRA, R.M.; MORI, E.S. Genetic variability in *Eucalyptus* clones for rust *Puccinia psidii* resistance. In: IUFRO WORKING GROUP 2.08.03 IMPROVEMENT AND OF CULTURE EUCALYPTUS, 2011. Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2011. CD-ROM.
- MORAES, C.B.; UESUGI, G.; FERNANDES, K.H.P.; BARROS, H.S.D.; CARNEIRO, A.A.; SILVA, C.J.; SATURNINO, H.M.; MORI, E.S. Variabilidade genética de progênies de polinização aberta de pinhão manso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2, 2012, Belém. **Anais...** Belém, 2012. CD-ROM.
- MORAES, C.B.; ABÍLIO, F.M.; RACHID, L.V.; ZIMBACK, L.; COSTA, R.M.L.; RESENDE, M.D.V.; MORI, E.S. Variabilidade genética em progênies de irmãos completos de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 2921-2013.
- MORAES, M.L.T. **Variação genética e aplicação da análise multivariada em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret e Golfari.** 2001. 124 f. Tese (Livro de graduação). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- MORAES, M.L.T.; MORI, E.S.; SILVA, A.M.; CANUTO, D.S.O.; SILVA, J.M.; GOMES, J.E.; AULER, D.S. Demonstração da utilização do software SELEGEN – “Seleção genética computadorizada” para o melhoramento de espécies perenes. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, n. 12, p. 1-22, 2008.
- MORAIS, E.; ZANATTO, A.C.S.; FREITAS, M.L.M.; MORAES, M.L.T.; SEBBENN, A.M. Variação genética, interação genótipo solo e ganhos na seleção em teste de progênies de *Corymbia citriodora* Hook em Luiz Antonio, São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 11-18, 2010.
- MOREIRA, J.P.; PAGLIARINI, M.K.; ZANATTO, A.C.S.; MORAES, M.L.T.; FREITAS, M.L.M.; SOUSA, V.A.; AGUIAR, A.V. Estimativas de parâmetros genéticos em um teste de progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 418-421.

MORI, E.S.; DE LELLO, L.R.B.; KAGEYAMA, P.Y. Efeitos da interação genótipos x ambientes em progênie de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, v. 33, p. 19-25, 1986.

MORI, E.S.; KAGEYAMA, P.Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interações progênes x locais em *Eucalyptus urophylla* **IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 53-63, 1988.

MORI, E.S. Aplicação da Estratégia de Núcleos de Melhoramento em *Eucalyptus*. In: WORKSHOP EM MELHORAMENTO FLORESTAL, 3, 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2007. CD-ROM.

MORI, E.S.; MORAES, C.B. Visão do melhoramento florestal na interação com o manejo. In: WORKSHOP EM MELHORAMENTO GENÉTICA FLORESTAL, 6 E REUNIÃO TÉCNICO - CIENTÍFICO DO PTSM / IPEF: Adaptação genotípica ao estresse hídrico e térmico, 42, 2010, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/Unesp/Botucatu, 2010. Disponível em: <[www.ipef.br/eventos/2010/melhoramento.asp](http://www.ipef.br/eventos/2010/melhoramento.asp)>. Acesso em: 30 jun. 2013.

NAMKOONG, G.; SNYDER, E.B.; STONECYPHER, R.W. Heritability and gain concepts for evaluating breeding systems such as seedlings orchards. **Silvae Genetica**, v. 15, n. 3, p. 76-84, 1966.

NOVAES, E.; COUTINHO, M.M.; PORTO, R.M.; CAMPOS, A.C.; CARVALHO, C.A.; MORAES, L.F.; ZAUZA, E.A.V.; SIQUEIRA, L.; COELHO, A.S.G.; CHAVES, L.J.; ALFENAS, A.C. Implantação de uma rede de testes clonais para expansão da eucaliptocultura em Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 449-452.

OLIVEIRA, R.; RESENDE, M.D.V.; DAROS, E.; BESPALHOK FILHO, J.C.; ZAMBON, J.L.C.; IDO, O.T.; WEBER, H.; KOEHLER, H.S. Genotypic evaluation and selection of sugarcane clones in three environments in the state of Paraná. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa- MG, v. 5, n. 4, p. 426-434, 2005.

PALUDZYSZYN FILHO, E. **Eficiência da seleção precoce em *Pinus taeda* L. por método retrospectivo**. 2000. 93 f. Tese (Doutorado em Genética) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

PATON, D.M. A mechanism for frost resistance in *Eucalyptus*. In: LI, P.; SAKAI, A. **Plant cold hardiness and freezing stress**. Sapporo: Academic Press. 1982. p. 77-92.

