

**ESTRATÉGIA DE MELHORAMENTO DE  
*Eucalyptus* spp. VISANDO À PRODUÇÃO DE  
CARVÃO**

**JOSÉ LUIS LIMA**

**2009**

**JOSÉ LUIS LIMA**

**ESTRATÉGIA DE MELHORAMENTO DE *Eucalyptus* spp. VISANDO À  
PRODUÇÃO DE CARVÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de "Doutor".

Orientador  
Prof. Dr. João Cândido de Souza

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Lima, José Luis.

Estratégia de melhoramento de *Eucalyptus* spp. visando à  
produção de carvão / José Luis Lima. – Lavras : UFLA, 2009.  
147 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.  
Orientador: João Cândido de Souza.  
Bibliografia.

1. Ganhos por ano. 2. Adaptabilidade e estabilidade. 3.  
Variabilidade. 4. Herdabilidade. I. Universidade Federal de Lavras.  
II. Título.

CDD – 634.97342

**JOSÉ LUIS LIMA**

**ESTRATÉGIA DE MELHORAMENTO DE *Eucalyptus* spp. VISANDO À  
PRODUÇÃO DE CARVÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 4 de dezembro de 2009.

Dr. Antônio Marcos Rosado

Cenibra

Dr. Leonardo Chagas de Sousa

V&M Florestal

Dr. Hélder Bolognani Andrade

V&M Florestal

Prof. Dr. Magno Antônio Patto Ramalho

UFLA

Prof. Dr. João Cândido de Souza

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

*A Deus,*

*Por mais esta vitória,*

## **OFEREÇO**

*“A voz de Deus nos diz constantemente: uma falsa ciência faz um homem ateu,  
mas uma verdadeira ciência leva o homem a Deus.”*

*(Voltaire)*

*Aos meus pais, Aurélio e Penha, e a todos os meus familiares e amigos, pelo  
apoio e incentivo,*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Biologia e, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas de apoio financeiro.

À V & M Florestal Ltda, na pessoa do Dr. Hélder Bolognani Andrade, pela concessão dos dados para realização do presente estudo e, também, pela oportunidade em concluir o curso de Doutorado.

Ao professor João Candido de Souza, pela disponibilidade em orientar-me tanto no mestrado quanto no doutorado e, especialmente, pela amizade, pela prazerosa convivência e pelos ensinamentos.

Ao professor Magno, pelo exemplo de pesquisador e professor, pelos sábios ensinamentos, pela disponibilidade de tempo e ajuda na realização deste trabalho, pelas valiosas sugestões e, sobretudo, pela amizade e convívio.

Ao chefe e amigo Dr. Hélder Bolognani Andrade, pela oportunidade em iniciar a minha vida profissional, pelas valiosas sugestões na realização deste trabalho, pelo convívio, pelo apoio, pela amizade e confiança.

Ao pesquisador Dr. Leonardo Chagas de Souza, pelo auxílio nas análises das propriedades tecnológicas da madeira, pelas valiosas sugestões no desenvolvimento do trabalho e, acima de tudo, pelo excelente convívio e pela amizade.

Ao pesquisador Dr. Marcos Antônio Rosado, pela disponibilidade em participar da banca examinadora, pelas valiosas sugestões dadas para o enriquecimento deste trabalho e pela amizade.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade Federal de Lavras: César Brasil, Flávia Maria Avelar Gonçalves, João Bosco, Elaine Aparecida e à pesquisadora Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pela convivência, amizade e pelos ensinamentos transmitidos durante toda a pós-graduação.

À minha família de Lavras, Dona Emília, José e Rômulo Tristão, por acolherem-me em sua casa durante todo o Mestrado e parte do Doutorado, pela convivência e amizade.

À minha namorada, Joyce, por sempre apoiar-me nas decisões, pelas orações, pelo companheirismo, pela confiança, pelo amor e carinho.

Às tias Eliane e Jane, pelo carinho, pelo apoio, pelo incentivo e pela confiança. E a todos os demais familiares, pela amizade e pelo excelente convívio.

À Cristiane A. F. Reis e ao Fernando Guedes, pelas valiosas sugestões dadas durante o desenvolvimento deste trabalho e pela amizade. Aos demais colegas do GEN, pelo excelente convívio e amizade.

Aos funcionários de campo Leonardo e Lindolfo, pela convivência diária, amizade e auxílio nos trabalhos de campo.

Às funcionárias do DBI, Zélia, Rafaela, Irondina e Rosângela.

Às secretárias de pós-graduação Elaine Ribeiro e Heloíza, pela amizade, convivência e companheirismo durante todo o curso.

Aos técnicos de pesquisa da V&M Florestal, Nivaldo e Marcio, pelas avaliações realizadas nos experimentos, pelos valiosos ensinamentos transmitidos, pela amizade e excelente convívio.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL.....	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1	
1 Introdução Geral.....	01
2 Referencial Teórico.....	03
2.1 O carvão vegetal.....	03
2.2 Histórico do melhoramento de eucalipto para a produção de energia.....	09
2.3 Base genética dos caracteres de importância na produção de carvão.....	14
2.4 NIRS - Avaliação das propriedades tecnológicas da madeira.....	27
2.5 Emprego do BLUP no melhoramento florestal.....	29
3 Referências Bibliográficas.....	35
CAPÍTULO 2: Seleção precoce de genitores e árvores em testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp.....	
Resumo.....	46
Abstract.....	47
1 Introdução.....	48
2 Material e Métodos.....	51
2.1 Condução dos experimentos.....	51



2.2 Seleção de genitores.....	51
2.3 Seleção de árvores para clonagem.....	52
3 Resultados e Discussão.....	53
3.1 Seleção de progênies.....	53
3.2 Seleção de árvores para clonagem.....	57
4 Conclusão.....	61
5 Referências Bibliográficas.....	62
ANEXOS.....	66
CAPÍTULO 3: Interação progênies híbridas e clones de <i>Eucalyptus</i> spp. por locais.....	83
Resumo.....	84
Abstract.....	85
1 Introdução.....	86
2 Material e Métodos.....	88
3 Resultados e Discussão.....	90
3.1 Testes de progênies híbridas.....	90
3.2 Testes clonais.....	94
4 Conclusão.....	97
5 Referências Bibliográficas.....	98
ANEXOS.....	101
CAPÍTULO 4: Parâmetros genéticos e fenotípicos das propriedades tecnológicas da madeira, avaliadas em testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp.....	111

Resumo.....	112
Abstract.....	113
1 Introdução.....	114
2 Material e Métodos.....	117
3 Resultados e Discussão.....	119
4 Conclusão.....	129
5 Referências Bibliográficas.....	130
ANEXOS.....	134

## RESUMO GERAL

LIMA, José Luis. **Estratégia de melhoramento de *Eucalyptus* spp. visando à produção de carvão.** 2009. 147 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade de Federal de Lavras, Lavras.\*

Há várias estratégias que podem ser empregadas na condução de um programa de melhoramento genético. No entanto, torna-se necessário, durante o desenvolvimento dos trabalhos, optar por aquelas que trarão maiores resultados em um menor intervalo de tempo e com menor gasto de recursos físicos e financeiros. Nesse contexto, três pontos podem ser destacados: seleção precoce, interação genótipos x ambientes e a inclusão das propriedades tecnológicas da madeira na seleção. Esses assuntos foram os objetivos do presente trabalho. Pelos resultados obtidos, constatou-se que a seleção precoce em testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. é eficiente para a característica circunferência à altura do peito (CAP), tanto na seleção de genitores quanto na seleção de árvores para a clonagem. A interação genótipos x ambientes foi de pequena magnitude no desempenho das progênies híbridas e a maior proporção foi devida à parte simples da interação. Todavia, na avaliação dos testes clonais, esse efeito foi mais pronunciado, o que torna necessária a obtenção de clones de eucalipto específicos para cada região de atuação da empresa. As progênies híbridas foram avaliadas quanto às propriedades tecnológicas da madeira de maior importância na produção de carvão (densidade básica da madeira, teor de lignina e de extrativos). Os resultados evidenciam que há variabilidade genética entre as progênies avaliadas e que é possível selecionar progênies e árvores que associam maior CAP, alta densidade e elevados teores de lignina e de extrativos.

---

\* Comitê orientador: João Cândido de Souza - UFLA (orientador), Magno Antônio Patto Ramalho - UFLA.

## GENERAL ABSTRACT

LIMA, José Luis. **Breeding strategies in *Eucalyptus* spp. program aiming at charcoal production.** 2009. 147 p. Thesis (Doctor Genetics and Plant Breeding) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.\*

In a genetic breeding program there are many strategies to be used. However, it is necessary to choose those which bring best results, are the least time consumers and the most economic. In this context, three points can be emphasized as follows: early selection, genotype-by-environment interaction and inclusion of wood properties in the selection. These issues were the aims of this work. The results show that the early selection in full-sib progenies of *Eucalyptus* spp. tests is effective for circumference at breast height (CBH) either for genitors selection or for cloning trees selection. The genotype-by-environment interaction was of small magnitude in the performance of the hybrid progenies and largest proportion was attributed to the interaction simple part. However, the results obtained in the assessment of the clonal tests show that effect is more pronounced in the carry out of different eucalyptus clones, which became necessary the obtained of specific clones for each area of company actuation. The hybrid progenies were evaluated to the wood properties of the larger importance in the production of charcoal (basic density, lignin and extractive content). The results show that there is genetic variability among the assessed progenies and that it is possible to select progenies and trees associate larger CBH, high density and high lignin and extractive content.

---

\* Guiding committee: João Cândido de Souza - UFLA (advisor), Magno Antônio Patto Ramalho - UFLA.

## **CAPÍTULO 1**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O estado de Minas Gerais tem se destacado como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do país. A maior parte da produção é obtida de florestas plantadas com eucalipto. Os plantios concentram-se nas regiões norte, noroeste e central do estado, onde ocorre acentuado déficit hídrico. No entanto, programas de melhoramento genético conduzidos nessas regiões têm obtido resultados expressivos com a cultura (Andrade, 2007). Contudo, para maximizar os ganhos a serem obtidos, algumas estratégias de seleção podem ser adotadas.

Nesse contexto, sabe-se que a eficiência de qualquer programa de melhoramento está diretamente relacionada com o intervalo de gerações. Em alguns trabalhos, já se destacou a eficiência da seleção precoce no melhoramento genético do eucalipto (Marques Júnior et al., 1996; Pereira et al., 1997). Mas, essas pesquisas foram realizadas com a utilização de progênies de meios irmãos, os quais não permitem um entendimento global do comportamento da variância genética total com o decorrer da idade. Há evidências de que a herdabilidade no sentido amplo aumente com o tempo de avaliação para as características altura e circunferência à altura do peito (Bouvet et al., 2009). Dessa forma, supõe-se que a melhor época para realizar a seleção de progênies e árvores para clonagem, teste de progênies híbridas, seja em idades de corte.

Com a intensificação dos plantios clonais, um outro questionamento que surge é com relação ao número de ambientes em que devem ser conduzidos os testes clonais e os testes de progênies híbridas. Nesse contexto, resultados observados na literatura, constata-se que a interação genótipos x ambientes é mais pronunciada no desempenho de diferentes clones (Andrade, 1991; Demuner & Bertollucci et al., 1993; Reis, 2009). Mediante essas evidências, justifica-se a identificação de clones específicos para determinadas regiões.

Todavia, informações a respeito da magnitude da interação de clones x ambientes nas regiões em que a empresa V&M Florestal vem conduzindo seus experimentos não têm sido documentadas.

Outro ponto que deve ser considerado em um programa de melhoramento de eucalipto é com relação às propriedades tecnológicas da madeira. Atualmente, com a maior interação entre floresta, processo e produto, outras características, além da circunferência à altura do peito, devem ser levadas em consideração no momento da seleção. Para o setor siderúrgico, as principais propriedades tecnológicas da madeira são: densidade básica, teor de lignina e de extrativos. Há relatos na literatura de que essas características são controladas principalmente por genes de efeitos aditivos e com alto controle genético (Assis, 2001; Resende, 2002). Todavia, deve ser ressaltado que essas informações foram geradas em testes de progênies de meios irmãos ou testes clonais com a avaliação de um número restrito de tratamentos e que resultados em testes de progênies híbridas não foram encontrados na literatura, exceto para densidade básica da madeira (Bison et al., 2004).

Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho: - a) avaliar a eficiência da seleção precoce tanto de genitores quanto de árvores para clonagem, em testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp.: - b) estudar a magnitude da interação progênies híbridas e clones de *Eucalyptus* spp., por locais: - c) estudar os parâmetros genéticos e fenotípicos das principais propriedades tecnológicas da madeira de importância na produção de carvão, bem como a associação delas com a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas em diferentes épocas de avaliação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O carvão vegetal

O carvão vegetal é o resultado da decomposição térmica da biomassa na ausência de ar, processo denominado de pirólise. Sua utilização vem sendo feita desde os primórdios da humanidade para diversas finalidades, tais como: aquecimento, preparo de alimentos, produção dos diferentes tipos de metais, entre outros. Achados arqueológicos revelam que antigas pinturas nas cavernas, como, por exemplo, as de Périgord na França, foram feitas com carvão vegetal, há mais de 30.000 anos (Pinheiro et al., 2008).

Nessa época, o homem vivia na Era denominada Idade da Pedra. Com o passar dos anos, observou-se que as pedras utilizadas para contornar as fogueiras mudavam de propriedades à medida que eram aquecidas (calor obtido pela combustão da madeira + carbono) e resultava na formação de determinados produtos resistentes (ferro, cobre, entre outros), os quais poderiam ser moldados. Essa descoberta foi o ponto inicial para a produção atual dos diferentes metais (Barcellos & Couto, 2006).

Com o avanço do conhecimento e das técnicas siderúrgicas, descobriu-se que, para aquecer, separar o metal da rocha residual e fundir os minerais com maior eficiência, eram necessárias altas temperaturas (<1100°C) durante a condução do processo. Todavia, a combustão da madeira em si não permitia atingir tais temperaturas. No entanto, constatou-se que, pela combustão do carvão vegetal, era possível alcançar temperaturas elevadas, e assim, fundir os minerais com eficiência. A partir de então, a exploração da biomassa na forma de madeira, resíduos agrícolas e florestais, com o objetivo de produzir carvão, tornou-se de grande importância na fundição e forjamento dos metais (Pinheiro et al., 2008).



Na verdade, para o setor siderúrgico, o carvão vegetal é muito mais do que uma fonte de energia, ou seja, fornece energia para o processo e promove reações químicas de redução do minério de ferro, sendo, dessa forma, denominado de fonte termorreductora. Assim, o carvão vegetal é o principal insumo utilizado no setor siderúrgico à base desse produto e constitui-se também no maior custo, com participação superior a 50% na produção de ferro gusa (Instituto Nacional De Eficiência Energética - INEE, 2006; Carvalho et al., 2006).

Em substituição ao carvão vegetal, outra fonte termorreductora foi descoberta o carvão mineral. No entanto, o carvão vegetal é mais puro e apresenta qualidade química superior; praticamente não possui enxofre, que é um poluente e contaminante do ferro gusa; apresenta teores de cinzas dez vezes menores em relação ao coque e produz dois terços a menos de escórias. Isso resulta em ferro gusa menos quebradiço, mais resistente e maleável para o forjamento (Raad, 2004; Lin, 2006; INEE, 2006).

Além de resultar em um aço de melhor qualidade, o carvão vegetal é uma fonte de energia renovável e limpa; possui um balanço negativo de CO<sub>2</sub>, ou seja, as plantações absorvem mais carbono durante seu crescimento do que é liberado no processo de carvoejamento e na produção de ferro gusa (Sampaio, 1999). O interesse das indústrias siderúrgicas por essa fonte termorreductora intensificou-se ainda mais com as perspectivas do uso de mecanismo de desenvolvimento limpo do protocolo de Kyoto. Esse programa visa estimular a utilização de fontes renováveis, com o objetivo de diminuir a emissão de gases que causam o efeito estufa e contribuir com o abrandamento desse efeito através do sequestro de carbono. Em contrapartida, as empresas são premiadas pela produção do “aço verde” (Alencar, 2005; Colombo et al., 2006).

Atualmente, o Brasil tem se destacado como o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal voltado para o setor siderúrgico,

despontando na produção de ferro gusa e aço de alta qualidade e, conseqüentemente, na geração de divisas e na autossustentabilidade do setor. Essa alta produção nacional de carvão vegetal está associada às condições climáticas que favorecem o desenvolvimento de espécies florestais de rápido crescimento, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias nas áreas de genética e melhoramento, nutrição, manejo e proteção florestal (Andrade, 2007; Brito, 2007; Peláez-Samaniego et al., 2008).

O carvão vegetal é empregado em diversas finalidades, tais como: no refinamento do açúcar, ingrediente em ração de gado e aves, desodorizante, produção de vidros, pólvora, cimento, na indústria química, uso medicinal e também em destilarias. Entretanto, o uso mais nobre é para produção de carvão ativado, ao qual estão associados os maiores valores. No entanto, cerca de 84% da produção nacional é utilizada pelo setor siderúrgico (Pinheiro et al., 2008).

No setor siderúrgico, o carvão vegetal, para ser considerado de boa qualidade, deve apresentar algumas características importantes. Em uma análise preliminar, algumas avaliações podem ser feitas com facilidade, como por exemplo: o carvão deve apresentar ruído metálico ao ser quebrado; ter uma superfície de ruptura curva, lisa, sedosa e mostrar a estrutura da madeira; queimar sem desprender fumaça, fagulhas ou cheiro; ter cor negra, brilhante e ser inodoro. Porém, essas observações são simples e outros parâmetros podem ser utilizados para melhor caracterização, tais como: características físicas e físico-químicas. Entre as propriedades físicas mais importantes para operação em alto forno, podem-se destacar: granulometria; resistência mecânica e densidade (Brito, 1993).

A granulometria é de fundamental importância, pois exerce influência na permeabilidade da carga metálica dentro do alto forno, a qual facilita a vazão dos gases. Recomenda-se que o calibre médio do carvão vegetal seja o triplo do minério de ferro para permitir o máximo de vazão. Apesar da dificuldade em

controlar a granulometria durante o processo de carbonização da madeira, essa característica pode ser gerenciada pela adoção da prática de peneiramento e tem sido amplamente utilizada pelas indústrias siderúrgicas (Brito, 1993).

A granulometria está também associada com a resistência mecânica. Carvão vegetal com menor resistência é facilmente degradado durante as operações de manuseio e transporte, o que acarreta a obtenção de um produto final de menor granulometria e também proporciona a geração de grandes quantidades de “finos” - produto indesejado no topo do alto forno, pois diminui a permeabilidade e aumenta a queda de pressão no aparelho. Por outro lado, carvão vegetal com maior resistência mecânica, além de reduzir a geração de finos e aumentar a permeabilidade, evita o esmagamento pela carga metálica dentro do alto forno (Brito, 1993; Pinheiro et al., 2008).

Outra característica física de importância no setor siderúrgico é a densidade do carvão vegetal; característica essa que está diretamente relacionada com o rendimento do alto forno. Quando se utilizam carvões mais densos, ocorre maior permanência da carga metálica no interior da zona de reserva térmica do alto forno e, como consequência, para uma mesma carga metálica, é consumida menor quantidade de carvão (Brito, 1993).

Além disso, segundo Gomes & Oliveira (1980), a densidade do carvão vegetal determina o volume ocupado pelo redutor no interior do alto forno e, assim, o rendimento do equipamento. Dessa forma, não havendo prejuízo para outras características, a densidade do carvão deverá ser a maior possível. Brito & Barrichelo (1979) comentam que a madeira com maior densidade proporciona a produção de um carvão vegetal mais denso; com isso, a densidade básica da madeira é considerada como excelente índice de qualidade (Trugilho & Silva, 2001).

Com relação às propriedades químicas do carvão vegetal, destacam-se: umidade, teor de carbono fixo, teor de cinzas, enxofre, materiais voláteis,

reatividade e poder calorífico (Brito, 1993). A umidade deverá ser a menor possível. Quanto maior a umidade, maior quantidade de calor será necessária para evaporação da água, o que resultará em maior consumo de carvão para fornecimento de calor, prejudicando o desempenho do alto forno. Além do mais, alta umidade favorece a quebra do carvão, resultando na geração de “finos” (Oliveira et al., 1982).

O carvão vegetal deve possuir baixo teor de materiais voláteis, alto teor de carbono fixo, baixo teores de cinzas e enxofre. Todavia, os teores desses constituintes são influenciados principalmente pelo processo de carbonização da madeira. Nesse sentido, a temperatura e o tempo de carbonização são os principais parâmetros que regulam as propriedades químicas do carvão vegetal (Raad, 2004).

Outra característica importante para operação em auto forno é o teor de materiais voláteis, carvão vegetal com alto teor proporcionam durante o processo de queima dentro do alto forno, a liberação do alcatrão, condensando-se no sistema de limpeza do equipamento, prejudicando o seu desempenho. Carvão vegetal com alto teor de matérias voláteis indica que a madeira foi mal carbonizada (Pinheiro et al., 2008). O teor de materiais voláteis é inversamente proporcional aos teores de carbono fixo. Assim, carvão vegetal com baixo teor de materiais voláteis terá elevado teor de carbono fixo. No setor siderúrgico, o interesse por carvão com maior teor de carbono fixo está associado ao fato de ele possuir um papel importante na redução do minério de ferro, o qual também depende de sua reatividade (Brito, 1993).