PATON, D.M. *Eucalyptus* physiology III. Frost resistance. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 29. p. 675-688, 1981.

PAULA, R.C.; PIRES, I.E.; BORGES, R.C.G.; CRUZ, C.D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 159-165, 2002.

PINTO JUNIOR, J.E.; STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V.; RONZELLI JUNIOR, P. Avaliação simultânea de produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica de *Eucalyptus grandis* em distintos ambientes do Estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 79-108, 2006.

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

PITZ FLORIANI, M.M.; STEFFENS, C.A.; CHAVES, D.M.; AMARANTE, C.V.T.; PIKART, T.G.; RIBEIRO, M.S. Relação entre concentrações foliares de carboidratos solúveis totais e tolerância ao frio em diferentes espécies de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 165-174, 2013.

PITZ FLORIANI, M.M.; STEFFENS, C.A.; CHAVES, D.M. Rustificação de plantas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e a relação entre as concentrações de carboidratos solúveis totais e de prolina foliar e a tolerância ao frio. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 1, p. 21-29, 2011.

PRYOR, L.D. Selecting and breeding for cold resistance in *Eucalyptus*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 6, p. 98-109, 1957.

PRYOR, L.D. **The biology of eucalypts**. London: Edward, 1976. 82 p.

PRYOR, L.D.; JOHNSON, L.A.S. **A classification of the Eucalyptus**. Canberra: Australian National University Press, 1971. 78 p.

PUPIN, S.; ZARUMA, D.U.G.; KUBOTA, T.Y.K.; SILVA, E.C.B.; MORAES, M.A.; MIRANDA, A.C.; SILVA, P.H.M.; MARINO, C.L.; MORAES, M.L.T. Avaliação genética em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 375-378.

QUERALTO, F.D. **Práctica de la defensa contra heladas**. Dilagro: Lerida.1971. 384p.

RACHID, L.V.; MORAES, C.B.; ABÍLIO, F.M.; ZIMBACK, L.; COSTA, R.M.L.; MORI, E.S. Variabilidade genética em progênies de polinização controlada de *Eucalyptus* para resistência à ferrugem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. Uberlândia, 2013. p. 399-402.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B.; NUNES, J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 1. Ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 552 p.

RESENDE, M.D.V.; HIGA, A.R.; LAVORANTI, O.J. Regressão geno-fenotípica multivariada e maximização do progresso genético em programas de melhoramento de *Eucalyptus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 28/29, p. 57-71, 1994.

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

RESENDE, M.D.V.; PRATES, D.F.; YAMADA, C.K.; JESUS, A. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em *Pinus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 32/33, p. 18- 45, 1996.

RESENDE, M.D.V. Melhoramento genético de essências florestais. In: SANTOS, J. B. SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1, 1997, Lavras. **Anais...** Lavras: UFV, 1997, p. 59-93.

RESENDE, M.D.V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101 p. (Documentos, 47).

RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S. Aplicação de metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos em espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 44-52, 2000.

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

RESENDE, M.D.V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 57 p.

RESENDE, M.D.V. **Software SELEGEN-REML/BLUP**. Campo Grande: Embrapa Florestas, 2006. 299 p.

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.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 561 p.

RESENDE, M.D.V. **SELEGEN-REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 359 p.

- ROBINSON, H.F.; COCKERHAM, C.C. Estimación y significado de los parâmetros genéticos. **Fitotecnia Latino Americana**, v. 2, p. 23-38, 1965.
- ROCHA, M.G.B.; PIRES, I.E.; ROCHA, R.B.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D. Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos Reml/Blup e da Anova. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 99-107, 2006.
- ROCHA, M.G.B.R.; PIRES, I.E.; ROCHA, R.B.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando reml/ blup e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.
- ROCKWOOD, D.L.; MESKIMEN, G.F. Comparison of *Eucalyptus grandis* provenances and seed orchards in a frost frequent environment. **South African Forestry Journal**, v. 159, p. 51-59, 1991.
- SAKAI, A.; LARCHER, W. **Frost Survival of Plants: Responses and Adaptation to Freezing Stress**. Innsbruck: Springer-Verlag, 1987. 321 p.
- SAMPAIO, P.T.B.; RESENDE, D.M.V.; ARAÚJO, A.J. Estimativas de parâmetros genéticos e método de seleção para o melhoramento genético do *Pinus oocarpa* Schiede. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 625-636, 2002.
- SANTOS, P.E.T.; GARCIA, C.H.; MORI, E.S.; MORAES, M.L.T. Potencial para programas de melhoramento, estimativas de parâmetros genéticos e interação progênies x locais em populações de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 11-19, 1990.
- SANTOS, P.E.T. Espécies de *Eucalyptus* tolerantes à geada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 2008. Curitiba. **Anais...** Curitiba/PR, 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/eventos/2008/ebs2008.asp>. Acesso em: 29 out. 2013.
- SANTOS, W.; AGUIAR, A.V.; GILAVERTE, M.; SHIMIZU, J.Y.; SOUSA, V.A.; MORAES, M.L.T.; MOURA, N.F.; MOREIRA, J.P.; RECCO C.R.S.B. Estimativas de parâmetros genéticos em progênies de meios-irmãos de *Pinus elliottii* para a produção de madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 437-440.
- SEARLE, S.R.; CASELLA, G.; MCCULLOCH, C.E. **Variance components**. New York: J. Wiley, 1992. 528 p.
- SEBBENN, A.M.; SIQUEIRA, A.C.M.F.; KAGEYAMA, P.Y.; DI DIO JUNIOR, O.J. Variação genética entre e dentro de populações de amendoim - *Pterogyne nitens*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 29-40, 1999.
- SELLE, G. L.; VUADEN, E. Efeitos da geada sobre plantações de *Eucalyptus grandis*. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, v. 20, n. 1, p. 36 - 44, 2008.