A reatividade é a capacidade do carvão em reagir com o dióxido de carbono, resultando em monóxido de carbono ( $C + CO_2 = 2CO$ ). Sendo este o mais importante agente de redução do minério de ferro. O carvão vegetal também é considerado mais reativo que o coque, pelo fato de necessitar de menor temperatura para gerar o poder redutor (Brito, 1993). Entende-se que,

quanto maior a reatividade, maior o consumo de carvão vegetal para produzir uma mesma quantidade de ferro gusa. Dessa forma, deve-se buscar carvão vegetal que apresente menor valor de reatividade, com o objetivo de reduzir o consumo específico de carbono e por consequência de carvão. É esperado que, na busca dessa característica, poderão estar implicadas as necessidades do uso de madeiras mais densas e menores temperaturas de carbonização (Brito, 1993).

Outra propriedade química importante do carvão vegetal é o poder calorífico. É definido como a quantidade de energia liberada pela combustão completa de uma unidade de massa. No entanto, o poder calorífico do carvão vegetal depende do teor de carbono fixo que, por sua vez, é função da temperatura final de carbonização. Além do mais, está associado com o teor de umidade e também com os teores de lignina, extrativos, celulose e hemicelulose presentes na madeira (Pinheiro et al., 2008).

De forma resumida, há basicamente dois fatores que influenciam a qualidade do carvão: o primeiro está relacionado com a espécie florestal utilizada e o segundo, com os equipamentos e métodos de carbonização empregados (Brito, 1993). Esta última não será tratada na presente revisão, maiores detalhes encontram-se em Pinheiro et al. (2008).

Com relação à espécie florestal, observa-se que no início da siderurgia a carvão vegetal, a madeira destinada às carvoarias eram essencialmente de florestas nativas, o que resultava em um produto de baixo rendimento e com baixa qualidade. Com a evolução das tecnologias siderúrgicas, preconizou-se a homogeneização das propriedades da madeira (Pinheiro et al., 2008). Esses resultados têm sido alcançados com a escolha de espécies e híbridos de eucalipto de rápido crescimento, associadas às características tecnológicas da madeira, de importância para a produção de carvão e também aos plantios clonais, o que tem permitido maior uniformidade do produto final (Botrel et al., 2006).

## **2.2 Histórico do melhoramento de eucalipto para a produção de energia**

O interesse em espécies florestais de rápido crescimento iniciou-se com o objetivo de produção de energia. No início do século XX, havia uma elevada demanda de madeira para ser utilizada como fonte de energia nas caldeiras das locomotivas movidas a vapor, bem como para a produção de postes, mourões e dormentes, empregados na construção das estradas de ferro. Essa demanda era suprida principalmente por madeira extraída de florestas nativas, as quais se tornavam cada vez mais escassas (Ferreira, 2001).

Visando a atender essa demanda, procurou-se estabelecer estudos comparativos de desenvolvimento entre espécies nativas e exóticas. Entre as espécies avaliadas, estava o eucalipto, o qual se destacou como uma das espécies mais promissoras, devido ao seu alto índice de crescimento e excelente qualidade da madeira (Gorgulho, 1990; Andrade, 1991). Esse trabalho pioneiro é atribuído à Companhia Paulista de Estrada de Ferro, sendo o pesquisador responsável, Edmundo Navarro de Andrade. Durante o período de 1905-1915, esse pesquisador realizou a introdução e avaliação de 144 espécies do gênero *Eucalyptus* oriundas da Austrália, em que as espécies *E. grandis* Hill ex. Maiden, *E. saligna* Smith e *E. urophylla* E.T. Blake destacaram-se com maior potencial (Andrade, 1961).

Porém, os plantios com essas espécies apresentaram-se de baixa qualidade, o que tornava indispensável realizar trabalhos de melhoramento nas populações. Em função disso, Navarro de Andrade, em 1941, convidou Carlos Arnaldo Krug para elaborar um programa de melhoramento genético de *Eucalyptus* no Instituto Agrônomo de Campinas. O programa tinha como objetivo principal obter maior produtividade das florestas plantadas. Para atingir tal objetivo, foram estabelecidas algumas linhas de pesquisas, sendo elas: reduzir o número de falhas nas plantações; melhorar a forma do tronco e dos ramos; incrementar o crescimento em altura e diâmetro das árvores. O programa

também previa a seleção de árvores superiores, seleção de áreas de produção de sementes, hibridação interespecífica e seleção de mudas no viveiro (Ferreira & Santos, 1997; Ferreira, 2001).

Esse programa foi considerado como um dos mais avançados para a época. No entanto, até o fim da década de 1960, as sementes de melhor qualidade genética disponíveis ainda eram coletadas em plantios provenientes de parcelas experimentais ou talhões desbastados, algo equivalente às áreas de coleta de sementes (ACS) ou áreas de produção de sementes (APS), em que os plantios originados dessas sementes originavam florestas de alta heterogeneidade. Com o objetivo de atender à demanda crescente de sementes, tanto em qualidade quanto em quantidade, no final da década de 1960, foram implantados os primeiros pomares clonais de sementes (PCS) (Ferreira & Santos, 1997).

Os ganhos obtidos com a cultura do eucalipto passaram a chamar a atenção do setor brasileiro de celulose e papel, o qual necessitava de fibras para atender à crescente demanda de seus produtos. Também, o setor siderúrgico tinha a necessidade de grandes quantidades de carvão vegetal (Foelkel, 2007). Assim, a partir de 1973, iniciava a silvicultura brasileira, em que as empresas passaram a formar plantios comerciais e estabelecer programas de melhoramento, visando a melhorar sua aptidão para a produção de diferentes produtos (Ferreira & Santos, 1997).

No setor siderúrgico, o potencial do eucalipto para produção de energia vem sendo reconhecido desde a década de 1960 e o interesse das empresas na utilização de fontes renováveis cresceu ainda mais com a Lei de Incentivos Fiscais para o Reflorestamento (Ferreira & Santos, 1997). Nesse contexto, uma das empresas pioneiras no trabalho de melhoramento do eucalipto para produção de carvão é a V&M Florestal. Foi criada em 1969, com a responsabilidade de

produzir carvão vegetal para a usina siderúrgica do grupo VMB - Vallourec & Mannesmann do Brasil (Andrade, 2007).

A empresa partiu então para a instalação de maciços florestais no cerrado mineiro, que era uma região considerada de baixo potencial produtivo. Os primeiros plantios foram iniciados em 1969, sendo utilizadas mudas de sementes híbridas originadas do Estado de São Paulo, as quais resultaram em povoamentos de extrema heterogeneidade e baixo índice de rebrota (Oliveira et al., 1991). Para contornar essas dificuldades, no final da década de 1970, iniciaram-se os trabalhos de melhoramento genético e tecnologia de sementes de eucalipto, com a implantação dos primeiros ensaios de avaliação de espécies com potencial de crescimento nas condições edafoclimáticas do norte e noroeste do estado de Minas Gerais. Pelos resultados, verificou-se que as espécies *E. camaldulensis*, *E. urophylla*, *E. tereticornis*, *Corymbia citriodora* e *E. cloeziana* obtiveram os melhores desempenhos em relação às espécies de *E. grandis* e *E. saligna*, as quais eram as mais utilizadas nos plantios comerciais (Andrade, 2007).

Esses resultados serviram de orientação para a introdução maciça de materiais genéticos da Austrália, a partir de 1984. Assim, foram introduzidos e avaliados 7 gêneros com 53 espécies, sendo 41 espécies do gênero *Eucalyptus* e 12 de outros gêneros, gerando um total de 273 procedências (254 de eucaliptos; 19 de outros gêneros) com cerca de 3.600 progênies (Andrade, 2007). Esses materiais genéticos constituíram a base do programa de melhoramento da V&M Florestal. Atualmente, a empresa possui o maior acervo de espécies/procedência e clones de eucalipto com características voltadas para produção de carvão, adaptados às condições de baixa disponibilidade hídrica do Brasil.

As avaliações desses materiais introduzidos a partir de 1984 iniciaram-se em 1986. Um dos primeiros resultados foi a identificação de espécies e procedências mais adaptadas às regiões de atuação da empresa. As espécies/



procedências com maior potencial de crescimento identificadas foram: *E. camaldulensis* (Eccles Creek, Walsh River Einasleigh River), *E. cloeziana* (Ravenshoe, Cardwell), *E. tereticornis* (Mt. Garnet, Starcke River), *E. pellita* (Clohesy River, Kuranda), *C. citriodora* (Herberton) e *E. urophylla* (Mt. Egon) (Andrade, 1991).

Após os trabalhos de introdução dessas espécies, os esforços do melhoramento foram direcionados para a seleção massal de indivíduos superiores e seleção com famílias de meios-irmãos dentro dessas espécies. Identificados as melhores populações e os melhores indivíduos nos testes de progênies, foram implantados os campos de recombinação genética, com o objetivo de produzir sementes mais adaptadas às condições ambientais onde a empresa realizava os plantios comerciais.

Observa-se que nesse período o método de melhoramento utilizado foi a seleção recorrente intrapopulacional. Esse procedimento permitiu a obtenção de populações melhoradas e, ao mesmo tempo, forneceu sementes de melhor qualidade para realização dos plantios comerciais. Essa estratégia, juntamente com outras ações das demais áreas de pesquisa (nutrição, manejo e proteção florestal), proporcionaram ganhos significativos na produtividade, passando de 4 m<sup>3</sup>/ha/ano em 1980, para 18 m<sup>3</sup>/ha/ano em 1998, gerando um incremento de 350% em 18 anos (Andrade, 2007).

Até o ano de 1996, toda a silvicultura da V&M Florestal era baseada em plantios de mudas originárias de sementes. Essa modalidade de silvicultura era responsável por originar florestas de alta heterogeneidade. Para diminuir essa heterogeneidade, no final de 1995, a empresa passou a investir no programa de propagação vegetativa. Isso ocorreu não só pela maior uniformidade obtida nas florestas, mas, sobretudo, porque a clonagem é o melhor modo de perpetuar uma combinação híbrida superior e também é a forma de produzir um produto final mais homogêneo. Essa estratégia mostrou-se tão eficiente que os plantios clonais

iniciaram-se em 1996 e atingiram 100% das novas áreas plantadas em 2000 (Andrade, 2007).

A possibilidade de perpetuar toda a variância genética fez com que ocorresse uma adequação na estratégia de melhoramento. Os objetivos foram direcionados para a obtenção de híbridos interespecíficos, visando à geração de árvores superiores para serem clonadas. Nessa época, a seleção dos melhores indivíduos era baseada principalmente em volume de madeira e os resultados evidenciavam que o controle genético do caráter era predominantemente de efeitos de dominância (Assis, 1996); fato que incentivou a empresa a adotar a seleção recorrente recíproca a partir de 1998.

As espécies selecionadas para iniciar o programa de seleção recorrente recíproca foram *E. camaldulensis* e *E. urophylla*. Os resultados desse programa estão sendo colhidos agora, em que se observam florestas com produtividade média chegando a 36 m<sup>3</sup>/ha/ano. Os ganhos obtidos durante esses 28 anos de atuação da pesquisa são muito expressivos, proporcionando um incremento de 900% na produtividade de madeira. Vencovsky & Ramalho (2006) comentam que provavelmente 50% dos ganhos obtidos nas diferentes culturas devem-se ao melhoramento genético.

Os ganhos obtidos em termos de volume de madeira por hectare foram expressivos e, segundo Gonçalves et al. (2001), para obter ganhos significativos nessa característica, era necessário avaliar o maior número possível de clones nos testes clonais. Nesse contexto, acreditava-se que o limite de seleção para essa característica já teria sido alcançado. Além do mais, a necessidade de um produto final de melhor qualidade para atender a indústrias fez com que as empresas, a partir de 1990, passassem a considerar as características de qualidade química da madeira na seleção dos novos clones. Entre elas, observou-se que a densidade poderia ser de grande importância, pois clones que

associam maior volume com alta densidade proporcionavam maior produção de massa (Demuner & Bertolucci, 1993; Ferreira & Santos, 1997; Andrade, 2007).

Além dessa característica, atualmente, com a facilidade de obtenção das estimativas das propriedades tecnológicas da madeira por meio de métodos não destrutivos (NIRS - espectroscopia na região do infravermelho próximo), outros parâmetros tecnológicos da madeira podem ser levados em consideração na seleção, tais como: teor de lignina e de extrativos. É oportuno comentar que os programas de melhoramento de eucalipto visando à produção de carvão procuram aumentar os teores dessas características, ao passo que, os programas com o objetivo de produzir celulose procuram diminuí-las.

### **2.3 Base genética dos caracteres de importância na produção de carvão**

O conhecimento do controle genético dos caracteres de interesse é de suma importância, pois auxilia os melhoristas nas tomadas de decisões durante a condução dos programas de melhoramento. Nesse contexto, vários estudos já foram realizados na cultura do eucalipto com o objetivo de conhecer o controle genético de inúmeros caracteres de importância econômica (Griffin & Cotterill, 1988; Hardner & Potts, 1995; Marques Júnior et al., 1996; Bison et al., 2004, 2006; Poke et al., 2006; Bouvet et al., 2009).

No entanto, o maior número de informações geradas foi com as características relacionadas ao crescimento. E o melhoramento dessas características permitiu obter ganhos significativos em produtividade de madeira (Gonçalves et al., 2001; Andrade, 2007). Todavia, deve ser ressaltado que os maiores avanços foram alcançados após o emprego da clonagem, associada aos programas de hibridação interespecíficos (Assis, 2007; Andrade, 2007), em que a hibridação permite gerar combinações híbridas superiores seja, pela associação de características presentes em diferentes espécies, seja pela manifestação da

heterose; a clonagem permite que toda variância genética seja explorada (Assis, 2001).

Há resultados na literatura que evidenciam a ocorrência de heterose para circunferência à altura do peito (CAP), altura e volume (Bouvet & Vignerom, 1996; Rezende & Resende, 2000; Bouvet et al., 2009). Bison et al. (2006), encontraram estimativa média de heterose para CAP de 38,7%. Falconer & Mackey (1996) comentam que a heterose depende da ocorrência de dominância na expressão do caráter e também da divergência genética entre os genitores. Nesse contexto, os resultados obtidos por Bison et al. (2004), avaliando clones (F<sub>1</sub>) selecionados em testes de progênes híbridas do cruzamento entre as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* e também a geração F<sub>2</sub> (sementes autofecundadas) desses mesmos clones, evidenciam que apenas 20,91% dos locos para CAP encontram-se em heterozigose (*d*) e que a divergência genética tem papel fundamental na expressão do vigor híbrido em eucalipto.

Esse resultado é corroborado pela estimativa de depressão por endogamia (17,50%) obtido no mesmo trabalho (Bison et al., 2004). Griffin & Cotterill (1988), avaliando progênes autofecundadas, de polinização aberta e de polinização controlada de *E. regnans* em diferentes idades, encontraram estimativa de depressão por endogamia de 37% para volume, 11% para altura e 18% para diâmetro à altura do peito, aos 45 meses. Em *E. globulus*, Hardner & Potts (1995), avaliando progênes autofecundadas e cruzadas, observaram um ligeiro aumento na depressão por endogamia com o decorrer da idade, chegando aos 43 meses com valor de 48% para o volume, 26% para altura e 24% para diâmetro.

Pelos resultados observados nos diferentes trabalhos de controle genético, evidencia-se que os efeitos de dominância (*d*) para as características relacionadas com o crescimento em eucalipto são de pequena magnitude,

quando em comparação com outras culturas, como, por exemplo, o milho, em que, para o caráter produtividade de grãos, a contribuição do  $d$  foi de aproximadamente 70% (Ramalho et al., 2003). Mesmo assim, Assis (2001) e Rezende & Resende (2000) comentam que apesar de os efeitos de dominância serem de pequena magnitude para as características relacionadas com crescimento, em eucalipto, essas devem ser exploradas por meio da capacidade específica de combinação.

Apesar das evidências de que os efeitos de dominância sejam de pequena magnitude na expressão das características de crescimento, esses efeitos podem influenciar diretamente nas estimativas das variâncias genéticas e, por consequência, nas estimativas das herdabilidades ( $h^2$ ) desses caracteres (Falconer & Mackey, 1996). E o conhecimento da herdabilidade é de fundamental importância no trabalho dos melhoristas, pois ela mede a proporção da variância fenotípica, que é devida a causas genéticas (herdabilidade no sentido amplo  $h^2$ ) ou apenas proporção da variância aditiva sobre a variância fenotípica (herdabilidade no sentido restrito  $h^2$ ) e, com isso, mede a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo.

Tanto as herdabilidades no sentido amplo quanto no sentido restrito são úteis nos programas de melhoramento. Todavia, a maioria das estimativas encontradas na literatura foi obtida no sentido restrito, em experimento por meio dos quais avaliaram-se progênies de meios irmãos (Volker et al., 1990; Castro, 1992; Pereira et al., 1997). Isso devido à facilidade de obtenção desse tipo de progênie e porque os programas de melhoramento tinham como objetivo realizar a seleção recorrente intrapopulacional. Além do mais, a seleção entre progênie de meios irmãos explora  $\frac{1}{4}$  da variância genética aditiva, o que permite estimar diretamente a herdabilidade no sentido restrito (Souza Júnior, 2001).

Em levantamento feito a respeito do assunto, por Castro (1992), encontraram estimativas de herdabilidades no sentido restrito para volume

variando de 10 a 86%, com média de 48%. Para altura e diâmetro, as estimativas foram de maiores magnitudes, com média geral de 68 e 63%, respectivamente. Verifica-se que as herdabilidades obtidas nos trabalhos em que se avaliaram progênies de meios irmãos de *E. camaldulensis* que as estimativas foram maiores do que as encontradas nas outras duas espécies, tanto para altura quanto para diâmetro (Tabela 1).

TABELA 1 Herdabilidade no sentido restrito ( $\hat{h}_r^2$ ) e variância genética aditiva ( $\hat{\sigma}_A^2$ ) para as características altura total e diâmetro à altura do peito (DAP), obtidos ao nível de média de progênies de meios irmãos em diferentes idades e espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Idade (meses)	Altura		Diâmetro		Nº de progênies
		$\hat{\sigma}_A^2$	$\hat{h}_r^2$	$\hat{\sigma}_A^2$	$\hat{h}_r^2$	
<i>E. Camaldulenses</i>	27	1,16	0,86	0,41	0,81	17
	27	1,29	0,89	0,38	0,84	17
	27	1,18	0,84	0,47	0,77	17
	17	0,25	0,87	1,08	0,85	100
	<b>Média</b>	0,97	0,86	0,58	0,81	
<i>E. urophylla</i>	6	0,03	0,52	-	-	42
	12	0,21	0,68	-	-	42
	24	0,54	0,59	0,50	0,52	42
	36	1,28	0,59	0,88	0,51	42
	84	2,41	0,54	-	-	30
	<b>Média</b>	0,89	0,58	0,69	0,51	
<i>E. grandis</i>	12	0,64	0,86	9,10	0,64	82
	18	0,62	0,52	0,75	0,53	124
	24	0,39	0,50	0,22	0,39	54
	30	0,87	0,67	0,85	0,71	45
	30	2,55	0,54	2,56	0,59	124
	48	6,92	0,74	0,01	0,86	84
	84	1,09	0,45	0,48	0,34	64
	<b>Média</b>	1,86	0,61	1,99	0,58	
<b>Média geral</b>	1,24	0,68	1,08	0,63		

Adaptado de Castro (1992).

É oportuno ressaltar que as estimativas das herdabilidades são influenciadas por alguns fatores, tais como: número de progênies avaliadas, idade de avaliação, número de repetições empregadas no experimento, condições ambientais, tratos silviculturais, entre outros. Com relação às idades de avaliações, no trabalho de Griffin & Cotterill (1988) (Tabela 2) as herdabilidades para características de crescimento variam significativamente até aproximadamente os 21 meses e, a partir dessa época, as estimativas estabilizaram-se. Esse resultado foi observado tanto nas progênies obtidas de autofecundação quanto na de polinização aberta e de cruzamentos controlados.

Nesse contexto, em levantamento feito por Castro (1992), para *E. urophylla*, observa-se uma tendência no aumento da variância genética aditiva para altura com o passar dos anos. Todavia, as herdabilidades não sofrem grandes mudanças; provavelmente a variância fenotípica aumentou na mesma proporção que a variância aditiva. Nas outras espécies não foi observada consistência em mudança da variância aditiva com a idade; além do mais, as herdabilidades não sofreram grandes alterações com o tempo de avaliação (Tabela 1).

Esse resultado também pode ser constatado no trabalho de Griffin & Cotterill (1988), em que as estimativas da variância aditiva aumentam com a idade, independentemente do tipo de progênie e da característica avaliada; no entanto, a herdabilidade praticamente não se alterou (Tabela 2). Resultados semelhantes também foram obtidos por Pereira et al. (1997) e Rezende et al. (1994), nos quais evidenciou-se a possibilidade de realizar a seleção precoce para tais características. Conclui-se, dessa forma, que a variância fenotípica também aumenta com a idade e praticamente na mesma proporção que a variância genética aditiva, mantendo a herdabilidade constante com o tempo de avaliação.

TABELA 2 Herdabilidades no sentido amplo ( $\hat{h}_r^2$ ) e variâncias genéticas aditivas ( $\hat{\sigma}_A^2$ ) para características de crescimento, obtidas na média de progênies autofecundadas, de polinização aberta e de cruzamento de *E. regnans*, avaliadas em idades variando de 3 a 45 meses.

Tipo de progênie	Idade (meses)	Altura		Diâmetro		Volume	
		$\hat{\sigma}_A^2$	$\hat{h}_r^2$	$\hat{\sigma}_A^2$	$\hat{h}_r^2$	$\hat{\sigma}_A^2$	$\hat{h}_r^2$
Autofecundada	3	0,0041	0,25	-	-	-	-
	11	0,0072	0,04	-	-	-	-
	21	0,1185	0,16	-	-	-	-
	30	0,1152	0,13	0,6048	0,27	3,669	0,19
	45	0,1862	0,13	0,9155	0,23	28,53	0,16
Polinização aberta	3	0,0045	0,26	-	-	-	-
	11	0,0828	0,37	-	-	-	-
	21	0,3238	0,38	-	-	-	-
	30	0,3795	0,41	1,535	0,55	15,81	0,53
	45	0,6210	0,43	2,815	0,46	156,1	0,45
Cruzamento	3	0,0042	0,27	-	-	-	-
	11	0,0160	0,07	-	-	-	-
	21	0,0868	0,11	-	-	-	-
	30	0,1822	0,19	0,4556	0,20	7,6558	0,22
	45	0,2246	0,18	0,8284	0,19	62,73	0,18

Adaptado de Griffin & Cotterill (1988).

Deve ser comentado que as herdabilidades relatadas acima foram obtidas ao nível de média de progênies e no sentido restrito. No entanto, com a possibilidade de realizar a propagação clonal, as estimativas ao nível individual no sentido amplo tornam-se muito mais informativas. Resende (2001) apresenta algumas estimativas de herdabilidades no sentido amplo obtidas em *E. grandis* e *E. urophylla* (Tabela 3). As estimativas para altura, diâmetro, volume e densidade foram semelhantes entre as espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*; porém, as maiores estimativas foram obtidas na avaliação da densidade básica da madeira. Rocha et al. (2006), avaliando progênies de meios irmãos de *E. grandis*, encontraram estimativas de magnitudes semelhantes.



TABELA 3 Herdabilidades no sentido amplo ao nível de indivíduos ( $\hat{h}_i^2$ ) para altura total, diâmetro à altura do peito (DAP), volume e densidade básica da madeira, para *E. grandis* e *E. urophylla*.

Espécie	Idade	Altura	Diâmetro	Volume	Densidade	Nº de Progênes
<i>E. grandis</i>	3	0,23	0,23	-	-	282
	3 e 5	0,19	0,22	0,20	-	25
	3	0,22	0,16	-	-	39
	3	0,18	0,16	0,17	-	33
	3	0,32	0,18	-	-	64
	2	0,45	0,47	-	-	-
	2	0,26	0,15	-	-	64
	7	0,28	0,13	0,10	0,69	64
	3,5	-	-	-	0,82	-
	2,5	0,27	0,25	0,31	-	81
	5	0,35	0,32	0,29	-	180
	2 e 4	0,08	0,10	0,10	-	101
	Médias					
		0,26	0,22	0,19	0,75	
<i>E. urophylla</i>	3	0,36	0,24	-	-	67
	7	0,39	0,24	0,25	-	66 a 109
	8	0,50	0,43	0,44	-	146
	3	-	0,23	-	-	45
	4	-	0,35	-	-	45
	5	-	0,35	-	-	45
	5	0,15	0,17	-	-	33
	1, 4	0,32	0,24	-	0,71	90
Médias						
		0,34	0,28	0,34	0,71	
Média geral =		0,30	0,30	0,26	0,73	

Adaptado de Resende (2001).

Rezende & Resende (2000) verificaram que a estimativa da herdabilidade no sentido restrito ao nível de indivíduo, para volume, era, em média, de 25% e a herdabilidade no sentido amplo, de 30%. Conseqüentemente, a herdabilidade relacionada com os efeitos de dominância era de apenas 5%. No entanto, outros resultados têm demonstrado a participação significativa da variância de dominância no desempenho das características relacionadas com o crescimento.

Em levantamento feito por Bouvet et al. (2009) verificaram que a proporção da variância de dominância sobre a variância aditiva para volume, foi em média de 4,64. Para o DAP, a maioria das estimativas foi menor que 1, indicando que a variância de dominância é menor que a variância aditiva. Para densidade, os valores foram ainda menores (Tabela 4). Infere-se dessa forma, que deverá existir um maior número de genes de efeito de dominância envolvidos no controle genético das características relacionadas com o crescimento do que com a densidade.

Um outro questionamento que surge, quando o objetivo é a identificação de combinações híbridas superiores, é se a variância aditiva e de dominância aumentam na mesma proporção com o passar do tempo. Bouvet et al. (2009), avaliando o comportamento de híbridos de *E. urophylla* com *E. grandis*, observaram os seguintes resultados: aumento no coeficiente de variação com a idade; a relação da variância genética aditiva sobre a variância genética total reduziu-se lentamente; a proporção da variância genética de dominância sobre a variância genética aditiva foi aproximadamente 1,2 para altura e circunferência, evidenciando, apesar de pequena magnitude, a existência de dominância para as características relacionadas com o crescimento, e que a herdabilidade no sentido amplo aumentou ligeiramente com a idade, para altura (35 a 50%) e circunferência (20 a 40%).

Com relação ao comportamento das variâncias, Bouvet et al. (2009) observaram que poderia ser dividida em três fases, para as características altura e circunferência. A primeira, correspondendo ao período de plantio até a idade de 12 meses, quando verificaram um aumento lento da variância. Segundo os autores, esse fato pode ser explicado pelo efeito de viveiro, de plantio e pelo estabelecimento do sistema radicular no campo logo após o plantio. A segunda fase compreende o período entre os 12 e 40 meses, quando foi observado um rápido incremento nas variâncias, com crescimento acelerado em volume e

aumento progressivo em competição. A terceira fase, idade superior a 40 meses, as variâncias apresentaram tendência em estabilizar.

TABELA 4 Proporção da variância genética de dominância sobre a aditiva ( $\sigma_D^2/\sigma_A^2$ ) para diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume e densidade básica da madeira, observada em diferentes espécies de *Eucalyptus* e em várias idades.

<b>Espécie</b>	<b>Estudo</b>	<b>Característica</b>	<b>Idade</b>	$(\sigma_D^2/\sigma_A^2)$
<i>E. globulus</i>	Vaillancourt et al. (1995)	Volume	2	1,78
<i>E. globulus</i>	Hodge et al. (1996)	Volume	3	7,51
<i>E. globulus</i>	Lopez et al. (2003)	Altura	3	0,00
<i>E. globulus</i>	Costa e Silva et al. (2004)	DAP	4	0,10
		Densidade	4	0,00
<i>E. globulus</i>	Volker et al. (2008)	DAP	2	1,13
		DAP	10	0,00
<i>E. globulus</i>	Volker et al. (2008)	DAP	2	0,40
		DAP	10	2,57
		Densidade	6	0,10
<i>E. globulus</i>	Volker et al. (2008)	DAP	2	0,00
		DAP	10	0,23
		Densidade	6	0,23
<i>E. globulus</i>	Volker et al. (2008)	DAP	2	0,63
		DAP	10	0,80
		Densidade	6	0,14
<i>E. nitens</i>	Hodge et al. (1996)	Volume	2	0,00
<i>E. nitens</i>	Hardner & Tibbits (1998)	DAP	4	2,00
		Densidade	9	0,10

Adaptado de Bouvet et al. (2009).

O conhecimento do comportamento dos parâmetros genéticos ao longo do tempo é importante para estabelecer a melhor idade de seleção (Bouvet et al., 2009), pois sabe-se que a eficiência de qualquer estratégia de melhoramento está diretamente relacionada com a seleção precoce (Kerr et al., 2004). Nesse contexto, os resultados encontrados na literatura são concordantes quando se verificam que a seleção precoce é eficiente no melhoramento genético do eucalipto (Lambeth, 1980; Otegbeye, 1991; Rezende et al., 1994; Marques Júnior et al., 1996; Pereira et al., 1997).

Visando à produção de carvão, além das características de crescimento, outras devem ser levadas em consideração no momento da seleção, tais como: densidade básica, teor de lignina e de extrativos. Contudo, informações a respeito do controle genético dessas características são escassas. Isso se deve a alguns motivos, como, por exemplo: grande número de amostras a serem analisadas; alto custo das análises químicas; serem trabalhosas e demoradas (Xavier et al., 1997). Atualmente, com a utilização de procedimentos de análises não destrutivas (NIRS - espectroscopia na região do infravermelho próximo), tem sido possível obter tais informações. Vale ressaltar que em resultados preliminares evidenciou-se que a herança dessas características é predominantemente de efeitos aditivos (Assis, 2001; Bison et al., 2004, 2006).

Segundo Paula et al. (2002), a densidade básica da madeira é uma das características que apresentam maior herdabilidade, quando comparada com as características de crescimento. Entretanto, ela apresenta a menor expectativa de ganho com a seleção. Esse fato é decorrente da baixa variabilidade genética (medida pelo coeficiente de variação genética) apresentada por esse caráter (Paula et al., 2002). Segundo Assis (2001), a pequena variabilidade genética dentro das espécies tradicionalmente plantadas no Brasil, principalmente para as características tecnológicas da madeira, dificulta a obtenção de indivíduos que

aperfeiçoem as características desejadas e que sejam capazes de promover saltos significativos em termos quantitativos e qualitativos.

Nesse contexto, a realização da hibridação entre diferentes espécies tem proporcionado gerar variabilidade, associando características que se encontram em diferentes espécies e explorar o vigor híbrido (Assis, 2001). Essa estratégia de melhoramento, associada com a clonagem, tem sido a maneira mais rápida de obter ganhos, pois tanto a variância genética aditiva quanto a de dominância são exploradas (Ramalho et al., 2008). O emprego dessas estratégias de melhoramento tem permitido obter ganhos significativos em todas as características de interesse (Demuner & Bertolucci, 1993; Gonçalves et al., 2001; Andrade, 2007).

Para as características teor de lignina e de extrativos, as estimativas de herdabilidades encontradas na literatura também foram de elevada magnitude. No trabalho de Demuner & Bertolucci (1993) encontraram resultados de herdabilidade no sentido amplo para teor de lignina de 82,6% e para o teor de extrativos de 85,6%. Avaliando 25 clones de *Eucalyptus* spp., Tolfo et al. (2005) encontraram resultados de herdabilidade no sentido amplo aos 80 meses para o teor de lignina de 84% e para o teor de extrativos, de 83%.

Apesar de as estimativas das herdabilidades evidenciarem a possibilidade de sucesso com a seleção das características em isoladas, não obstante, os programas de melhoramento visam obter ganhos em um conjunto de atributos. Dessa forma, o estudo das correlações genéticas entre elas é de fundamental importância, pois mede o grau de associação entre as características, ou seja, o quanto será afetada uma determinada característica quando a seleção for realizada em outra (Ramalho et al., 2005).

Estimativas de correlações genéticas entre as características de relevância na produção de carvão foram obtidas em algumas oportunidades e encontram-se apresentadas nas Tabelas 5, 6, 7 e 8. Observou-se que as correlações entre as

características de crescimento (volume, diâmetro e altura), em todos os trabalhos, foram altas e positivas (Kageyama & Vencovsky, 1983; Paula et al., 2002; Tolfo et al., 2005). Mas, essa mesma concordância nem sempre foi observada entre as características de crescimento e as propriedades tecnológicas da madeira ou até mesmo entre as propriedades da madeira. Nos trabalhos realizados por Paula et al. (2002) e Tolfo et al. (2005), por exemplo, encontraram estimativas de correlação entre densidade e DAP alta e positiva ( $> 0,20$ ); já nos trabalhos realizados por Apiolaza et al. (2005) e Quang et al. (2009), essas correlações foram altas, mas, negativas ( $< -0,50$ ).

Esses autores explanam que árvores de rápido crescimento resultam em madeira de menor densidade básica, pelo fato de ser formada por células de parede celular menos espessa, e possuir um alto conteúdo de celulose, mas reduzida concentração de lignina e extrativos, pois necessitam de maior quantidade de energia para serem sintetizadas. Porém, Quang et al. (2009) comentam que não existem resultados conclusivos de que a correlação entre densidade básica da madeira e DAP seja alta e negativa. Além do mais, sabe-se que a densidade da madeira é influenciada por outros fatores, como: quantidade de vasos e de parênquima, dimensão da fibra, da espécie e das condições ambientais (Foelkel et al., 1990).

Nesse contexto, presumia-se que as correlações entre densidade básica com teor de lignina e extrativo também fossem altas. No entanto, os resultados encontrados são diferentes e frequentemente não concordantes. No trabalho realizado por Poke et al. (2006), a correlação entre densidade básica da madeira e teor de lignina foi de  $-0,51$ , já no trabalho de Tolfo et al. (2005), essa estimativa foi de  $0,09$ . Em relação às estimativas das correlações genéticas que envolvem densidade básica e teor de extrativos foi concordante nesses dois trabalhos, porém, de pequena magnitude (Tolfo et al., 2005; Poke et al., 2006).

Apesar de serem pouco documentadas na literatura, as estimativas das correlações entre DAP com extrativo e lignina são mais concordantes entre os diferentes trabalhos, muita das vezes, positivas, porém, de pequena magnitude (Tolfo et al., 2005; Poke et al., 2006). Já as estimativas das correlações genéticas entre o teor de lignina e de extrativos, nos dois trabalhos, as estimativas foram superior a 0,36.

TABELA 5 Correlação genética entre características de crescimento, avaliada em 49 progênies de meios irmãos de *E. grandis.*, aos 24 meses.

	<b>Diâmetro</b>	<b>Volume</b>
<b>Altura</b>	0,76	0,96
<b>Diâmetro</b>		0,99

Adaptado de Kageyama & Vencovsky (1983).

TABELA 6 Correlação genética entre características de crescimento e densidade básica da madeira avaliada em 44 progênies de meios irmãos de *E. camaldulensis* Dehnh., aos 67 meses.

	<b>Diâmetro</b>	<b>Volume</b>	<b>Densidade</b>
<b>Altura</b>	0,81	0,87	0,35
<b>Diâmetro</b>		0,99	0,52
<b>Volume</b>			0,43

Adaptado de Paula et al. (2002).

TABELA 7 Correlação genética entre pares de características avaliadas em 25 clones de *Eucalyptus* spp., aos 80 meses de idade.

	<b>Diâmetro</b>	<b>Volume</b>	<b>Lignina</b>	<b>Extrativos</b>	<b>Densidade</b>
<b>Altura</b>	0,66	0,84	-0,11	-0,12	-0,23
<b>Diâmetro</b>		0,97	0,22	0,35	0,23
<b>Volume</b>			0,17	0,25	0,11
<b>Lignina</b>				0,53	0,09
<b>Extrativos</b>					0,20

Adaptado de Tolfo et al. (2005).

TABELA 8 Correlação genética entre diferentes características avaliadas em progênies de meios irmãos de *E. globulus* aos 13 anos de idade.

	<b>Densidade</b>	<b>Extrativos</b>	<b>Lignina</b>
<b>Extrativos</b>	0,22		
<b>Lignina</b>	-0,51	0,31	
<b>DAP</b>		0,10	0,28

Adaptado de Poke et al. (2006).

#### **2.4 NIRS - Avaliação das propriedades tecnológicas da madeira**

Há uma grande variabilidade genética para as diferentes características de importância econômica nas espécies e híbridos de eucalipto e ganhos nessas características são alvos a serem atingidos. Para que isso ocorra, torna-se necessária a avaliação de um grande número de indivíduos. Todavia, os tradicionais métodos de análises químicas são demorados, caros e trabalhosos, o que torna inviável a análise de um amplo número de amostras. Nesse contexto, a espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS) tem se despontado como uma técnica eficiente (Hein, 2008; Viana, 2008).

O NIRS (Near Infrared Spectroscopy) é um procedimento de análise qualitativo e quantitativo baseado na espectroscopia do infravermelho próximo e fundamentado na absorção seletiva da luz pelos compostos químicos. Esse método não mede diretamente os constituintes presentes, mas sim a interação da radiação eletromagnética com as ligações químicas (Pasquini, 2003; Guimarães, 2004).

Essa técnica vem sendo utilizada em inúmeras áreas do conhecimento (Hart et al., 1962; Wold, 1978; Bertrand, 2002; Hein, 2008). No setor florestal, os primeiros trabalhos foram realizados na década de 1980, onde os objetivos estavam voltados para o setor de celulose e papel (Birktt & Gambino, 1988). Inicialmente, foram desenvolvidos modelos de calibração para quantificar e caracterizar os componentes químicos presentes na madeira (Garbutt et al.,



1992; Easty et al., 1990). Atualmente, o método também tem obtido sucesso na determinação das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira (Via et al., 2003; Hein, 2008; Viana, 2008).

O procedimento de análise consiste na exposição de uma amostra do material a ser analisado à radiação eletromagnética emitida pelo equipamento chamado espectrômetro NIR. A faixa espectral normalmente emitida varia de 750 nm a 2,500 nm, região denominada de infravermelho próximo. Essa radiação interage com os grupos funcionais dos constituintes químicos da amostra, principalmente com as ligações químicas do tipo: C-H, O-H, N-H, S-H e C=O, de forma que cada comprimento de onda que incide sobre a amostra pode ser absorvido, transmitido ou refletido, dependendo do tipo de ligação química e da concentração dos constituintes presentes (Pasquini, 2003; Guimarães, 2004).

Dessa forma, cada material irá interagir de maneira diferente, apresentando valores distintos de absorvância, refletância e transmitância. Após a interação com a luz, o aparelho também tem a função de coletar os valores dos diferentes tipos de interações e enviá-las ao computador. O conjunto de observações de uma amostra formará um espectro (gráfico). É no computador, utilizando programas específicos, que ocorre a associação dos valores dos espectros com os constituintes químicos (Pasquini, 2003; Guimarães, 2004).

No entanto, antes de prever as características desejadas, torna-se necessário construir modelos estatísticos capazes de determinar com exatidão as concentrações com base nos espectros obtidos. O processo de modelagem consiste em duas etapas: calibração e validação do modelo. A primeira tem por objetivo desenvolver um modelo estatístico que melhor represente os dados espectrais com os dados obtidos na análise convencional; esse procedimento exige inicialmente amostras com composição conhecida e que represente toda a variabilidade existente para a característica; em seguida, procede-se à validação,

que nada mais é do que a acurácia do modelo em predizer outras amostras de composição conhecida. A partir da calibração e validação do modelo estatístico, o aparelho está pronto para ser utilizado (Pasquini, 2003; Guimarães, 2004; Pantoja, 2006).

Pasquini (2003) comenta que o ponto-chave no sucesso da aplicação da espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS) está no desenvolvimento de modelos estatísticos capazes de predizer com segurança as características desejadas e que há forte simbiose entre a técnica NIRS e a análise multivariada dos dados. Nesse ponto, a análise multivariada tem por objetivo desenvolver modelos que melhor predizem as propriedades de interesse, a partir de um sinal; no caso, a quantidade de luz que chega ao detector. Os métodos estatísticos mais comumente utilizados para modelar são: regressão linear múltipla (MLR), regressão dos componentes principais (PCR) e regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS).

Esse procedimento de análise apresenta algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais de análise química, como, por exemplo: é não destrutivo; permite a análise de um grande número de amostras, o custo por amostra é baixo; possibilita analisar vários constituintes em uma única amostra e apresenta alta correlação com os resultados obtidos pelo método convencional (Guimarães, 2004). Dessa forma, o emprego NIRS tem permitido incluir as propriedades tecnológicas da madeira nas etapas iniciais de seleção e, com isso, maximizar a eficiência dos programas de melhoramento florestal.

## **2.5 Emprego do BLUP no melhoramento florestal**

Em razão de as diferenças a serem identificadas tornarem cada vez menores ao longo dos ciclos de melhoramento e que algumas características apresentam baixa variabilidade genética, a obtenção dos parâmetros genéticos deve ser feita da maneira mais fidedigna possível, para se obter os melhores

resultados. Nesse contexto, o procedimento de análise BLUP (Best Linear Unbiased Predictor) tem se destacado no melhoramento de espécies perenes (Resende, 2002).

Segundo Bernardo (2002), o BLUP é recomendado quando se dispõe de teste com dados desbalanceados e/ou na presença da informação de parentesco. Além disso, com essa metodologia pode-se estimar valores genéticos de indivíduos não observados, resultando em economia de tempo e recursos na condução dos programas de melhoramento (Bernardo, 1994, 1995, 1996).

No melhoramento genético do eucalipto, a utilização do BLUP intensificou-se em razão do grande desbalanceamento dos experimentos e, sobretudo, pela possibilidade de selecionar indivíduos nos testes de progênies com base nos seus valores genéticos, envolvendo todos os parâmetros do modelo, proporcionando, assim, maior eficiência no processo de seleção (Resende, 2002).

O BLUP é o procedimento de estimação de componentes de variância e predição dos efeitos aleatórios, simultaneamente. Foi desenvolvido por Henderson, em 1949, no contexto de modelos mistos, com o objetivo de prever os valores genéticos de animais para produção de leite sob condições de desbalanceamento dos dados (Resende, 2002). Em tal situação, o método padrão de análise de variância (ANOVA), fundamentado no método dos quadrados mínimos (MQM), apresenta limitações (White & Hodge, 1989). No entanto, o BLUP somente foi apresentado formalmente em 1973 e utilizado como um método rotineiro de análise nos programas de melhoramento vegetal a partir do avanço no campo computacional (Resende, 2002).

Uma questão que surge ao realizar análise via modelos lineares mistos é: quais efeitos deverão ser tratados como fixos e quais deverão ser tratados como aleatórios. Nesse contexto, observam-se na literatura diferentes pontos de vista

(Eisenhart, 1947; Searle, 1971; Robinson, 1991; Federer, 1998; Bearzoti, 2002; Resende, 2002). Uma revisão objetiva e resumida foi feita por Nunes (2006) e não será tratada no presente trabalho.