SHIMIZU, J.Y.; KAGEYAMA, P.Y.; HIGA, A.R. **Procedimentos e recomendações para estudos de progênies de essências florestais**. Colombo: EMBRAPA-URPFCS, 1982. 33 p. (Documentos, 11).

SILVA, A.L.L.; OLIVEIRA, Y.; ALCANTARA, G.B.; SANTOS, M.; QUOIRIN, M. Tolerância ao resfriamento e congelamento de folhas de eucalipto. **Biociências**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 86-90, 2009.

SILVA, L.D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden Et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. 2008. 275 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SILVA, P.H.M.; MORAES, C.B.; MORI, E.S. Polinização controlada em eucaliptos nas empresas florestais brasileiras. **IPEF**, Piracicaba, 2012. (Circular Técnica, 204).

SMITH, D.M. **The practice of silviculture**. 8. Ed. New York: John Wiley and Sons, 1986. 527 p.

SOUZA, C.S.; FREITAS, M.L.M.; MORAES, M.L.T.; SEBBENN, A.M. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 847-856, 2011.

SOUZA, V.F.; PARRELLA, R.A.C.; TARDIN, F.D.; COSTA, M.R.; CARVALHO JÚNIOR, G.A.; SCHAFFERT, R.E. Adaptability and stagility of sweet sorghum cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa-MG, v. 13, n. 2, p. 144-151, 2013.

STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. Seleção de progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) para produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 50, p. 37-51, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia do Estresse. In. \_\_\_\_\_ (Eds.) **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2004. p. 613-643.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Respostas e Adaptações ao Estresse Abiótico. In. \_\_\_\_\_ (Eds.) **Fisiologia Vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2013. p. 753-780.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2009. 848 p.

TIBBITS, N.W.; WHITE, T.L.; HODGE, G.; BORRALHO, N.M.G. A. Genetic variation in frost resistance of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* assessed by artificial freezing in winter. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 54, p. 521-529, 2006.

TIBBITS, W.N.; HODGE, G.R. Genetic parameters for cold hardiness in *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 52, p. 89-97, 2003.

TIBBITS, W.N.; REID, J.B. Frost resistance in *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden: physiological aspects of hardiness. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 35, p. 235-250, 1987a.

TIBBITS, W.N.; REID, J.B. Frost resistance in *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden: genetic and seasonal aspects of variation. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 17, p. 29-47, 1987b.

TRESHOW, M. **Environment and Plant response**. McGraw-Hill: Book Company. University of Utah, 1970, 422 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Coordenadoria Geral de Bibliotecas. Grupo de Trabalho Normalização Documentária da UNESP. **Normalização documentária para a produção científica da UNESP**: normas para apresentação de referências segundo a NBR 6023:2002 da ABNT. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.biblioteca.unesp.br/pages/normalizacao.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2013.

VARGAS-REEVE, F.; MORA, F.; PERRET, S.; SCAPIM, C.A. Heritability of stem straightness and genetic correlations in *Eucalyptus cladocalyx* in the semi-arid region of Chile. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa-MG, v. 13, n. 2, p. 107-112, 2013.

VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In. KERR, W. E. (Org.) **Melhoramento e Genética**, São Paulo: Melhoramentos, 1969. p. 17-28.