Definidos quais os efeitos do modelo serão fixos e quais serão aleatórios, o procedimento BLUP ajusta os dados para os efeitos fixos identificáveis e simultaneamente prediz os valores genéticos dos indivíduos. Tal metodologia fundamenta-se na seguinte equação de modelos mistos de Henderson (1975):

$$Y = X\beta + Zg + \varepsilon$$

$Y$  : vetor das observações;

$X$  : matriz de incidência ou matriz dos coeficientes do modelo, associada aos efeitos fixos;

$\beta$  : vetor de efeitos fixos a serem estimados;

$Z$  : matriz de incidência dos valores genotípicos ou matriz dos coeficientes do modelo associada aos efeitos aleatórios;

$g$  : vetor dos valores genotípicos, tomados como aleatórios;

$\varepsilon$  : vetor dos erros aleatórios associados a cada observação;

Considerando a função densidade de probabilidade conjunta ( $f(Y, g)$ ), normal e multivariada entre os dados observados ( $Y$ ) e os valores genéticos ( $g$ ), Henderson et al. (1959) propõem a obtenção dos BLUP dos efeitos aleatórios, mediante a maximização dessa função, em relação aos efeitos fixos e aleatórios.

Tomando-se o modelo apresentado, assume-se que:

$$\begin{bmatrix} Y \\ g \\ \varepsilon \end{bmatrix} \sim N \left( \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} ZGZ'+R & ZG & R \\ GZ' & G & \phi \\ R'\phi & ZG & \phi \end{bmatrix} \right)$$

Em que:

0: vetor nulo;

$\phi$ : matriz nula;

$G$ :  $A\sigma_g^2$ ; em que  $A$  é a matriz que indica o grau de associação genética entre os indivíduos (matriz de parentesco genético) e  $\sigma_g^2$  é a matriz de variâncias e covariâncias genéticas entre as características que compõem as observações;

$R$ :  $I\sigma_\varepsilon^2$ ; em que  $I$  é a matriz identidade e  $\sigma_\varepsilon^2$  é a matriz de variâncias e covariâncias residuais entre as características que compõem as observações.

A função densidade de probabilidade conjunta de  $Y$  e  $g$  pode ser escrita como o produto entre a função densidade condicional de  $Y$ , dados  $g$  e a função densidade de probabilidade de  $g$ :

$$f(Y, g) = 1 / \left[ (2\pi)^{n/2} |R|^{1/2} \right] \exp \left\{ -1/2 [(Y - X\beta - Zg)' R^{-1} (Y - X\beta - Zg)] \right\} \\ \cdot 1 / \left[ (2\pi)^{n/2} |G|^{1/2} \right] \exp \left\{ -1/2 [(g - 0)' G^{-1} (g - 0)] \right\}$$

Para proceder à maximização de  $f(Y, g)$ , pode-se usar o artifício da transformação por logaritmo ( $L = \log f(Y, g)$ ); derivando  $L$  em função de  $\beta$  e

$g$ , obtém-se a solução conjunta para os efeitos fixos e aleatórios, a qual é obtida pelo seguinte sistema de equações (Henderson, 1984):

$$\begin{bmatrix} X' \hat{R}^{-1} X & X' \hat{R}^{-1} Z \\ Z' \hat{R}^{-1} X & Z' \hat{R}^{-1} Z + \hat{G}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}^0 \\ \hat{g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X' \hat{R}^{-1} Y \\ Z' \hat{R}^{-1} Y \end{bmatrix}$$

Essas são chamadas Equações de Modelos Mistos (EMM), por meio das quais se obtêm os melhores estimadores lineares não viesados (BLUE) dos efeitos fixos ( $\hat{\beta}^0$ ), bem como os melhores preditores lineares não viesados (BLUP) dos efeitos aleatórios ( $\hat{g}$ ).

Admitindo que  $\hat{V} = Z \hat{R}^{-1} Z' + \hat{G}$ , a solução do sistema será:

$$\begin{aligned} \hat{\beta}^0 &= (X' \hat{V}^{-1} X)^{-1} X' \hat{V}^{-1} Y \\ \hat{g} &= \hat{G} Z' \hat{V}^{-1} (Y - X \hat{\beta}^0) \end{aligned}$$

Se  $G$  e  $R$  forem conhecidas,  $\hat{\beta}$  é chamado melhor estimador linear não viesado (BLUE) e  $\hat{g}$  é denominado de melhor preditor linear não viesado (BLUP); porém,  $G$  e  $R$  geralmente são desconhecidas, dispondo-se apenas de estimativas. Nesse caso, os termos BLUE e BLUP não mais se aplicam, sendo apropriado substituí-los por EBLUE e EBLUP (BLUE e BLUP empírico) (Littell et al., 1996; SAS Institute, 2000; Resende, 2002).

Como já comentado, na maioria dos casos, as matrizes  $R$  e  $G$  não são conhecidas e devem ser obtidas mediante observações de campo. O procedimento padrão para estimação dos componentes de variância no contexto dos modelos lineares mistos é o método da Máxima Verossimilhança Restrita

(REML) de Patterson & Thompson (1971). Segundo Resende (2002), a função a ser maximizada é a dada por:

$$L = -\frac{1}{2} \left( \log|XV^{-1}X| + \log|V| + \nu \log \sigma_e^2 + Y'PY / \sigma_e^2 \right)$$

$$= -\frac{1}{2} \left( \log|C^*| + \log|R| + \log|G| + \nu \log \sigma_e^2 + Y'PY / \sigma_e^2 \right)$$

Em que:

$$V = R + ZGZ'$$

$$P = V^{-1} - V^{-1}X(X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}$$

$\nu = N - r(x)$  : graus de liberdade, em que  $N$  é o número total de dados e  $r(x)$  é o posto da matriz  $X$ .

$C^*$  : matriz dos coeficientes das equações de modelo misto.

A Função (L) de verossimilhança restrita pode ser maximizada (visando a obter as estimativas REML dos componentes de variância), empregando-se diferentes algoritmos tais como: “Expectation Maximization” (EM); “Derivative Free” (DF); “Average Information” (AI) e Newton-Raphson (Littel et al., 1996; Resende, 2002).

No procedimento BLUP, valores arbitrários iniciais dos componentes de variâncias são empregados para obter soluções de  $\beta$  e  $g$ , por meio das EMM. Essas soluções, por sua vez, são utilizadas para obter novas estimativas dos componentes de variância, por um dos algoritmos descritos acima e, assim, o processo repete-se até que a convergência seja alcançada, ou seja, as soluções das equações são realizadas por meio iterativo (Resende, 2002).

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A. E. de. Os impactos sociais e ambientais do uso de carvão vegetal no Estado do Pará. **Lato e Sensu**, Belém, v. 6, n. 2, p. 53-59, nov. 2005.

ANDRADE, E. N. de. **O eucalipto**. 2. ed. Jundiaí: CPEF, 1961. 665 p.

ANDRADE, H. B. **Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus L'Heritier (Myrtaceae)* nas regiões norte e noroeste do Estado de Minas Gerais**. 1991. 105 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ANDRADE, H. B. Melhoramento do eucalipto para a indústria siderúrgica. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 11, 2007, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 37-47.

APIOLAZA, L. A.; RAYMOND, C. A.; YEO, B. J. Genetic variation of physical and chemical wood properties of *Eucalyptus globulus*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 54, n. 4/5, p. 160-166, 2005.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 32-51, fev. 1996.

ASSIS, T. F. Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. In: RESENDE, M. D. V. (Ed.). **Workshop sobre melhoramento de espécies florestais e palmáceas no Brasil**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2001. p. 193-214.

ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Híbridação e clonagem. In: BORÉM, A. **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. p. 93-121.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. **Siderurgia a carvão vegetal: passado presente e futuro**. Informativo Técnico RENABIO, Viçosa, MG, n. 1, p. 1-15, 2006. Disponível em: [http://www.renabio.org.br/arquivos/p\\_siderurgia\\_futuro\\_3290.pdf](http://www.renabio.org.br/arquivos/p_siderurgia_futuro_3290.pdf). Acesso em: 17 nov. 2009.

BEARZOTI, E. Emprego de marcadores em modelos mistos. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 4., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 21-43.



- BERNARDO, R. Best linear unbiased prediction of maize single-cross performance. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 1, p. 50-56, Jan. 1996.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Stemma, 2002. 369 p.
- BERNARDO, R. Genetic models for predicting maize single-cross performance in unbalanced yield trial data. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 141-147, Jan. 1995.
- BERNARDO, R. Prediction of maize single-cross performance using RFLPs and information from related hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 20-25, Jan. 1994.
- BERTRAND, D. La spectroscopie proche infrarouge et ses applications dans les industries de l'alimentation animale. **Journal of Animal Production**, França, v. 15, n. 3, p. 209-219, July 2002.
- BIRKTT, M. D.; GAMBINO, M. J. T. Potential applications for near infrared spectroscopy in the pulping industry. **Paper Southern Africa**, Pretoria, v. 11, n. 12, p. 34-38, Nov./Dec. 1988.
- BISON, O.; AGUIAR, A. M.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P. Inbreeding depression in *Eucalyptus* clones. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, n. 4, p. 459-464, Dec. 2004.
- BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de. Comparison between open pollinated progenies and hybrids performance in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 55, n. 4/5, p. 192-196, Nov. 2006.
- BOTREL, M. C. G.; SOUZA, A. M.; CARVALHO, D.; PINTO, S. I. C.; MOURA, M. C. O.; ESTOPA, R. A. Caracterização genética de *Calophyllum brasiliense* Camb. em duas populações de mata ciliar. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 821-827, set. 2006.
- BOUVET, J. M.; SAYA, A.; VIGNERON, PH. Tends in additive, dominance and environmental effects with age for growth traits in *Eucalyptus* hybrid populations. **Euphytica**, Wageningen, v. 165, n. 1, p. 35-54, Jan. 2009.
- BOUVET, J. M.; VIGNERON, PH. Variance structure in *Eucalyptus* hybrid populations. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 2/3, p. 2-3, July 1996.

BRITO, J. O. Reflexões sobre qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **IPEF**, Piracicaba, n. 181, p. 1-6, fev. 1993.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 185-193, jan./abr. 2007.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Aspecto florestais e tecnológicos da matéria-prima para carvão vegetal. **IPEF**, Piracicaba, n. 67, p. 1-4, set. 1979.

CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; VALVERDE, S. R. Setor florestal é destaque na economia brasileira. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 16, n. 95, p. 14-24, abr. 2006.

CASTRO, N. H. C. de. **Número de repetições e eficiência da seleção em progênies de meios irmãos de *Eucalyptus camaldulensis***. 1992. 121 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

COLOMBO, S. F. O.; PIMENTA, Af. S.; HATAKEYAMA, K. Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006. p. 1-8.

COSTA E SILVA, J.; BORRALHO, N. M. G.; POTTS, B. M. Additive and non-additive genetic parameters from clonally replicated and seedling progenies of *Eucalyptus globulus*. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 108, n. 6, p. 1113-1119, Apr. 2004.

DEMUNER, B. J.; BERTOLUCCI, F. de L. G. Seleção florestal: uma nova abordagem a partir de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características da madeira e polpa de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 26., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1993. p. 411-423.

EASTY, D. B.; BERBEN, S. A.; DETHOMAS, F. A.; BRIMMER, P. J. Near infrared spectroscopy for the analysis of wood pulp: qualifying hardwood-softwood mixtures and estimating lignin content. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 73, n. 10, p. 257-261, 1990.

EISENHART, C. The assumptions behind the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 3, n. 1, p. 1-21, 1947.

FALCONER, D. S.; MACKEY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.

FEDERER, W. T. Recovery of interblock, intergradient, and intervariatal information in incomplete block and lattice rectangle designed experiments. **Biometrics**, Washington, v. 54, n. 2, p. 471-481, June 1998.

FERREIRA, M. Histórico da introdução de espécies florestais de interesse econômico e o estado de sua conservação no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE CONSERVAÇÃO E USO DE RECURSOS GENÉTICOS FLORESTAIS, 2000, Paraguá. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 19-66.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. dos. Melhoramento genético florestal dos *Eucalyptus* no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 1997. v. 1, p. 14-34.

FOELKEL, C. As plantações de florestas no Brasil. In: BORÉM, A. **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. p. 13-24.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MEMOCHELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilização como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 719-728.

GARBUTT, D. C. F.; DONKIN, M. J.; MEYER, J. H. Near infrared reflectance analysis of cellulose and lignin in wood. **Paper Southern Africa**, Pretoria, v. 2, n. 4, p. 45-48, Apr. 1992.

GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Teoria da carbonização da madeira. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: CETEC, 1980. v. 1, p. 27-42.

GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. de L. G.; RAMALHO, M. A. P. Progresso genético por meio da seleção de clones de eucalipto em plantios comerciais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 295-301, jul./set. 2001.

GORGULHO, S. P. **Avaliação de progênies de *Eucalyptus pyrocarpa* L. Johnson e Blaxell em diferentes espaçamentos de plantio.** 1990. 71 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GRATTAPAGLIA, D. Aplicações operacionais de marcadores moleculares. In: BORÉM, A. **Biotecnologia florestal.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. p. 175-200.

GRIFFIN, A. R.; COTTERILL, P. P. Genetic variation in growth of outcrossed, selfed and open-pollinated progenies of *Eucalyptus regnans* and some implications for breeding strategy. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 37, n. 3/4, p. 124-131, 1988.

GUIMARÃES, L. de M. **Princípios e aplicações da espectroscopia no infravermelho próximo para caracterização tecnológica da madeira.** 2004. 35 p. Monografia (Graduação em Física) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

HARDNER, C. M.; POTTS, B. M. Inbreeding depression and changes in variation after selfing in *Eucalyptus globules* ssp. *globulus*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 44, n. 1, p. 46-54, Mar. 1995.

HARDNER, C. M.; TIBBITS, W. Inbreeding depression for growth, wood, and fecundity traits in *Eucalyptus nitens*. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 5, n. 1, p. 11-20, 1998.

HART, J. R.; NORRIS, K. H.; GOLUMBIC, C. Determination of the moisture content of seeds by near-infrared spectrophotometry of their methanol extracts. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 39, p. 94-99, Mar. 1962.

HEIN, P. R. G. **Avaliação das propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* por meio da espectroscopia no infravermelho próximo.** 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

HENDERSON, C. R. **Applications of linear models in animal breeding.** Guelph: University of Guelph, 1984. 462 p.

HENDERSON, C. R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, Washington, v. 31, n. 2, p. 423-447, June 1975.

HENDERSON, C. R.; KEMPTHORNE, O.; SEARLE, S. R.; VON KROSIGK, C. M. The estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling. **Biometrics**, Washington, v. 13, n. 1, p. 192-218, June 1959.

HODGE, G. R.; VOLKER, P. W.; POTTS, B. M.; OWEN, J. V. A comparison of genetic information from open-pollinated and control-pollinated progeny tests in two eucalypt species. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 92, n. 1, p. 53-63, Jan. 1996.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Política para a madeira energética**: por uma política para a madeira energética e o carvão vegetal. Rio de Janeiro, 2006. 15 p.

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

KERR, R. J.; DIETERS, M. T.; TIER, B. Simulation of the comparative gains from four different hybrid tree breeding strategies. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 34, n. 1, p. 209-220, Jan. 2004.

LAMBETH, C. C. Juvenile-mature correlations in *Pinaceae* and implications for early selection. **Forest Science**, Bethesda, v. 26, n. 4, p. 571-580, Dec. 1980.

LIN, J. C. M. Development of a high yield and low cycle time biomass char production system. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 87, n. 6, p. 487-495, June 2006.

LITTLEL, R. C.; MILLEKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D. **SAS® System for mixed models**. Cary: SAS Institute, 1996. 633 p.

LOPEZ, G. A.; POTTS, B. M.; VAILLANCOURT RENÉ, E.; APIOLAZA L. A. Maternal and carryover effects on early growth of *Eucalyptus globulus*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 33, n. 11, p. 2108-2115, 2003.

MARQUES JÚNIOR, O. G.; ANDRADE, H. B.; RAMALHO, M. A. P. Assessment of the early selection efficiency in *Eucalyptus cloeziana* F. muell, in northwest of Minas Gerais State. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 5/6, p. 359-361, Dec. 1996.

NUNES, J. A. R. **Incorporação da informação de parentesco no método genealógico pelo enfoque de modelos mistos**. 2006. 113 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, A. C.; MORAIS, E. J.; ANDRADE, H. B. **Resultados, planejamento e evolução do melhoramento genético florestal**. Paraopeba: Mannesmann, 1991. 131 p.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. de. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão. In: CARVÃO vegetal: destilação, carvoamento, propriedades, controle de qualidade. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 7-38.

OTEGBEYE, G. O. Age trends in the genetic control of stem diameter of *Eucalyptus tereticornis* and the implication for selection. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 40, n. 2, p. 85-87, July 1991.

PANTOJA, P. A. **Aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo na caracterização da carga de petróleo para o processo de destilação atmosférica**. 2006. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspect and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 545-554, Nov. 1971.

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

PELÁEZ-SAMANIEGO, M. R.; GARCIA-PEREZ, M.; CORTEZ, L. B.; ROSILIO-CALLE, F.; MESA, J. Improvements of Brazilian carbonization industry as part of the creation of global biomass economy. **Renewable and Sustainable Energy Review**, Oxford, v. 12, n. 4, p. 1063-1086, May 2008.

PEREIRA, A. B.; MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P.; ALTHOFF, P. Eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 1-14, jun. 1997.

PINHEIRO, P. C. da C.; SAMPAIO, R. S.; REZENDE, M. E. A. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. 2. ed. Belo Horizonte: Edição do Autor, 2008. 120 p.

POKE, F. S.; POTTS, B. M.; VAILLANCOURT, R. E.; RAYMOND, C. A. Genetic parameters for lignin, extractives and decay in *Eucalyptus globulus*. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 63, n. 8, p. 813-821, Dec. 2006.

QUANG, T. H.; KIEN, N. D.; ARNOLD, S. V.; JANSSON, G.; THINH, H. H.; CLAPHAM, D. Relationship of wood composition to growth traits of selected open-pollinated families of *Eucalyptus urophylla* from a progeny trial in Vietnam. **New Forests**, Dordrecht, p. 1-12, Oct. 2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/f485040236345358/fulltext.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2009.

RAAD, T. J. **Simulação do processo de secagem e carbonização do *Eucalyptus* spp.** 2004. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 322 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 4. ed. Lavras: UFLA, 2008. 463 p.

RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A.; SOUZA, J. C. de. **Genética de populações e quantitativa**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 43 p. (Textos Acadêmicos).

REIS, C. A. F. **Correspondência no desempenho entre árvores selecionadas em teste de progênies e seus clones em *Eucalyptus* spp.** 2009. 47 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

RESENDE, M. D. V. de. Melhoramento de espécies perenes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento**: plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 357-421.

REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones avaliados no Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 45-50, jun. 1994.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. Dominance effects in *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and hybrids. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa, **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 93-100.

ROBINSON, G. K. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. **Statistical Science**, Hayward, v. 6, n. 1, p. 15-51, Feb. 1991.

ROCHA, M. das 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. **Revista Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 99-107, ago. 2006.

SAMPAIO, R. S. Integrating cultivated biomass with charcoal and steel making for CO<sub>2</sub> fixation and O<sub>2</sub> regeneration. In: BIOMASS CONFERENCE OF THE AMERICAS, 4., 1999, Oakland. **Proceeding...** Oakland: [s.n.], 1999. CD-ROM.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**: version 8. Cary, 2000.

SEARLE, S. R. **Linear models**. New York: J. Willey, 1971. 532 p.

SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Melhoramento de espécies alógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento**: plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 159-199.

TOLFO, A. L. T.; PAULA, R. C. de; BONINE, C. A. V.; BASSA, A.; VALLE, C. F. do. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 101-110, abr. 2005.



TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. da. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, jun. 2001.

VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M.; WATSON, M.; VOLKER, P. W.; HODGE, G. R.; REID, J. B.; WEST, A. K. Detection and prediction of heterosis in *Eucalyptus globulus*. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 2, n. 1, p. 11-19, 1995.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Contribuição do melhoramento genético de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2006. p. 57-89.

VIA, B. K.; SHUPE, T. F.; GROOM, L. H.; STINE, M.; SO, C-H. Multivariate modeling of density strength and stiffness from near infrared spectra for mature, juvenile and pith wood of longleaf pine (*Pinus palustris*). **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, Sussex, v. 11, n. 5, p. 365-378, 2003.

VIANA, L. C. **Uso da espectroscopia no infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus***. 2008. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

VOLKER, P. W.; DEAN, C. A.; TIBBITS, W. N.; RAVENWOOD, I. C. Genetic parameters and gains expected from selection in *Eucalyptus globulus* in Tasmania. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 39, n. 1, p. 18-28, Mar. 1990.

VOLKER, P. W.; POTTS, B. M.; BORRALHO, N. M. G. Genetic parameters of intra- and inter-specific hybrids of *Eucalyptus globules* and *E. nitens*. **Tree Genetics & Genomes**, Berlin, v. 4, n. 3, p. 445-460, Sept. 2008.

XAVIER, A.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D.; CECON, P. R. Parâmetros genéticos de características de qualidade da madeira em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 71-78, jan. 1997.

WHITE, T. L.; HODGE, G. R. **Predicting breeding values with applications in forest tree improvement**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. 363 p.

WOLD, S. Cross-validation estimation of the number of components in factor and principal components models. **Technometrics**, Washington, v. 20, n. 4, p. 397-405, Nov. 1978.

## **CAPÍTULO 2**

### **SELEÇÃO PRECOCE DE GENITORES E ÁRVORES EM TESTES DE PROGÊNIES DE IRMÃOS GERMANOS DE *Eucalyptus* spp.**

## RESUMO

Com este trabalho objetivou-se avaliar a eficiência da seleção precoce tanto de genitores quanto de árvores para clonagem em testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. Foram avaliadas 61 progênies híbridas, na região norte, noroeste e central do estado de Minas Gerais, nos municípios de Bocaiúva, João Pinheiro e Paraopeba, respectivamente. Os experimentos foram instalados em 2001, utilizando o delineamento de blocos casualizados com três repetições e parcelas de uma linha com cinco plantas. A característica avaliada foi circunferência à altura do peito (CAP) aos 30 e 84 meses da data de plantio. A eficiência da seleção precoce foi avaliada por meio da flutuação dos parâmetros genéticos e fenotípicos com o tempo de avaliação, índice de coincidência das progênies e árvores selecionadas precocemente com as selecionadas em idade de corte, correlação genética, correlação fenotípica, correlação classificatória de Spearman, resposta correlacionada com a seleção, estimativa dos ganhos por ano e repetibilidade dos valores fenotípicos ao nível de indivíduo. Em todas as metodologias empregadas, verificou-se que a seleção precoce é eficaz, tanto na seleção de genitores quanto na seleção de árvores para clonagem. O emprego dessa estratégia permitirá que os programas de melhoramento genético do eucalipto realizem a recombinação das progênies superiores e a identificação de clones potenciais em um menor intervalo de tempo.

## ABSTRACT

This work was carried out with the objective of evaluating the early selection efficiency of progenies and trees for cloning in full-sib progenies test of *Eucalyptus* spp. Sixty-one hybrid progenies were assessed in the north, northwest and central area of the state of Minas Gerais, in the cities of Bocaiúva, João Pinheiro and Paraopeba, respectively. The experiments were installed in 2001, using a randomized-block design with three replications and plots of a line with five plants. The trait evaluated was circumference at breast height (CHB) to 30 and 84 months after planting date. The efficiency of the early selection was evaluated through the genetic and phenotypic parameters flotation with the ages, index coincidence between the progenies and trees selected early with selection at the cut age, genetic correlation, phenotypic correlation, correlation of Spearman, answer correlated with the selection, estimate of the gain per year and repeatability of the phenotypic values at individual's level. All methodologies used show that the early selection is effective either for selection of genitors or to selection of trees for cloning. The employ of this strategy will allow the genetic breeding programs of the eucalyptus to achieve the recombination of the superior progenies and the identification of potential clones in a short time.

## 1 INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais tem como uma das principais atividades econômicas a siderurgia, que consome grande quantidade de carvão vegetal. Essa matéria-prima é produzida principalmente nas regiões norte e noroeste do estado, onde ocorre acentuado déficit hídrico. Essa condição climática dificulta a obtenção de clones de eucalipto com alta produtividade de madeira. No entanto, a condução de programas de melhoramento de eucalipto voltado para essas regiões tem permitido obter resultados expressivos com a cultura (Andrade, 2007).

A primeira estratégia adotada nos programas de melhoramento foi a introdução e identificação das espécies potenciais. Pelos resultados verificou-se que as espécies *E. camaldulensis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *E. terenticornis*, *E. pellita* e *Corimbia citriodora* eram as mais promissoras (Andrade, 1991). Após os trabalhos de introdução dessas espécies, os esforços do melhoramento foram direcionados para seleção massal de indivíduos superiores e seleção com famílias de meios irmãos, o que permitiu promover o melhoramento das espécies e também fornecer sementes melhoradas para os plantios comerciais. Assim, até o final da década de 1990, os plantios nessas regiões eram feitos com mudas de sementes, o que resultava em florestas de alta heterogeneidade. Com a viabilidade da propagação clonal, toda a silvicultura foi direcionada para plantios clonais, onde os ganhos com o emprego dessa inovação foram ainda maiores (Gonçalves et al., 2001; Andrade, 2007).

A possibilidade de perpetuar toda a variância genética pela clonagem fez com que ocorresse uma adequação nas estratégias de melhoramento. Os programas de melhoramento direcionaram seus trabalhos para a obtenção de híbridos interespecíficos, o que permite associar características que se encontram

em espécies diferentes, explorar a heterose e obter clones com maior estabilidade em condições consideradas marginais para o cultivo das espécies “per se” (Assis, 2001; Rezende & Resende, 2000; Bouvet et al., 2009).

Esse procedimento não só permitiu aumentos significativos na produtividade de madeira, como também possibilitou a obtenção de um produto final mais homogêneo (Andrade, 2007). Todavia, deve ser ressaltado que a clonagem é uma técnica de “fim de linha”, isto é, proporciona o máximo de ganho em uma única geração e, a partir daí, nenhum ganho adicional é conseguido (Assis, 1996). Sendo assim, para assegurar o desenvolvimento de clones com desempenho superior aos já existentes, é importante que, além da seleção clonal, sejam conduzidos programas de seleção recorrente (Ramalho, 1994; Gonçalves et al., 2001; Bison et al., 2006). No entanto, a eficiência dessa estratégia de melhoramento dependerá do intervalo entre gerações. Nesse contexto, a seleção precoce, além de viabilizar a condução de programas de seleção recorrente, tem permitido a obtenção de maiores ganhos por unidade de tempo. A eficiência da seleção precoce já tem sido documentada em algumas oportunidades (Rezende et al., 1994; Marques Júnior et al., 1996; Pereira et al., 1997). Todavia, esses trabalhos foram realizados com progênies de meios irmãos, as quais não possibilitam um entendimento global do comportamento da variância genética total com o decorrer da idade, pois a variância genética entre progênie é composta apenas da variância aditiva. Já na avaliação de progênies de irmãos germanos, além do componente aditivo, está presente a variância genética de dominância (Falconer & Mackay, 1996).

Segundo Bouvet et al. (2009), as mudanças dos efeitos aditivos e de dominância ao longo do desenvolvimento das árvores têm sido pouco documentadas em eucalipto. A avaliação das variâncias com o decorrer do tempo de avaliação ajuda estabelecer a melhor época para realizar a seleção e, com isso, maximizar os ganhos a serem obtidos. Esses autores verificaram que a

relação entre a variância genética aditiva e a variância genética total tende a reduzir-se com o tempo de avaliação e que a herdabilidade no sentido amplo aumentou ligeiramente com o tempo de avaliação, para as características altura (35 a 50%) e circunferência à altura do peito (20 a 40%). Dessa forma, infere-se que a variância de dominância aumente a uma taxa maior do que a variância aditiva com o tempo de avaliação e que a melhor idade para realizar a seleção de árvores nos testes de progênies híbridas seria em idade de corte.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da seleção precoce em testes de progênies híbridas, tanto na seleção de genitores quanto na seleção de árvores para clonagem.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Condução dos experimentos

Os trabalhos foram conduzidos na empresa V&M Florestal. Foram obtidas 61 progênies de irmãos germanos por meio de cruzamentos controlados, envolvendo as espécies de *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. pellita* (Tabela 1A). Essas progênies híbridas, juntamente com três testemunhas (*E. camaldulensis*, *E. urophylla* e um clone comercial), foram plantadas no ano de 2001 em três regiões de atuação da empresa, as quais apresentam características edafoclimáticas contrastantes e encontram-se localizadas na região norte, noroeste e central do estado de Minas Gerais, nos municípios de Bocaiúva, João Pinheiro e Paraopeba, respectivamente (Tabela 2A). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições e parcelas de uma linha com cinco plantas. O espaçamento utilizado foi de 3 x 3 metros. Os tratos silviculturais foram realizados de acordo com os que normalmente são feitos nos plantios comerciais da empresa. A característica avaliada foi a circunferência à altura do peito (CAP), em duas épocas distintas: a primeira aos 30 meses da data de plantio e a segunda aos 84 meses.

### 2.2 Seleção de genitores

Os dados obtidos na avaliação das progênies de irmãos germanos foram submetidos às análises de variância individuais e conjuntas, de acordo com os procedimentos descritos por Ramalho et al. (2005). As análises foram realizadas utilizando o PROC GLM (*Procedure for General Linear Models*) do SAS® (SAS Institute, 2000). Com base na decomposição das esperanças dos quadrados médios (EQM), foram estimados os parâmetros genéticos e fenotípicos ao longo



das idades. Os limites superiores e inferiores das herdabilidades foram obtidos por meio da expressão apresentada por Knapp et al. (1985), utilizando coeficiente de confiança a 95%.

A eficiência da seleção precoce na escolha das melhores progênies foi avaliada utilizando seis metodologias diferentes: flutuação dos parâmetros genéticos e fenotípicos ao longo das idades; índices de coincidência das progênies selecionadas aos 30 meses com as selecionadas aos 84 meses, utilizando a expressão de Hamblin & Zimmermann (1986); correlação genética ( $\hat{r}_g$ ) (Ramalho et al., 2005); correlação classificatória de Spearman ( $\hat{\rho}$ ) (Steel & Torrie, 1988); resposta correlacionada com a seleção e, por último, estimativa dos ganhos obtidos por ano.

### **2.3 Seleção de árvores para clonagem**

A eficiência da seleção precoce das melhores árvores para serem clonadas foi avaliada pelas mesmas metodologias citadas no item 2.2.2. Além dessas, foi estimada a correlação fenotípica ( $\hat{r}_f$ ) (Ramalho et al., 2005) e a repetibilidade ( $\hat{\rho}_s$ ) dos valores fenotípicos ao nível de indivíduo, segundo Resende (2002). A variabilidade para seleção das melhores árvores também foi avaliada pela distribuição dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) ao nível de indivíduos, obtidos nas análises individuais via modelos mistos REML/BLUP, empregando o programa computacional Seleção Genética Computadorizada ou Selegen (Resende, 2007b).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, há dois objetivos bem distintos: identificar as melhores progênies para formação de um banco de matrizes elites e identificar as melhores árvores para serem clonadas e darem origem aos futuros clones da empresa; dessa forma, esse tópico será apresentado ressaltando esses dois objetivos.

#### 3.1 Seleção de progênies

Considerando que normalmente ocorre alta correlação entre CAP, altura e volume (Kageyama & Vencovsky, 1983; Pereira et al., 1997; Paula et al., 2002; Tolfo et al., 2005), a ênfase será direcionada ao CAP. As análises de variâncias conjuntas encontram-se na Tabela 3A. As fontes de variação progênies foram sempre significativas ( $P < 0,01$ ). Pelas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, verifica-se que há variabilidade genética suficiente para antever o sucesso com a seleção.

Observa-se que as estimativas das variâncias genéticas entre progênies ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) aumentam com o tempo de avaliação. Poder-se-ia argumentar que o incremento na estimativa da  $\hat{\sigma}_p^2$  ocorreu devido ao crescimento das árvores. Veja, contudo, que a mesma tendência, embora de menor magnitude, foi observada na estimativa dos coeficientes de variação genética (CVg). Desse modo, proporcionalmente à média do caráter nas diferentes idades, a variância genética tendeu a crescer (Tabela 3A).

No entanto, as estimativas de herdabilidade ( $\hat{h}_a^2$ ) para a seleção na média das progênies foram semelhantes nas duas idades (Tabela 3A). Além do mais, observe que os intervalos de confiança dessas estimativas se sobrepõem. Dessa

forma, pode-se inferir que as estimativas de  $\hat{h}_a^2$  nas diferentes idades foram iguais. Considerando que na seleção de qualquer caráter, a estimativa de  $\hat{h}^2$  é a principal responsável pelo sucesso a ser obtido com a seleção (Falconer & Mackay, 1996; Bernardo, 2002), por meio desses resultados evidencia-se que a seleção precoce das progênies é eficiente. Resultados semelhantes foram obtidos por (Lambeth, 1980; Kageyama, 1983; Marques Júnior et al., 1996; Pereira et al., 1997).

As estimativas de  $\hat{h}^2$  disponíveis na literatura, sobretudo em trabalhos conduzidos na região, não são diretamente comparáveis às obtidas neste trabalho, porque são referentes à avaliação de progênies de meios irmãos (Marques Júnior et al., 1996; Pereira et al., 1997). Em progênies de meios irmãos, é explorado  $\frac{1}{4}$  da variância aditiva entre progênies. No caso de irmãos germanos, que foi utilizado neste trabalho, a  $\hat{\sigma}_p^2$  é constituída de  $\frac{1}{2}$  da variância aditiva ( $\sigma_A^2$ ) mais  $\frac{1}{4}$  da variância de dominância ( $\sigma_D^2$ ). No que se refere à  $\sigma_D^2$ , ainda não há consenso a respeito da sua contribuição para a variância genética, porque não se tem certeza da real contribuição dos efeitos de dominância para a expressão do CAP. Em levantamento feito por Bouvet et al. (2009), há indícios de que a  $\sigma_D^2$  seja expressiva para características relacionadas com o crescimento. Entretanto, no trabalho de Bison et al. (2004), verifica-se que há dominância no controle genético dessas características, mas que não é de grande magnitude.

Observe que a interação progênies x locais foi significativa nas duas épocas de avaliação (Tabela 3A), no entanto, as proporções das variâncias da interação progênies por locais ( $\hat{\sigma}_{PL}^2$ ) sobre a  $\hat{\sigma}_p^2$  foram inferiores a 29,5%, indicando que apesar de a interação estar presente no desempenho das progênies,

ela se mostrou de pequena magnitude. Dessa forma, a seleção das melhores progênies deve ser realizada com base na média da análise de variância conjunta dos locais. Resultados semelhantes foram obtidos em outros trabalhos conduzidos em regiões próximas às do presente trabalho (Andrade, 1991; Castro, 1992; Marques Júnior et al., 1996; Pereira et al., 1997).

É oportuno comentar que a eficiência de qualquer programa de melhoramento florestal será tanto maior quanto mais precoce for realizada a seleção (Pereira et al. 1997; Kerr et al., 2004). Com o objetivo de avaliar a eficiência dessa estratégia de seleção em progênies de irmãos germanos, foram selecionadas as 10 melhores e as 10 piores progênies aos 30 meses e aos 84 meses. Pelos resultados observa-se um alto índice de coincidência entre as progênies selecionadas nas duas idades (Tabela 4A). Observa-se que das dez progênies selecionadas aos 30 meses, sete também as foram aos 84 meses (Tabela 5A). A eficiência da seleção precoce também ficou evidenciada pela alta magnitude da estimativa da correlação genética ( $\hat{r}_g$ ) e da correlação classificatória de Spearman ( $\hat{\rho}$ ) (Tabela 4A).

Apesar de não ocorrerem grandes alterações no ranqueamento das progênies selecionadas aos 30 meses com as selecionadas aos 84 meses, um questionamento que surge é se a média no momento do corte das árvores selecionadas aos 30 meses é de magnitude inferior à obtida com a seleção realizada apenas na idade de corte. Veja, contudo, que apesar de a média das progênies identificadas aos 84 meses ser 1,37% superior às das progênies identificadas aos 30 meses, esse valor não justifica esperar sete anos para realizar a seleção (Tabela 6A). Com isso, fica mais uma vez evidenciada a eficiência da seleção precoce.

Para melhor comparação das épocas de seleção, os ganhos devem ser estimados por ano. Com base nos resultados, ficou evidenciado que o número de anos para realizar a seleção exerce grande influência nos ganhos a serem obtidos

em um programa de melhoramento florestal e que os melhores resultados são obtidos com a seleção precoce (Tabela 6A). Veja que, com a seleção realizada aos 30 meses, o ganho anual foi 112% superior ao que seria obtido com a seleção aos 84 meses. Resultados semelhantes foram relatados por (Riemenschneider 1988; Borralho et al., 1992; Marques Júnior et al., 1995; Pereira et al., 1997). Além dos ganhos por ano serem maiores com a seleção precoce, o emprego dessa estratégia de seleção torna os programas de melhoramento genético de espécies florestais muito mais dinâmicos, permitindo que a recombinação dos genitores superiores seja realizada em um intervalo de tempo menor.

Em eucalipto, a viabilidade em praticar a seleção precoce de progênies e árvores potenciais vislumbra a possibilidade de realizar a seleção recorrente com maior dinamismo. Alguns autores comentam que a seleção recorrente recíproca é eficiente (Rezende & Resende, 2000; Assis, 2001). No entanto, visando à produção de carvão vegetal, a melhor estratégia parece ser a obtenção de populações sintéticas, submetendo-as, posteriormente, a sucessivos ciclos de seleção recorrente intrapopulacional (Resende et al., 2005). Tal procedimento foi denominado por Kerr et al. (2004) de seleção recorrente intrapopulacional em populações sintéticas (SRIPS).

De acordo com os mesmos autores, a SRIPS está associada a maiores ganhos genéticos por ano, quando comparada a outros métodos de melhoramento, porque apresenta menor intervalo de geração. Além disso, apresenta outras vantagens; associar caracteres que se encontram em espécies distintas; explorar características tecnológicas da madeira que são controladas principalmente por genes de efeitos aditivos e manter a heterose já presente nos indivíduos utilizados nos cruzamentos (Assis, 2001; Kerr et al., 2004; Resende et al., 2005).

Apesar de a SRIPS ser semelhante à SRI, esta não deve ser conduzida da mesma forma. Segundo Resende et al. (2005), a SRIPS deve ser conduzida de maneira mais dinâmica, em que a cada ciclo de seleção poderão ser incluídos novos genitores, os quais poderão ser clones ou progênies promissoras encontradas nos testes de híbridos, entre outros genótipos. Também poderão ser retirados genitores que não apresentam bom desempenho nos testes de progênies e selecionar árvores para clonagem.

Avaliando o potencial das diferentes espécies, observou-se que os híbridos envolvendo *E. camaldulensis* com *E. urophylla* e *E. grandis* apresentaram as maiores médias na análise de variância conjunta. Apesar de os híbridos de *E. camaldulensis* x *E. urophylla* mostrarem alto potencial para serem explorados nas regiões em que foram conduzidos os testes, apenas cinco progênies das 43 avaliadas foram selecionadas, ou seja, 11,62%. Já para os híbridos entre *E. camaldulensis* x *E. grandis*, das quinze progênies avaliadas, cinco estão entre as dez selecionadas, o que resultou em uma maior proporção de progênies selecionadas (33,33%) desse cruzamento (Tabela 7A). No entanto, essas progênies deverão ser avaliadas quanto à densidade básica da madeira, pois é sabido que a espécie *E. grandis* apresenta baixa densidade básica da madeira (Assis, 2001), o que é indesejável para a produção de carvão.

### **3.2 Seleção de árvores para clonagem**

A acurácia seletiva das análises individuais foram superiores a 77,81% (Tabelas 8A, 9A e 10A). Com essas estimativas infere-se que a precisão experimental pode ser considerada de alta a muito alta (Resende & Duarte, 2007; Resende, 2007a). A fonte de variação progênie foi significativa ( $P < 0,01$ ) em todas as análises de variâncias e pelas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, ficou evidente a possibilidade de sucesso com a seleção.

A variabilidade para o CAP também pode ser constatada por meio das distribuições de frequência das estimativas dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) (Figuras 1A, 2A e 3A). As maiores amplitudes de variação foram observadas aos 84 meses do plantio, e isso ocorreu em razão do crescimento acelerado de determinados genótipos, os quais se sobressaíram em relação aos demais (Andrade, 2002). Em João Pinheiro, aos 30 meses, 6,49% das árvores avaliadas foram superiores ao clone mais plantado na empresa; já aos 84 meses, esse valor foi de 3,43%. Nos outros dois locais, essa porcentagem foi menor. Deve ser comentado que o número de indivíduos avaliados por progênies foi baixo e que um grande número delas apresentou média baixa, acarretando um menor número de indivíduos que superassem a testemunha. Todavia, se forem consideradas outras características de importância na produção de carvão vegetal, certamente, serão identificados clones que superam com vantagens o pré-existente.

Verificou-se que, em todos os locais, as estimativas das  $\hat{\sigma}_p^2$  aumentaram com o tempo de avaliação. Veja, contudo, que a mesma tendência foi observada para variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), de modo que a herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de progênie manteve-se constante com o tempo de avaliação, exceto para o local Bocaiúva. Resultados semelhantes foram encontrados em outros trabalhos (Griffin & Cotterill, 1988; Rezende et al., 1994; Pereira et al., 1997).

A herdabilidade para a seleção de indivíduos ( $\hat{h}_i^2$ ) variou entre os locais. Em Bocaiúva, a  $\hat{h}_i^2$ , aos 84 meses (45,9%), foi superior à obtida aos 30 meses. Nos outros dois locais, o intervalo de confiança da  $\hat{h}_i^2$  se sobrepõe, permitindo inferir que a idade de avaliação não alterou a estimativa de  $\hat{h}_i^2$  (Tabelas 8A, 9A

e 10A). Embora na estimativa da variância genética entre indivíduos ocorra dominância, essa estimativa é útil na seleção, pois o que se deseja é a obtenção de clones. Nesse caso, toda a variância genética é explorada com a seleção.

As estimativas das correlações fenotípicas para os diferentes locais foram superiores a 0,85, indicando boa associação entre o desempenho das árvores na idade precoce com a idade de corte (Tabela 11A). As estimativas das correlações classificatórias de Spearman ( $\hat{\rho}$ ) foram elevadas ( $> 0,83$ ), indicando que a classificação das árvores não sofreram variações tão expressivas de uma época de avaliação para outra (Tabela 12A). O índice de coincidência também foi de alta magnitude, com valores superiores a 60,51% (Tabela 13A).

A eficiência da seleção precoce também foi confirmada pelo coeficiente de repetibilidade individual ( $\hat{\rho}_s$ ). Observa-se na Tabela 14A que as estimativas para os diferentes locais foram de magnitude elevada ( $> 0,78$ ). Segundo Resende (2002), coeficientes de repetibilidade acima de 80% são adequados e indicam que, apesar de poder ocorrer troca na ordem das árvores de uma época para outra, o grupo das melhores não deverá ser alterado significativamente. Isso significa dizer que a seleção poderá ser feita em apenas uma época de avaliação - no caso, aos 30 meses.