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

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M.A.P; TOLEDO, F.H.R.B. Contribution and perspectives of quantitative genetics to plant breeding in Brasil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa-MG, S 2, p. 7-14, 2012.

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

VERARDI, C.K.; OLIVEIRA, A.L.B.; SILVA, G.A.P.; GOUVÊA, L.R.L.; GONÇALVES, P.S. Comparação entre ganhos genéticos em progênes de seringueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013. p. 403-406.

VOLKER, P.W.; OWEN, J.V.; BORRALHO, N.G. Genetic variances and covariances for frost tolerance in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 43, n. 5/6, p. 366-372, 1994.

WILCOX, M.D.; FAULDS, T.; VINCENT, T.G.; POOLE, B.R. Genetic variation in frost tolerance among open-pollinated families of *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Australian Forestry Research**, Canberra, v. 10, p. 169-184, 1980.

WILCKEN, C.F.; LIMA, A.C.V.; DIAS, T.K.R.; MASMSOON, M.V.; FERREIRA FILHO, P.J.; DAL POGETTO, M.H.F.A. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto**. Botucatu: FEPAF, 2008, 25 p.

WRIGTH, J.A. **Introduction to forest genetics**. New York: Department of Forestry. Michigan State University. Academic Press, 1976.

ZANATA, M.; FREITAS, M.L.M.; SILVA, M.T.; MORAIS, E.; ZANATTO, A.C.S.; SEBBENN, A.M. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção em teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, em Batatais - SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 233-242, 2010.

ZIMBACK, L.; MORI, E.S.; BRIZOLLA, T.F.; CHAVES, R. Correlações entre caracteres silviculturais durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-67, 2011.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 496 p.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. 1994. **Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales**. C.V. México: Editorial Limusa S.A. 545 p.