Outra evidência importante a favor da seleção precoce foi o desempenho dos indivíduos aos 84 meses pela seleção realizada aos 30 meses (Tabela 15A). Veja, contudo, que apesar de as médias serem maiores quando a seleção é efetuado na idade de corte (84 meses), essa superioridade não justifica esperar sete anos para realizar a seleção, visto que os melhores indivíduos estarão na seleção realizada aos 30 meses. Comparando os ganhos por ano para as duas estratégias de seleção, verificou-se que, em todos os locais, os maiores valores foram obtidos com a seleção realizada aos 30 meses. Veja que com a seleção aos 30 meses, os ganhos obtidos por ano foram superiores a 31% do que seria obtido com a seleção aos 84 meses; além do mais, o programa tornar-se-á muito mais



dinâmico com o desenvolvimento de clones superiores em um intervalo de tempo menor.

Dessa forma, ficou confirmado, por todas as metodologias empregadas, que a melhor estratégia é realizar a seleção precoce das árvores potenciais para, em seguida, serem avaliadas nos testes clonais; no entanto, na seleção das árvores nos testes de progênies híbridas, não deverá ser empregada alta intensidade de seleção, principalmente quando se realiza a seleção precoce. Ao se utilizar alta intensidade de seleção, além de nem todos os indivíduos que seriam selecionados aos 30 meses estarem na seleção aos 84 meses, a correlação genética entre o desempenho das árvores selecionadas nos testes de progênies e os mesmos nos testes clonais é baixa (Costa, 2008; Reis, 2009).

Poder-se-ia argumentar se nas progênies com melhor desempenho ocorreram as melhores árvores. Verificou-se que, na progênie 18, foi selecionado o maior número de indivíduos. Veja na Tabela 7A que ela foi a de melhor desempenho médio nos três locais. Essa progênie é o produto do cruzamento de uma matriz de *E. camaldulensis* (identificada como sendo a matriz de *E. camaldulensis* de número 18) com *E. urophylla* (identificada com sendo a matriz de *E. urophylla* de número 7). Híbridos de *E. camaldulensis* com *E. grandis* também geraram grande número de indivíduos selecionados, principalmente na região de João Pinheiro (Tabela 16A). Por outro lado, híbridos de *E. camaldulensis* com *E. pellita* não deram origem a árvores com crescimento satisfatório.

#### 4 CONCLUSÃO

A seleção precoce é eficiente em testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp, tanto para seleção de genitores quanto na seleção de árvores potenciais para serem clonadas.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, H. B. **Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus L’Heritier* (Myrtaceae) nas regiões norte e noroeste do Estado de Minas Gerais**. 1991. 105 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ANDRADE, H. B. **Eficiência dos experimentos com clones na cultura do eucalipto**. 2002. 162 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ANDRADE, H. B. Melhoramento do eucalipto para a indústria siderúrgica. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 11., 2007, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 37-47.
- ASSIS, T. F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 32-51, Fev. 1996.
- ASSIS, T. F. Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. In: RESENDE, M. D. V. (Ed.). **Workshop sobre melhoramento de espécies florestais e palmáceas no Brasil**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2001. p. 193-214.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Stemma, 2002. 369 p.
- BISON, O.; AGUIAR, A. M.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P. Inbreeding depression in *Eucalyptus* clones. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, n. 4, p. 459-464, Dec. 2004.
- BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de. Comparison between open pollinated progenies and hybrids performance in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 55, n. 4/5, p. 192-196, Nov. 2006.
- BORRALHO, N. M. G.; KANOWSKI, P. J.; COTTERILL, P. P. Genetic control of growth of *Eucalyptus globulus* in Portugal. Genetic and phenotypic parameters. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 41, n. 1, p. 39-45, Mar. 1992.

BOUVET, J. M.; SAYA, A.; VIGNERON, PH. Tends in additive, dominance and environmental effects with age for growth traits in *Eucalyptus* hybrid populations. **Euphytica**, Wageningen, v. 165, n. 1, p. 35-54, Jan. 2009.

CASTRO, N. H. C. de. **Número de repetições e eficiência da seleção em progênies de meios irmãos de *Eucalyptus camaldulensis***. 1992. 121 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

COSTA, R. R. G. F. **Performance dos indivíduos nos testes de progênies e os respectivos clones de eucalipto**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FALCONER, D. S.; MACKEY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.

GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. de L. G.; RAMALHO, M. A. P. **Progresso genético por meio da seleção de clones de eucalipto em plantios comerciais**. Revista *Árvore*, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 295-301, jul./set. 2001.

GRIFFIN, A. R.; COTTERILL, P. P. Genetic variation in growth of outcrossed, selfed and open-pollinated progenies of *Eucalyptus regnans* and some implications for breeding strategy. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 37, n. 3/4, p. 124-131, 1988.

HAMBLIN, J. E.; ZIMMERMANN, M. J. de O. Breeding common bean for yield in mixtures. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 4, n. 8, p. 245-272, Aug. 1986.

KAGEYAMA, P. Y. **Seleção precoce a diferentes idades em progênies de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. 1983. 147 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

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

KERR, R. J.; DIETERS, M. T.; TIER, B. Simulation of the comparative gains from four different hybrid tree breeding strategies. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 34, n. 1, p. 209-220, Jan. 2004.

- KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progenie mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, n.1, p. 192-194, Jan./Feb. 1985.
- LAMBETH, C. C. Juvenile-mature correlations in *Pinaceae* and implications for early selection. **Forest Science**, Bethesda, v. 26, n. 4, p. 571-580, Dec. 1980.
- MARQUES JÚNIOR, O. G.; ANDRADE, H. B.; RAMALHO, M. A. P. Assessment of the early selection efficiency in *Eucalyptus cloeziana* F. muell, in northwest of Minas Gerais State. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 5/6, p. 359-361, Dec. 1996.
- PAULA, R. C. de; PIRRES, I. E.; BORGES, R. de C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, fev. 2002.
- PEREIRA, A. B.; MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P.; ALTHOFF, P. Eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 1-14, jun. 1997.
- RAMALHO, M. A. P. Emprego da seleção recorrente no melhoramento de essências florestais. In: WORKSHOP Métodos de Seleção. Belo Horizonte: CTMF-SIF, 1994. p. 1-18.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 322 p.
- REIS, C. A. F. **Correspondência no desempenho entre árvores selecionadas em teste de progênies e seus clones em *Eucalyptus* spp.** 2009. 47 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.
- RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 561 p.
- RESENDE, M. D. V. de. **Software Selegen-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção computadorizada via modelos mistos**. Colombo: Embrapa Floresta, 2007b. 359 p.

RESENDE, M. D. V. de; 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, set. 2007.

RESENDE, M. D. V. de; REZENDE, G. D. S. P.; AGUIAR, A. M.; BARBOSA, M. H. P. Seleção recorrente e o melhoramento genético do eucalipto no Brasil. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 11., 2005, Lavras. **Anais...** Lavras: Ed. UFLA, 2005. p. 59-84.

REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones avaliados no Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 45-50, jun. 1994.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. Dominance effects in *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and hybrids. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa, **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 93-100.

RIEMENSCHNEIDER, D. E. Heritability, age-age correlations, and inferences regarding juvenile selection in Jack Pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 34, n. 4, p.1076-1082, Dec.1988.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**: version 8. Cary, 2000.

STELL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Bioestadística**: princípios e procedimentos. 2. ed. México: McGraw-Hill, 1988. 622 p.

TOLFO, A. L. T.; PAULA, R. C. de; BONINE, C. A. V.; BASSA, A.; VALLE, C. F. do. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 101-110, abr. 2005.

## ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Relação de cruzamentos e números de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. avaliadas.....	70
TABELA 2A	Características edafoclimáticas das três regiões em que foram conduzidos os testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., implantados no ano de 2001.....	70
TABELA 3A	Resumo das análises de variâncias conjuntas de locais, dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 30 e 84 meses de idade, e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para circunferência à altura do peito (CAP) em cm.....	71
TABELA 4A	Índice de coincidência (Hamblin & Zimmermann (1986) ( $I_c$ )) das 10 melhores e das 10 piores progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., selecionadas com base na média da análise de variância conjunta para CAP (cm) aos 30 meses, com aquelas selecionadas aos 84 meses; correlação genética ( $r_g$ ) e correlação classificatória de Spearman ( $\hat{\rho}$ ).....	72
TABELA 5A	Dez melhores progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. selecionadas aos 30 e aos 84 meses de idade, com base nas médias obtidas na análise de variância conjunta de locais para CAP (cm).....	72

TABELA 6A	Resposta das 10 melhores progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 84 meses, pela seleção realizada aos 30 e aos 84 meses, com base nas médias obtidas nas análises de variâncias conjuntas de locais e estimativas dos ganhos obtidos por ano, para CAP (cm).....	73
TABELA 7A	Origem das 10 melhores progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. selecionadas aos 84 meses, com base nas médias obtidas na análise de variância conjunta de locais, para CAP (cm).....	73
TABELA 8A	Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos <i>Eucalyptus</i> spp. em Bocaiúva, aos 30 e aos 84 meses de idade.....	74
TABELA 9A	Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos <i>Eucalyptus</i> spp. em Paraopeba, aos 30 e aos 84 meses de idade.....	75
TABELA 10A	Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos <i>Eucalyptus</i> spp. em João Pinheiro, aos 30 e aos 84 meses de idade.....	76



TABELA 11A	Estimativa das correlações fenotípicas ( $r_f$ ) entre o desempenho das árvores aos 30 meses com performance aos 84 meses, para CAP (cm) obtida nos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., nos três locais de avaliação.....	76
TABELA 12A	Estimativa das correlações classificatória de Spearman ( $\hat{\rho}$ ) entre o desempenho das árvores aos 30 meses com performance aos 84 meses, para CAP (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., nos três locais de avaliação.....	77
TABELA 13A	Índice de Coincidência de Hamblin & Zimmermann (1986) para característica CAP das 100 melhores e das 100 piores árvores selecionadas com base nos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) aos 30 e aos 84 meses, para CAP (cm), obtidas nos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., nos três locais de avaliação.....	77
TABELA 14A	Resumo da análise de variância conjunta de épocas dentro de locais, para característica CAP (cm), dos dados obtidos nas avaliações dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. e estimativa do coeficiente de repetibilidade ( $\hat{\rho}_\delta$ ), para os três locais.....	78

TABELA 15A	Resposta das 100 melhores árvores identificadas no teste de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 84 meses pela seleção realizada aos 30 e aos 84 meses com base nos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) e estimativas dos ganhos obtidos por ano, para CAP (cm), nos três locais de avaliação.....	78
TABELA 16A	Relação das progênies que geram o maior número de indivíduos selecionados nos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 84 meses, com base nos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para CAP (cm), nas três regiões de avaliação.....	79
FIGURA 1A	Distribuição de frequência das estimativas dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para CAP, em cm/planta, obtidos na avaliação de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 30 (a) e aos 84 meses (b), no município de Bocaiúva - MG.....	80
FIGURA 2A	Distribuição de frequência das estimativas dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para CAP, em cm/planta, obtidos na avaliação de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 30 (a) e aos 84 meses (b), no município de Paraopeba - MG.....	81
FIGURA 3A	Distribuição de frequência das estimativas dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para CAP, em cm/planta, obtidos na avaliação de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 30 (a) e aos 84 meses (b), no município de João Pinheiro - MG.....	82

TABELA 1A Relação de cruzamentos e números de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. avaliadas.

<b>Cruzamentos</b>	<b>Nº de Progênies</b>
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>	43
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>	15
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. pellita</i>	2
<i>E. camaldulensis</i> x Mix <i>E. camal</i> *	1

\* mistura de pólen de matrizes de *E. camaldulensis*.

TABELA 2A Características edafoclimáticas das três regiões em que foram conduzidos os testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., implantados no ano de 2001.

<b>Municípios</b>	<b>Latit</b>	<b>Long</b>	<b>Altít</b>	<b>Precip</b>	<b>Temp</b>	<b>Solo</b>
João Pinheiro	17°40'S	46°32'W	500	1.346	17-25	Arenoso
Bocaiúva	19°30'S	43°20'W	850	851	16-26	Areno-argil
Paraopeba	19°17'S	44°29'W	700	1.353	15-24	Argiloso

Altít- altitude, em metros ; Precip- precipitação, em mm; Temp- temperatura, em °C.

TABELA 3A Resumo das análises de variâncias conjuntas de locais, dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 30 e 84 meses de idade, e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para circunferência à altura do peito (CAP) em cm.

FV	30 Meses		84 Meses	
	GL	QM	GL	QM
Repetições (Locais)	6	12,9	6	49,2
Progênes (P)	60	71,2**	60	337,9**
Locais (L)	2	3889,9**	2	6252,9**
P x L	120	16,1**	120	68,6**
Erro	353	11,3	360	42,1
<b>Total</b>	<b>541</b>		<b>548</b>	
CVe (%)		12,6		15,9
CVg (%)		9,2		13,4
$\hat{\sigma}_P^2$		6,12		29,91
$\hat{\sigma}_f^2$		7,91		37,54
$\hat{\sigma}_{PL}^2$		1,57		8,8
$\hat{\sigma}_{PL}^2 / \hat{\sigma}_P^2$ (x100)		25,6		29,5
$\hat{h}_a^2$		77,4 (64,3 - 85,3)		79,7 (67,9 - 86,8)
<b>Média</b>		<b>26,8</b>		<b>40,6</b>

CVe (%): coeficiente de variação experimental; CVg (%): coeficiente de variação genética;  $\hat{\sigma}_P^2$ : variância genética entre progênes;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica;  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ : variância da interação progênes por locais;  $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de progênes.

TABELA 4A Índice de coincidência (Hamblin & Zimmermann (1986) ( $I_c$ ) das 10 melhores e das 10 piores progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., selecionadas com base na média da análise de variância conjunta para CAP (cm) aos 30 meses, com aquelas selecionadas aos 84 meses; correlação genética ( $r_g$ ) e correlação classificatória de Spearman ( $\hat{\rho}$ ).

<b>Idades</b>	<b><math>I_c</math> (%) Melhores</b>	<b><math>I_c</math> (%) Piores</b>	<b><math>r_g</math></b>	<b><math>\hat{\rho}</math></b>
<b>30/84</b>	66,21	66,21	0,98	0,91

TABELA 5A Dez melhores progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. selecionadas aos 30 e aos 84 meses de idade, com base nas médias obtidas na análise de variância conjunta de locais para CAP (cm).

<b>Ordem</b>	<b>30 meses</b>		<b>84 meses</b>	
	<b>Progênies</b>	<b>CAP</b>	<b>Progênies</b>	<b>CAP</b>
<b>1</b>	18	33,70	18	57,23
<b>2</b>	41	32,01	41	50,84
<b>3</b>	37	31,87	20	50,66
<b>4</b>	20	31,00	19	49,75
<b>5</b>	45	30,67	55	48,86
<b>6</b>	19	30,54	45	48,73
<b>7</b>	25	30,30	10	48,53
<b>8</b>	50	30,20	37	47,16
<b>9</b>	39	29,98	50	47,04
<b>10</b>	42	29,98	1	47,00

TABELA 6A Resposta das 10 melhores progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. aos 84 meses, pela seleção realizada aos 30 e aos 84 meses, com base nas médias obtidas nas análises de variâncias conjuntas de locais e estimativas dos ganhos obtidos por ano, para CAP (cm).

<b>Idades</b>	<b>Ano</b>	<b>Média</b>	<b>Ganho/Ano (%)</b>
<b>30/84</b>	2,5	48,90	6,65
<b>84/84</b>	7	49,58	3,13

TABELA 7A Origem das 10 melhores progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. selecionadas aos 84 meses, com base nas médias obtidas na análise de variância conjunta de locais, para CAP (cm).

<b>Ordem</b>	<b>Progênies</b>	<b>Origem</b>
<b>1</b>	18	<i>E. camaldulensis</i> 18* x <i>E. urophylla</i> 7*
<b>2</b>	41	<i>E. camaldulensis</i> 23* x <i>E. grandis</i> 21*
<b>3</b>	20	<i>E. camaldulensis</i> 16* x <i>E. urophylla</i> 1*
<b>4</b>	19	<i>E. camaldulensis</i> 18* x <i>E. urophylla</i> 4*
<b>5</b>	55	<i>E. camaldulensis</i> 18* x <i>E. grandis</i> 11*
<b>6</b>	45	<i>E. camaldulensis</i> 17* x <i>E. grandis</i> 73*
<b>7</b>	10	<i>E. camaldulensis</i> 4* x <i>E. urophylla</i> 1*
<b>8</b>	37	<i>E. camaldulensis</i> 31* x <i>E. grandis</i> 63*
<b>9</b>	50	<i>E. camaldulensis</i> 31* x <i>E. grandis</i> 56*
<b>10</b>	1	<i>E. camaldulensis</i> 29* x <i>E. urophylla</i> 20*

\* Identificação da matriz

TABELA 8A Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos *Eucalyptus* spp. em Bocaiúva, aos 30 e aos 84 meses de idade.

FV	30 meses		84 meses	
	GL	QM	GL	QM
Repetições	2	1,7	2	21,3
Progênies	60	71,4**	60	370,9**
Erro	120	28,9	120	84,1
Dentro	660	19,5	593	76,3
<b>Total</b>	842		775	
Acurácia (%)		77,8		89,8
$\hat{\sigma}_p^2$		3,2		24,3
$\hat{\sigma}_f^2$		5,3		31,4
$\hat{h}_i^2$		24,5 (17,7 - 31,3)		45,9 (36,2 - 55,6)
<b>Média</b>		21,8		33,9

$\hat{\sigma}_p^2$  : variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_f^2$  : variância fenotípica;  $\hat{h}_i^2$  ; herdabilidade no sentido amplo ao nível de indivíduo.

TABELA 9A Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênes de irmãos germanos *Eucalyptus* spp. em Paraopeba, aos 30 e aos 84 meses de idade.

FV	30 meses		84 meses	
	GL	QM	GL	QM
Repetições	2	133,8	2	471,1
Progênes	60	177,9**	60	776,2**
Erro	120	52,1	120	200,9
Dentro	645	43,6	534	217,8
<b>Total</b>	827		716	
<b>Acurácia (%)</b>		85,5		87,9
$\hat{\sigma}_p^2$		9,7		55,6
$\hat{\sigma}_f^2$		13,8		75,0
$\hat{h}_i^2$		34,4		37,7
		(26,2 - 42,5)		(28,6 - 46,9)
<b>Média</b>		27,5		43,6

$\hat{\sigma}_p^2$ : variância genética de progênes;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica;  $\hat{h}_i^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de indivíduo.



TABELA 10A Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênie de irmãos germanos *Eucalyptus* spp. em João Pinheiro, aos 30 e aos 84 meses de idade.

FV	30 meses		84 meses	
	GL	QM	GL	QM
Repetições	2	27,8	2	16,0
Progênie	60	201,8**	60	614,8**
Erro	113	55,8	120	167,9
Dentro	579	42,8	544	167,4
<b>Total</b>	754		726	
<b>Acurácia (%)</b>		87,2		87,2
$\hat{\sigma}_p^2$		11,9		43,7
$\hat{\sigma}_f^2$		16,5		60,0
$\hat{h}_i^2$		40,5 (31,3 - 49,7)		35,9 (27,0 - 44,8)
<b>Média</b>		31,1		44,6

$\hat{\sigma}_p^2$ : variância genética de progênie;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica;  $\hat{h}_i^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de indivíduo.

TABELA 11A Estimativa das correlações fenotípicas ( $r_f$ ) entre o desempenho das árvores aos 30 meses com performance aos 84 meses, para CAP (cm) obtida nos testes de progênie de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., nos três locais de avaliação.

Idade	$r_f$		
	Bocaiúva	Paraopeba	João Pinheiro
30/84	0,85	0,91	0,94

TABELA 12A Estimativa das correlações classificatória de Spearman ( $\hat{\rho}$ ) entre o desempenho das árvores aos 30 meses com performance aos 84 meses, para CAP (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., nos três locais de avaliação.

Idade	$\hat{\rho}$		
	Bocaiúva	Paraopeba	João Pinheiro
30/84	0,83	0,91	0,88

TABELA 13A Índice de Coincidência de Hamblin & Zimmermann (1986) para característica CAP das 100 melhores e das 100 piores árvores selecionadas com base nos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) aos 30 e aos 84 meses, para CAP (cm), obtidas nos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., nos três locais de avaliação.

	Índice de Coincidência (%)		
	Bocaiúva	Paraopeba	João Pinheiro
Melhores	63,59	60,51	71,92
Piores	51,37	58,46	65,66

TABELA 14A Resumo da análise de variância conjunta de épocas dentro de locais, para característica CAP (cm), dos dados obtidos nas avaliações dos testes de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. e estimativa do coeficiente de repetibilidade ( $\hat{\rho}_\delta$ ), para os três locais.

FV	Bocaiúva		Paraopeba		João Pinheiro	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Repetições	2	43,1	2	1429,3	2	26,9
Progênes	60	1032,4**	60	1521,3**	60	1872,1**
Erro	120	288,8	120	360,9	120	510,6
Ind/Parcela	692	231,2	650	347,8	619	412,8
Épocas	4	18331,5**	2	53740,4**	4	18616,4**
Époc x Ind	3152	8,5	1514	30,3	2844	12,1
<b>Total</b>	4.030		2.348		3.649	
CVe (%)	9,9		14,9		8,9	
Média	29,5		36,9		38,8	
$\hat{\rho}_\delta$	0,84		0,78		0,87	

CVe (%): coeficiente de variação experimental.

TABELA 15A Resposta das 100 melhores árvores identificadas no teste de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. aos 84 meses pela seleção realizada aos 30 e aos 84 meses com base nos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) e estimativas dos ganhos obtidos por ano, para CAP (cm), nos três locais de avaliação.

Ano	Bocaiúva		Paraopeba		João Pinheiro		
	$\mu + g$	Ganho/ano (%)	$\mu + g$	Ganho/ano (%)	$\mu + g$	Ganho/ano (%)	
30/84	2,5	41,46	5,49	48,88	7,86	52,84	7,95
84/84	7	43,80	4,18	57,23	4,45	55,26	3,40

TABELA 16A Relação das progênies que geram o maior número de indivíduos selecionados nos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. aos 84 meses, com base nos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para CAP (cm), nas três regiões de avaliação.

Local	Família	Nº de árvores selecionadas	Cruzamentos
<b>Bocaiúva</b>	18	14	<i>E. camaldulensis</i> 18* x <i>E. urophylla</i> 7*
	20	11	<i>E. camaldulensis</i> 16* x <i>E. urophylla</i> 1*
	34	11	<i>E. camaldulensis</i> 23* x <i>E. urophylla</i> 3*
	56	7	<i>E. camaldulensis</i> 31* x <i>E. grandis</i> 11*
	19	7	<i>E. camaldulensis</i> 18* x <i>E. urophylla</i> 4*
<b>Paraopeba</b>	18	13	<i>E. camaldulensis</i> 18* x <i>E. urophylla</i> 7*
	55	10	<i>E. camaldulensis</i> 18* x <i>E. grandis</i> 11*
	10	10	<i>E. camaldulensis</i> 4* x <i>E. urophylla</i> 1*
	45	7	<i>E. camaldulensis</i> 17* x <i>E. grandis</i> 73*
	34	7	<i>E. camaldulensis</i> 23* x <i>E. urophylla</i> 3*
<b>João Pinheiro</b>	18	13	<i>E. camaldulensis</i> 18* x <i>E. urophylla</i> 7*
	37	12	<i>E. camaldulensis</i> 31* x <i>E. grandis</i> 63*
	41	10	<i>E. camaldulensis</i> 23* x <i>E. grandis</i> 21*
	55	7	<i>E. camaldulensis</i> 17* x <i>E. grandis</i> 73*
	48	5	<i>E. camaldulensis</i> 31* x <i>E. grandis</i> 34*

\* Identificação da matriz

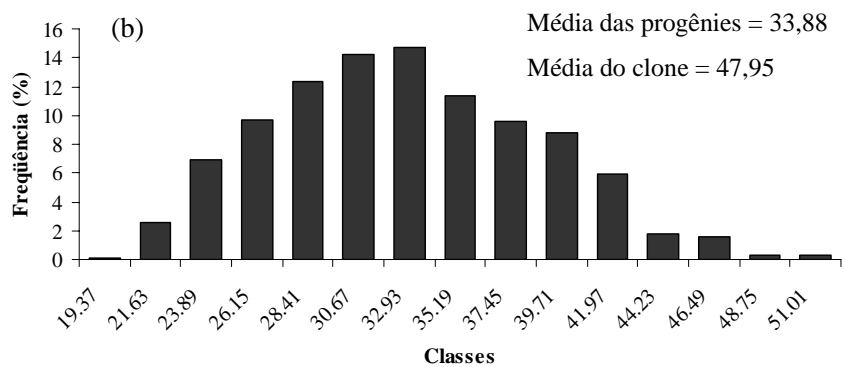
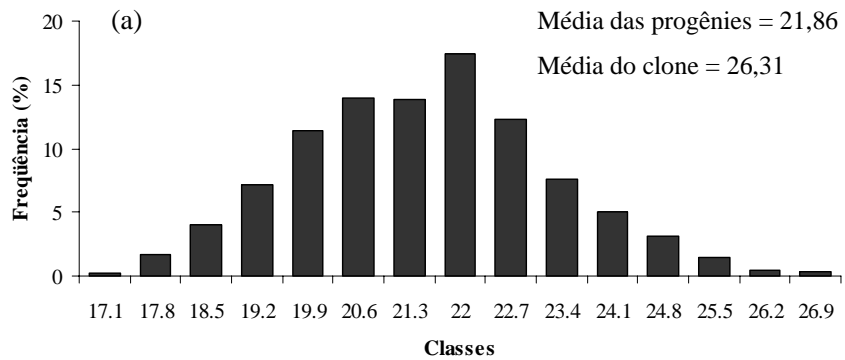


FIGURA 1A Distribuição de frequência das estimativas dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para CAP, em cm/planta, obtidos na avaliação de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. aos 30 (a) e aos 84 meses (b), no município de Bocaiúva - MG.

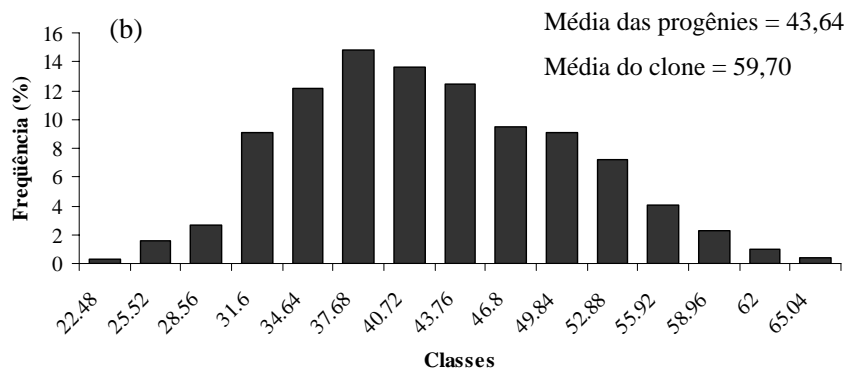
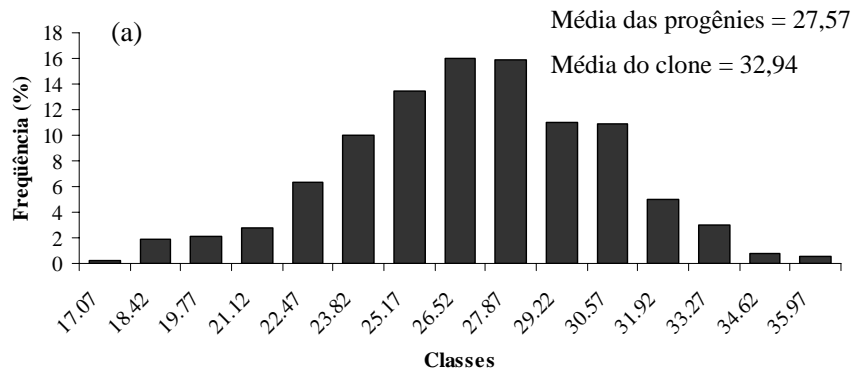


FIGURA 2A Distribuição de frequência das estimativas dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para CAP, em cm/planta, obtidos na avaliação de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. aos 30 (a) e aos 84 meses (b), no município de Paraopeba - MG.

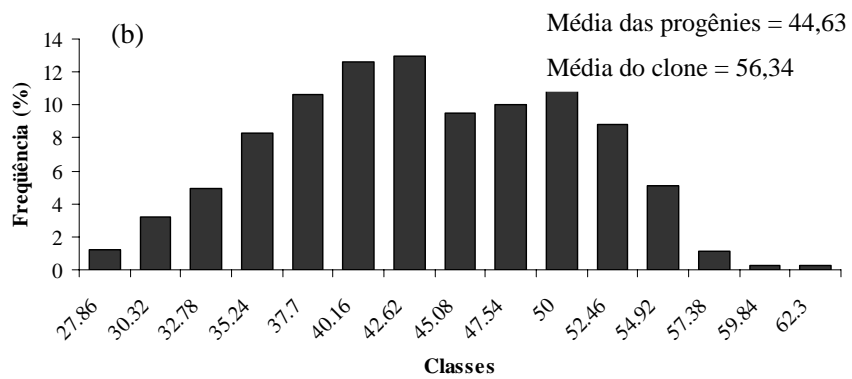
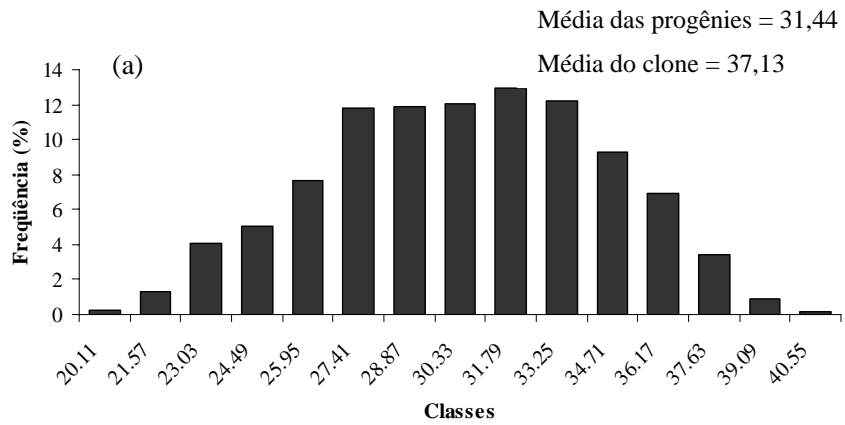


FIGURA 3A Distribuição de frequência das estimativas dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para CAP, em cm/planta, obtidos na avaliação de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. aos 30 (a) e aos 84 meses (b), no município de João Pinheiro - MG.

## **CAPÍTULO 3**

### **INTERAÇÃO PROGÊNIES HÍBRIDAS E CLONES DE *Eucalyptus* spp. POR LOCAIS**



## RESUMO

Objetivou-se neste trabalho estimar a magnitude da interação genótipos x ambientes em progênies de irmãos germanos e clones de *Eucalyptus* spp. Foram avaliadas 61 progênies híbridas e 400 clones em três locais na região norte, noroeste e central do estado de Minas Gerais. As progênies híbridas foram ensaiadas no delineamento de blocos casualizados com três repetições e parcelas de uma linha com cinco plantas. Os testes clonais foram conduzidos no delineamento de blocos aumentados, parcelas de uma linha com cinco plantas. A característica avaliada foi circunferência à altura do peito (CAP), em cinco idades diferentes: aos 30, 43, 54, 68 e 84 meses da data de plantio. Os dados foram submetidos à análise de variância individual e conjunta. pelos resultados, verificou-se que a interação genótipos x ambientes é muito mais expressiva no desempenho dos clones do que das progênies híbridas. Dessa forma, torna-se necessário a identificação de clones de eucalipto específicos para cada região de atuação da empresa.

## ABSTRACT

This work was carried out with the objective of estimating the magnitude of the genotypes-by-environment interaction in full-sib progenies and *Eucalyptus* spp. clones. Sixty-one hybrid progenies and 400 clones were assessed in three locations in the north, northwest and central area of the state of Minas Gerais. A randomized-block design with three replications and plots with a line of five plants was used. The clonal tests were carried out in augmented block design, plots with a line of five plants. The trait assessed was circumference at breast height (CBH), in five different ages as follows: 30, 43, 54, 68 and 84 months after planting date. Data were submitted to the individual and joint analysis of variance. The results evidenced that the interaction genotypes-by-environment is more expressive in the performing of the clones than the hybrid progenies. Thus, the identification of specific eucalyptus clones for each area of actuation of the company is needed.

## 1 INTRODUÇÃO

As empresas florestais cultivam o eucalipto em extensas áreas, ocupando regiões que diferem amplamente quanto às características edafoclimáticas. Dessa forma, quando os genótipos são avaliados nos vários locais, surge um componente adicional, a interação genótipos x ambientes. Essa interação significativa indica que o comportamento dos genótipos é não coincidente nos vários ambientes, sendo considerado por alguns autores como um dos maiores complicadores no trabalho do melhorista (Carvalho et al., 2002; Nunes et al., 2002; Cargnin et al., 2006).

Devido à sua importância, esse tema tem sido amplamente estudado nos programas de melhoramento genético do eucalipto. No entanto, a maioria dos trabalhos foram realizados avaliando progênies de meios irmãos (Andrade, 1991; Castro, 1992; Pereira et al., 1997). Esses autores conduziram experimentos nas regiões norte, noroeste e central do estado de Minas Gerais e verificaram que as interações progênies x ambientes eram significativas. Todavia, pelos resultados, demonstrou-se que a maior proporção da interação era devido à parte simples, o que não proporciona grandes dificuldades para o melhorista no momento da seleção.

Com a possibilidade de perpetuar toda a variância genética pela clonagem fez com que ocorressem algumas mudanças nas estratégias de melhoramento. Atualmente, os programas de melhoramento florestais procuram desenvolver híbridos envolvendo diferentes espécies de *Eucalyptus*, visando principalmente a associar características e explorar a heterose (Assis & Mafia, 2007). As progênies de irmãos germanos obtidas são avaliadas em vários locais com o objetivo de selecionar as melhores progênies para condução de programas de

propagação sexuada, bem como selecionar os melhores indivíduos para serem avaliados em testes clonais e posteriormente utiliza-las nos plantios comerciais.

Diante do exposto, um questionamento que surge é com relação ao número de ambientes em que devem ser conduzidos os testes de progênes híbridas e os testes clonais. Nesse contexto, os resultados evidenciam que a interação genótipos x ambientes é mais pronunciada na avaliação de clones do que quando são avaliadas progênes de meios irmãos ou irmãos germanos (Andrade, 1991; Reis, 2009). Becker & Léon (1988) comentam que a estrutura genética das populações influencia a magnitude interação genótipos x ambientes. Em milho, esses autores observaram que a interação dos híbridos duplos e triplos foi sempre inferior aos híbridos simples. Contudo, deve ser comentado que é possível selecionar para maior estabilidade em qualquer estrutura genética (Becker & Leon, 1988; Bruzi, 2006).

Dessa forma, poder-se-ia supor que os testes clonais de *Eucalyptus* ssp devem ser conduzidos em maior número de ambientes dos que os testes de progênes híbridas, além do mais, devem ser identificados clones específicos para cada região. Informações sobre a magnitude da interação progênes híbridas e clones de eucalipto por locais não têm sido documentadas nas regiões em que a V&M Florestal vem conduzindo seus experimentos. Essa informação é relevante, pois poderá orientar a condução do programa de melhoramento com relação ao número de locais em que deverão ser conduzidos os futuros experimentos.

Assim, com o presente trabalho objetivou-se estudar a magnitude da interação de progênes híbridas e clones de *Eucalyptus* spp. por locais, nas regiões norte, noroeste e central do estado de Minas Gerais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados de circunferência à altura do peito (CAP), obtidos na avaliação dos testes de progênes de irmãos germanos e testes clonais de eucalipto do Programa de Melhoramento Genético da V&M Florestal. Os experimentos foram conduzidos em três regiões representativas de atuação da empresa, com características edafoclimáticas contrastantes, localizadas nas regiões noroeste, norte e central do estado de Minas Gerais, nos municípios de Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro, respectivamente (Tabela 1B).

Nos testes de progênes foram avaliados 64 tratamentos, sendo 61 progênes híbridas obtidas por cruzamentos controlados envolvendo as espécies de *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. pellita* (Tabela 2B) e três testemunhas, sendo duas espécies puras (*E. camaldulensis*, *E. urophylla*) e um clone comercial. Os experimentos foram plantados no ano de 2001. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e parcelas de uma linha com cinco plantas. As avaliações foram realizadas aos 30, 43, 54, 68 e 84 meses da data de plantio. Nos testes clonais, foram avaliados 400 clones no delineamento de blocos aumentados com quatro tratamentos comuns. Os experimentos foram plantados no mesmo ano e locais (talhões) dos testes de progênes. As parcelas foram constituídas de uma linha com cinco plantas. Para realizar as análises de variância, foi considerada cada planta como uma repetição. As avaliações foram realizadas aos 30 e 84 meses da data de plantio.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variâncias individuais; posteriormente, foram realizadas análise de variância conjunta de locais por época, e por último, análise conjunta dos locais dois a dois, nas diferentes épocas, segundo Ramalho et al. (2005). As análises de variância foram

realizadas utilizando o PROC GLM (*Procedure for General Linear Models*) do SAS (SAS Institute, 2000). A partir das esperanças dos quadrados médios (EQM) das análises conjuntas, foram estimadas as variâncias de progênes ( $\hat{\sigma}_p^2$ ), a variância da interação progênes x locais ( $\hat{\sigma}_{pL}^2$ ) e a herdabilidades no sentido amplo ( $\hat{h}_a^2$ ). As  $\hat{\sigma}_{pL}^2$  foram decompostas nas partes simples e complexas empregando a metodologia de Vencovsky (1987) e Cruz & Castoldi (1991). As correlações genéticas ( $\hat{r}_{(j,j)}$ ) entre o desempenho das progênes nos diferentes locais foram obtidas empregando a expressão apresentada por Ramalho et al. (2005).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliados dois experimentos distintos: testes de progênies híbridas e testes clonais. Dessa forma, a discussão será tratada de maneira a realçar os resultados obtidos nas duas situações.

#### 3.1 Testes de progênies híbridas

Os locais em que foram conduzidos os experimentos apresentam condições edafoclimáticas distintas e os principais fatores limitantes para o cultivo do eucalipto nessas regiões são: a precipitação e o tipo de solo (Tabela 1B). Além do mais, a distribuição das chuvas ao longo do ano é irregular e também ocorre diferença no volume de chuvas entre os anos. Apesar disso, a precisão experimental avaliada pelos coeficientes de variação experimental (CVe) foi boa, com valores variando de 12,6 a 16% entre as diferentes idades de avaliação, nas análises de variâncias conjuntas de locais (Tabela 3B). Resultados semelhantes foram observados em outros trabalhos conduzidos nessas regiões (Andrade, 1991; Castro, 1992; Pereira et al., 1997).

Inicialmente é necessário comentar que o teste de progênie plantado no município de Paraopeba não foi avaliado nas idades de 43 e 54 meses, de forma que as análises de variâncias conjuntas nessas idades foram realizadas apenas com os dados obtidos nas avaliações realizadas em Bocaiúva e João Pinheiro (Tabela 3B). Observa-se que em todas as análises de variâncias, a fonte de variação progênies foi significativa ( $P < 0,01$ ), evidenciando que há variabilidade genética entre os tratamentos avaliados, o que permite antever o sucesso com a seleção dessa característica (CAP).

Pelos resultados das análises de variâncias conjuntas de locais nas diferentes épocas (30, 68 e 84 meses), observa-se que quando estiveram

envolvidos os três ambientes, a fonte de variação progênes x locais foi significativa ( $P < 0,01$ ), demonstrando que o desempenho das progênes híbridas foi não coincidente entre os locais. Na análise de variância conjunta realizada aos 43 e 54 meses, a interação foi não significativa. Nessas duas épocas estavam envolvidos apenas os ambientes Bocaiúva e João Pinheiro, resultados esses que levam à suposição de que a interação seja de maior magnitude entre os ambientes Bocaiúva & Paraopeba e Paraopeba & João Pinheiro (Tabela 3B).

Apesar de a fonte de variação progênes x locais mostrar-se significativa em todas as análises de variâncias em que estavam envolvidos os três ambientes, as proporções da variância da interação progênes x locais ( $\hat{\sigma}_{PL}^2$ ) sobre a variância de progênes ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) foi de pequena magnitude, com valores inferiores a 29,6% (Tabela 3B). Avaliando progênes de meios irmãos de *E. camaldulensis* em três locais com condições edafoclimáticas similar às deste trabalho, Castro (1992) obteve proporções entre  $\hat{\sigma}_{PL}^2$  sobre as  $\hat{\sigma}_p^2$  para CAP de magnitudes semelhantes às encontradas. Pereira et al. (1997), avaliando progênes de meios irmãos de *E. camaldulensis*, em apenas dois locais e em diferentes idades, obtiveram proporções  $\hat{\sigma}_{PL}^2/\hat{\sigma}_p^2$  ainda menores para diâmetro à altura do peito (DAP).

Visto que a interação genótipos x ambientes foi significativa em três épocas de avaliação (30, 68 e 84 meses), procedeu-se à decomposição dos ambientes, com o objetivo de identificar em quais pares de locais a interação é mais ou menos pronunciada. Para isso, foram realizadas as análises de variância conjunta dos locais dois a dois (Tabelas 4B, 5B e 6B). Veja que para o par de locais Bocaiúva e Paraopeba, em todas as épocas de avaliação, a interação progênes x locais foi altamente significativa ( $P < 0,01$ ). Entre Bocaiúva e João Pinheiro, as interações foram significativas apenas ao nível de 5% de probabilidade. Já entre Paraopeba e João Pinheiro, aos 30 meses, a interação foi



não significativa; aos 68 meses e 84 meses foi significativa nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Verificou-se, em todas as épocas de avaliações, que as maiores proporções das  $\hat{\sigma}_{PL}^2$  sobre as variâncias de progênes ( $C\hat{O}v_{(j,j)}$ ), nas análises conjuntas dos locais dois a dois, foram obtidas quando estavam envolvidos os locais Bocaiúva e Paraopeba. Entre o par de locais Bocaiúva e João Pinheiro, observou-se uma redução nas proporções dessas estimativas com o tempo de avaliação, já entre Paraopeba e João Pinheiro, foi observado o contrário. Com base nas proporções dessas estimativas ( $\hat{\sigma}_{PL}^2 / C\hat{O}v_{(j,j)}$ ), pelos resultados, ficou evidenciado a maior presença da interação genótipos x ambientes entre os locais Bocaiúva e Paraopeba.

Para melhor compreensão da natureza das interações genótipos x ambientes, as estimativas das  $\hat{\sigma}_{PL}^2$  foram decompostas em partes simples e complexas (Tabela 4B, 5B e 6B). Avaliando as diferentes partes da  $\hat{\sigma}_{PL}^2$  obtidas pela metodologia de Vencovsky (1987), observa-se uma alta contribuição da parte complexa na  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ , em praticamente todos os pares de locais em todas as idades de avaliação. No entanto, as estimativas da correlação genética ( $\hat{r}_{(j,j)}$ ) entre o desempenho médio das progênes nos locais dois a dois foram acima de 0,69, o que não é coerente com o fato mencionado da predominância da interação complexa.