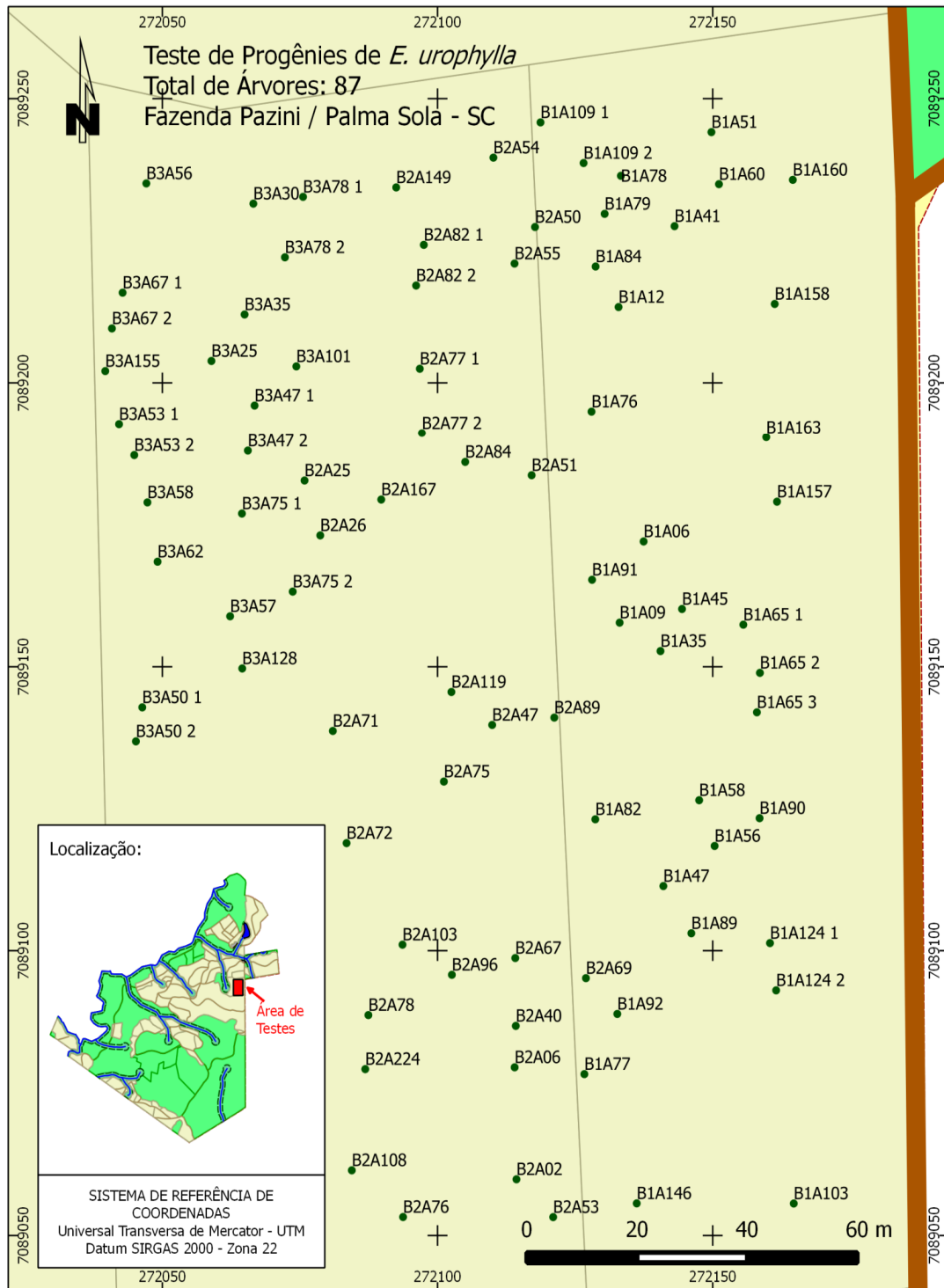
## 8. APÊNDICE

Bloco 4	4	67	61	63	59	64	68	62	58	65	53	66
	4	160	51	50	164	52	57	56	55	35	22	42
	4	89	69	54	90	71	17	46	20	41	47	44
	4	34	19	23	30	29	94	74	21	93	81	85
	4	18	27	26	72	43	28	70	25	76	24	96
	4	83	95	98	92	88	110	40	107	219	166	97
	4	78	75	73	113	91	84	79	80	77	115	82
	4	102	106	99	87	112	103	111	101	109	100	108
	4	126	130	124	224	165	104	105	167	86	49	45
	4	148	140	129	131	135	128	134	127	122	121	125
	4	154	114	133	118	132	120	117	139	123	136	137
	4	159	142	119	163	161	147	162	143	145	158	149
Bloco 3	3	139	125	118	135	9	12	2	5	144	37	6
	3	140	82	117	116	8	13	3	41	11	38	44
	3	136	68	137	129	127	39	49	7	42	40	71
	3	133	121	132	134	119	1	43	145	148	157	159
	3	130	86	131	123	120	4	149	161	152	151	150
	3	147	154	153	163	15	158	16	141	59	55	54
	3	156	155	164	162	160	146	142	138	122	52	24
	3	56	67	53	58	89	51	90	69	61	14	10
	3	64	65	60	62	63	50	66	126	87	48	143
	3	26	25	47	18	28	29	23	20	34	46	112
	3	30	35	45	21	19	17	27	22	72	70	224
	3	102	101	99	108	57	107	166	111	88	110	219
Bloco 2	2	109	100	124	106	103	128	165	167	104	105	84
	2	80	114	97	73	74	79	85	94	77	91	98
	2	35	24	25	28	23	29	21	113	90	15	27
	2	22	19	26	17	18	71	150	145	155	163	160
	2	34	45	70	20	46	30	162	151	159	88	158
	2	149	156	157	146	49	154	164	110	101	104	108
	2	147	148	153	161	152	140	72	107	106	224	219
	2	102	99	100	167	143	115	86	112	78	92	76
	2	105	165	109	87	166	114	111	103	81	95	79
	2	83	97	77	93	74	121	138	98	96	133	132
	2	12	82	80	84	85	73	75	13	94	135	144
	2	1	36	129	125	134	119	116	136	124	118	131
Bloco 1	1	159	160	158	163	157	153	162	164	151	152	103
	1	109	167	111	166	110	112	107	100	75	77	141
	1	165	224	219	102	108	105	106	104	97	113	147
	1	78	85	81	80	91	96	82	74	94	95	148
	1	79	84	76	93	83	115	98	114	92	73	142
	1	161	12	16	13	9	8	11	5	7	3	146
	1	156	14	15	43	6	42	36	10	37	2	143
	1	4	40	44	39	30	35	49	47	48	71	149
	1	1	41	38	70	45	34	22	19	46	72	150
	1	27	26	24	20	18	21	58	89	68	69	101
	1	28	29	23	25	17	87	88	56	86	67	144
	1	51	52	59	61	66	65	63	90	117	136	138
1	60	54	57	62	55	64	53	50	118	116	154	
1	133	134	130	119	126	127	129	139	122	135	155	
1	125	128	137	131	121	140	132	123	124	120	99	
1	159	160	158	163	157	153	162	164	151	152	103	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	

Linhas

X progênies *E. urophylla*  
 2 testemunhas clonais  
 4 Blocos  
 6 plantas/parcela

Croqui dos testes de progênies instalados



Indivíduos selecionados para tolerância à geada no teste de progênies