Segundo Cruz & Castoldi (1991), quando a correlação genética é superior a 0,80, a metodologia de Vencovsky (1987) superestima a parte complexa. Para minimizar esses efeitos, os autores desenvolveram outra expressão para desdobrar a interação em parte simples da complexa. Empregando essa metodologia, verificou-se que houve uma redução acentuada na parte complexa

da interação no desempenho das progênes. O mesmo fato foi constatado em outras oportunidades (Andrade, 1991; Castro, 1992; Pereira et al., 1997).

Apesar de os resultados evidenciarem que há interação genótipos x ambientes, no entanto, a parte complexa da interação em todos os pares de locais avaliados pela metodologia de Cruz & Castoldi (1991) foi inferior a 52,94% da  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ . Avaliando os diferentes pares de locais, a maior contribuição da parte complexa foi observada quando estavam envolvidos os locais Paraopeba e João Pinheiro, aos 84 meses (Tabela 6B). Em todas as épocas de avaliação, a contribuição da parte complexa para interação foi menos expressiva no par de locais Bocaiúva e João Pinheiro.

Um outro questionamento que surge é se as estimativas da parte complexa da interação sofrem grandes alterações com o tempo de avaliação. Avaliando o par de locais Bocaiúva e Paraopeba, observou-se que as estimativas mantiveram-se praticamente constantes com o tempo de avaliação. Já nos outros dois pares de locais, observou-se um ligeiro acréscimo da parte complexa com o decorrer do tempo, principalmente entre Paraopeba e João Pinheiro. Esses resultados são corroborados com os encontrados no trabalho de Pereira et al. (1997).

Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que a interação genótipos x ambientes está presente no desempenho das progênes híbridas, porém, a maior proporção é devida à parte simples da interação, o que não acarreta sérios problemas no trabalho do melhorista. Esse resultado também foi comprovado pelas estimativas das herdabilidades no sentido amplo ao nível de média de progênes, obtidas nas análises de variâncias individuais e conjuntas (Tabela 3B e 7B). Apesar de haver algumas variações, as estimativas das herdabilidades obtidas nas análises de variâncias individuais foram próximas às obtidas nas análises conjuntas dos locais por época; além do mais, encontra-se dentro do intervalo de confiança. Muneri & Raymond (2000), avaliando progênes de meios irmãos de *Eucalyptus globulus* em três locais, verificaram que a interação

progênies x locais para a característica DAP não é um sério problema para os programas de melhoramento quando são avaliados esses tipos de progênies.

Com base nos resultados, poder-se-ia argumentar que, nas futuras avaliações, caso necessário, os testes de progênies de irmãos germanos poderão ser avaliados em apenas dois locais onde os efeitos da interação genótipos x ambientes foram mais significativos. A sugestão seria conduzir os testes de progênies híbridas em Bocaiúva e Paraopeba. A redução do número de locais também pode ser sustentada pela baixa correlação genética entre o desempenho das árvores nos testes de progênies com os mesmos genótipos nos testes clonais (Costa, 2008; Reis, 2009), o que torna necessário empregar de uma menor intensidade de seleção nos testes de progênies híbridas e, em seguida, a avaliação das árvores selecionadas em um maior número de ambientes. No entanto, apesar de ser admissível a redução do número de ambientes na condução dos testes de progênies de irmãos germanos, seria importante que as parcelas experimentais fossem de tamanho maior, o que permitiria explorar ao máximo a variabilidade genética dos cruzamentos.

### **3.2 Testes clonais**

Como já comentado, a interação progênies x locais não foi muito expressiva no desempenho das progênies híbridas, para característica CAP. No entanto, esses testes são conduzidos com o objetivo de selecionar as melhores árvores as quais são avaliadas nos testes clonais e é nesses testes que são selecionados os melhores clones para serem utilizados nos plantios comerciais e, o que geralmente se observa, é uma maior interação desses clones com os diferentes ambientes (Andrade, 1991; Reis, 2009). Todavia, não foram encontradas informações na literatura a respeito da magnitude desse componente no desempenho dos clones, para as regiões estudadas.

Dessa forma, procurou-se avaliar o comportamento de diferentes clones de eucalipto nas três regiões. As avaliações dos testes clonais foram realizadas aos 30 meses e aos 84 meses. Observe na Tabela 8B que a fonte de variação de clones e a interação clones x locais foram altamente significativas ( $P < 0,01$ ) em ambas as idades de avaliação. Na primeira época, a variância de progênies por locais ( $\hat{\sigma}_{PL}^2$ ) foi superior à variância de progênies ( $\hat{\sigma}_p^2$ ). Na segunda época, apesar de a proporção ( $\hat{\sigma}_{PL}^2 / \hat{\sigma}_p^2$ ) ser menor, a estimativa da  $\hat{\sigma}_{PL}^2$  ainda apresentou valor de alta magnitude (75,2%). Pelos resultados, observa-se a participação expressiva da interação clones x ambientes no desempenho dos clones de eucalipto.

Para verificar em quais ambientes a interação clones x locais é mais expressiva, foram realizadas análises de variâncias conjuntas envolvendo os ambientes dois a dois, nas duas épocas de avaliação (Tabela 9B). Veja que em todas as análises de variâncias, a fonte de variação clones e a interação clones x locais foram significativas ( $P < 0,01$ ), evidenciando que há variabilidade genética entre os clones avaliados e que o comportamento dos mesmos é não coincidente nos diferentes locais.

As proporções da  $\hat{\sigma}_{PL}^2$  sobre a variância de clones ( $C\hat{ov}_{(j,j')}$ ) foram altas, com valores superiores a 62,4%. As correlações genéticas envolvendo os ambientes dois a dois foram de pequena magnitude, com estimativas inferiores a 0,61 (Tabela 9B). Essas estimativas foram inferiores às encontradas na avaliação de progênies de irmãos germanos. Em todos os pares de locais, nas duas épocas de avaliação, as metodologias de Vencovsky (1987) e Cruz & Castoldi (1991) foram concordantes em dizer que a maior parte da  $\hat{\sigma}_{PL}^2$  é devida à parte complexa da interação.

Os resultados evidenciam que os efeitos da interação genótipos x ambientes são muito mais pronunciados na avaliação de clones do que de

progênies de irmãos germanos, indicando que a estabilidade dos genótipos de *Eucalyptus* ssp é influenciada pela estrutura genética. Segundo Becker & León (1988), é esperado que cultivares homogêneas sejam menos estáveis que uma mistura de genótipos. Essa evidência tem sido documentada em outras espécies, como por exemplo: milho (Naspolini Filho, 1976; Ribeiro 1998); feijão (Bruzi, 2006); aveia (Helland & Holland, 2001) e centeio (Becker, 1981). No entanto, como comentado por Becker & León (1988); Bruzi (2006) e Nunes et al. (2002), é possível selecionar para maior estabilidade em qualquer estrutura genética.

#### 4 CONCLUSÃO

A interação genótipos x ambientes é mais expressiva no desempenho dos clones do que das progênies híbridas de *Eucalyptus* spp. Assim, deve-se selecionar clones específicos para cada região de atuação da empresa, visando explorar ao máximo seus efeitos.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, H. B. **Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus L'Heritier* (Myrtaceae) nas regiões norte e noroeste do Estado de Minas Gerais.** 1991. 105 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Híbridação e clonagem. In: BORÉM, A. **Biotecnologia florestal.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. p. 93-121.
- BECKER, H. C. Correlation among some statistical measure of phenotypic stability. **Euphytica**, Wageningen, v. 30, n. 3, p. 835-840, Dec. 1981.
- BECKER, H. C.; LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 101, n. 1, p. 1-23, Apr. 1988.
- BRUZI, A. T. **Homeostase de populações de feijoeiro com diferentes estruturas genéticas.** 2006. 69 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CARGNIN, A.; SOUZA, M. A. de; CARNEIRO, P. C. S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 987-993, jun. 2006.
- CARVALHO, C. G. P. de; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F. de; ALMEIDA, L. A. de; KIIHL, R. A. de S.; OLIVEIRA, M. F. de. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 989-1000, jul. 2002.
- CASTRO, N. H. C. de. **Número de repetições e eficiência da seleção em progênies de meios irmãos de *Eucalyptus camaldulensis*.** 1992. 121 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- COSTA, R. R. G. F. **Performance dos indivíduos nos testes de progênies e os respectivos clones de eucalipto.** 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CRUZ, O. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipo x ambiente em parte simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 38, n. 219, p. 422-430, set./out. 1991.

HELLAND, S. J.; HOLLAND, J. B. Blend response and stability and cultivar blending ability in oat. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1689-1696, Nov. 2001.

MUNERI, A.; RAYMOND, C. A. Genetic parameters and genotype-by-environment interactions for basic density, pilodyn penetration and stem diameter in *Eucalyptus globulus*. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 7, n. 4, p. 317-328, 2000.

NASPOLINI FILHO, V. **Variabilidade fenotípica e estabilidade em híbridos simples, híbridos duplos, variedades e compostos de milho**. 1976. 68 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

NUNES, G. H. de S.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos. Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 49-58, jun. 2002.

PEREIRA, A. B.; MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P.; ALTHOFF, P. Eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 1-14, jun. 1997.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 322 p.

REIS, C. A. F. **Correspondência no desempenho entre árvores selecionadas em teste de progênies e seus clones em *Eucalyptus* spp.** 2009. 47 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RIBEIRO, P. H. E. **Adaptabilidade e estabilidade de milho em diferentes épocas de semeadura, níveis de adubação e locais do estado de MG**. 1998. 126 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**: version 8. Cary, 2000.



VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VEIGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 137-214.

## ANEXOS

ANEXO B		Página
TABELA 1B	Características edafoclimáticas das três regiões em que foram conduzidos os testes de progênies de irmãos germanos e de clones de <i>Eucalyptus</i> spp, implantados no ano de 2001.....	103
TABELA 2B	Relação de cruzamentos e números de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. avaliadas.....	103
TABELA 3B	Resumo das análises de variâncias conjuntas de locais dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp, implantados no ano de 2001 e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para circunferência à altura do peito (CAP) obtido em centímetros.....	104
TABELA 4B	Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais Bocaiúva e Paraopeba dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm).....	105
TABELA 5B	Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais Bocaiúva e João Pinheiro dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm).....	106

TABELA 6B	Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais Paraopeba e João Pinheiro dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm).....	107
TABELA 7B	Estimativa das herdabilidades no sentido amplo obtidas nas análises de variâncias individuais para circunferência à altura do peito (cm), dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliações dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp....	108
TABELA 8B	Resumo das análises de variâncias conjuntas de locais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para circunferência à altura do peito (cm), dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., implantados no ano de 2001.....	109
TABELA 9B	Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais dois a dois dos dados obtidos na avaliação dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., nas diferentes épocas de avaliação, para circunferência à altura do peito (cm) e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos.....	110

TABELA 1B Características edafoclimáticas das três regiões em que foram conduzidos os testes de progênies de irmãos germanos e de clones de *Eucalyptus* spp, implantados no ano de 2001.

<b>Municípios</b>	<b>Latit</b>	<b>Long</b>	<b>Altit</b>	<b>Precip</b>	<b>Temp</b>	<b>Solo</b>
João Pinheiro	17°40'S	46°32'W	500	1.346	17-25	Arenoso
Bocaiúva	19°30'S	43°20'W	850	851	16-26	Areno-argil
Paraopeba	19°17'S	44°29'W	700	1.353	15-24	Argiloso

Altit- altitude, em metros ; Precip- precipitação, em mm; Temp- temperatura, em °C.

TABELA 2B Relação de cruzamentos e números de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. avaliadas.

<b>Cruzamentos</b>	<b>Nº de Progênies</b>
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>	43
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>	15
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. pellita</i>	2
<i>E. camaldulensis</i> x Mix <i>E. camal</i> *	1

\* mistura de pólen de matrizes de *E. camaldulensis*.

TABELA 3B Resumo das análises de variâncias conjuntas de locais dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp, implantados no ano de 2001 e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para circunferência à altura do peito (CAP) obtido em centímetros.

FV	30 Meses		43 Meses		54 Meses		68 Meses		84 Meses	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
<b>Repetições (Locais)</b>	6	12,9 <sup>ns</sup>	4	3,1 <sup>ns</sup>	4	6,2 <sup>ns</sup>	6	49,7 <sup>ns</sup>	6	49,2 <sup>ns</sup>
<b>Progênies (P)</b>	60	71,2 <sup>**</sup>	60	80,6 <sup>**</sup>	60	119,9 <sup>**</sup>	60	272,8 <sup>**</sup>	60	337,9 <sup>**</sup>
<b>Locais (L)</b>	2	3889,9	1	6853,7	1	7074,9	2	3890,7	2	6252,9
<b>P x L</b>	120	16,1 <sup>**</sup>	60	25,5 <sup>ns</sup>	60	32,2 <sup>ns</sup>	120	51,1 <sup>**</sup>	120	68,6 <sup>**</sup>
<b>Erro</b>	353	11,3	233	20,0	233	26,1	353	33,7	360	42,1
<b>Total</b>	541		358		358		541		548	
<b>CVe (%)</b>		12,5		13,9		14,4		15,0		15,9
<b>CVg (%)</b>		9,2		7,7		8,8		12,8		13,4
$\hat{\sigma}_p^2$		6,12		6,11		9,7		24,6		29,9
$\hat{\sigma}_{PL}^2$		1,57		1,84		2,1		5,8		8,8
$\hat{\sigma}_{PL}^2 / \hat{\sigma}_p^2$ (x100)		25,7		30,1		21,1		23,6		29,6
$\hat{h}_a^2$		77,4		68,3		73,1		81,3		79,7
		(64,3 - 85,3)		(47,2 - 81,0)		(55,2 - 83,9)		(70,3 - 87,7)		(67,9 - 86,7)
<b>Média</b>		26,8		32,1		35,5		38,7		40,7

CVe (%): coeficiente de variação experimental; CVg (%): coeficiente de variação genética;  $\hat{\sigma}_p^2$ : variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica;  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ : variância da interação progênies por locais;  $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de progênies.

TABELA 4B Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais Bocaiúva e Paraopeba dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm).

FV	30 Meses		68 Meses		84 Meses	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
<b>Repetições (Locais)</b>	4	15,9 <sup>ns</sup>	4	72,3 <sup>ns</sup>	4	71,4 <sup>ns</sup>
<b>Progênies (P)</b>	60	39,8 <sup>**</sup>	60	191,7 <sup>**</sup>	60	244,6 <sup>**</sup>
<b>Locais (L)</b>	1	2979,0	1	4540,4	1	8135,4
<b>P x L</b>	60	16,2 <sup>**</sup>	60	54,4 <sup>**</sup>	60	70,0 <sup>**</sup>
<b>Erro</b>	240	9,4	240	31,1	240	37,7
<b>Total</b>	365		365		365	
<b>CVe (%)</b>	12,4		15,1		15,9	
<b>CVg (%)</b>	8,0		12,9		13,9	
$C\hat{ov}_{(j,j')}$	3,9		22,9		29,1	
$\hat{\sigma}_{PL}^2$	2,27		7,8		10,7	
Simples (%)	(44,7 <sup>1</sup> - 79,1 <sup>2</sup> )		(31,3 <sup>1</sup> - 72,6 <sup>2</sup> )		(35,3 <sup>1</sup> - 72,5 <sup>2</sup> )	
Complexa (%)	(55,3 <sup>1</sup> - 20,9 <sup>2</sup> )		(68,7 <sup>1</sup> - 27,4 <sup>2</sup> )		(64,7 <sup>1</sup> - 27,5 <sup>2</sup> )	
$\hat{\sigma}_{PL}^2 / C\hat{ov}_{(j,j')} (x100)$	57,8		34,0		36,9	
$\hat{r}_{(j,j')}$	0,78		0,84		0,82	
<b>Média</b>	24,7		36,9		38,7	

CVe (%): coeficiente de variação experimental; CVg (%): coeficiente de variação genética;  $C\hat{ov}_{(j,j')}$ : covariância ou variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ : variância da interação progênies por locais;  $\hat{r}_{(j,j')}$ : correlação genética entre o desempenho das progênies nos dois ambientes; <sup>1</sup> Metodologia de Vencovsky (1987); <sup>2</sup> Metodologia de Cruz & Castoldi (1991).

TABELA 5B Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais Bocaiúva e João Pinheiro dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm).

FV	30 Meses		68 Meses		84 Meses	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
<b>Repetições (Locais)</b>	4	3,7 <sup>ns</sup>	4	2,8 <sup>ns</sup>	4	5,1 <sup>ns</sup>
<b>Progênies (P)</b>	60	46,2 <sup>**</sup>	60	167,1 <sup>**</sup>	60	201,1 <sup>**</sup>
<b>Locais (L)</b>	1	7599,9	1	6842,4	1	10475,7
<b>P x L</b>	60	16,5 <sup>*</sup>	60	41,5 <sup>*</sup>	60	51,3 <sup>*</sup>
<b>Erro</b>	233	10,9	233	29,8	240	36,2
<b>Total</b>	358		358		365	
<b>CVe (%)</b>	12,5		14,5		15,3	
<b>CVg (%)</b>	8,4		12,1		12,7	
$C\hat{\sigma}_{(j,j)}$	4,94		20,9		25,0	
$\hat{\sigma}_{PL}^2$	1,88		3,89		5,01	
Simples (%)	(88,4 <sup>1</sup> - 98,0 <sup>2</sup> )		(21,2 <sup>1</sup> - 74,9 <sup>2</sup> )		(13,5 <sup>1</sup> - 65,4 <sup>2</sup> )	
Complexa (%)	(11,7 <sup>1</sup> - 2,0 <sup>2</sup> )		(78,8 <sup>1</sup> - 25,1 <sup>2</sup> )		(86,5 <sup>1</sup> - 34,6 <sup>2</sup> )	
$\hat{\sigma}_{PL}^2 / C\hat{\sigma}_{(j,j)}$ (x100)	38,1		18,4		20,1	
$\hat{r}_{(j,j)}$	0,97		0,90		0,84	
<b>Média</b>	26,4		37,7		39,3	

CVe (%): coeficiente de variação experimental; CVg (%): coeficiente de variação genética;  $C\hat{\sigma}_{(j,j)}$ : covariância ou variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ : variância da interação progênies por locais;  $\hat{r}_{(j,j)}$ : correlação genética entre o desempenho das progênies nos dois ambientes; <sup>1</sup> Metodologia de Vencovsky (1987); <sup>2</sup> Metodologia de Cruz & Castoldi (1991).

TABELA 6B Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais Paraopeba e João Pinheiro dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm).

FV	30 Meses		68 Meses		84 Meses	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
<b>Repetições (Locais)</b>	4	19,2 <sup>ns</sup>	4	74,1 <sup>ns</sup>	4	71,0 <sup>ns</sup>
<b>Progênies (P)</b>	60	72,6 <sup>**</sup>	60	237,9 <sup>**</sup>	60	298,7 <sup>**</sup>
<b>Locais (L)</b>	1	1119,6	1	269,1	1	147,7
<b>P x L</b>	60	15,6 <sup>ns</sup>	60	57,6 <sup>*</sup>	60	84,6 <sup>**</sup>
<b>Erro</b>	233	13,8	233	40,2	240	52,3
<b>Total</b>	358		358		365	
<b>CVe (%)</b>		12,69		15,3		16,4
<b>CVg (%)</b>		10,51		13,3		13,6
$C\hat{\sigma}_{(j,j)}$		9,49		30,06		35,7
$\hat{\sigma}_{PL}^2$		0,58		5,79		10,78
Simples (%)		-		(7,7 <sup>1</sup> - 66,8 <sup>2</sup> )		(7,0 <sup>1</sup> - 47,1 <sup>2</sup> )
Complexa (%)		-		(92,3 <sup>1</sup> - 33,2 <sup>2</sup> )		(93,0 <sup>1</sup> - 52,9 <sup>2</sup> )
$\hat{\sigma}_{PL}^2 / C\hat{\sigma}_{(j,j)}$ (x100)		6,11		19,3		30,22
$\hat{r}_{(j,j)}$		0,94		0,87		0,69
<b>Média</b>		29,30		41,3		44,0

CVe (%): coeficiente de variação experimental; CVg (%): coeficiente de variação genética;  $C\hat{\sigma}_{(j,j)}$ : covariância ou variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ : variância da interação progênies por locais;  $\hat{r}_{(j,j)}$ : correlação genética entre o desempenho das progênies nos dois ambientes; <sup>1</sup> Metodologia de Vencovsky (1987); <sup>2</sup> Metodologia de Cruz & Castoldi (1991).



TABELA 7B Estimativa das herdabilidades no sentido amplo obtidas nas análises de variâncias individuais para circunferência à altura do peito (cm), dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliações dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp.

Idades Meses	Bocaiúva	Paraopeba	João Pinheiro
	$\hat{h}_a^2$	$\hat{h}_a^2$	$\hat{h}_a^2$
30	65,0	77	70
	(45 - 76)	(55 - 81)	(53 - 80)
43	72	-	55
	(56 - 81)	-	(30 - 71)
54	77	-	58
	(64 - 85)	-	(34 - 72)
68	78	77	65
	(66 - 85)	(65 - 85)	(45 - 77)
84	80	78	71
	(69 - 87)	(66 - 85)	(55 - 81)

TABELA 8B Resumo das análises de variâncias conjuntas de locais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para circunferência à altura do peito (cm), dos dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., implantados no ano de 2001.

FV	30 Meses		84 Meses	
	GL	QM	GL	QM
<b>Repetição (Local)</b>	12	12,0 <sup>ns</sup>	12	35,9 <sup>ns</sup>
<b>Clones (C)</b>	399	137,8 <sup>**</sup>	399	505,3 <sup>**</sup>
<b>Locais (L)</b>	2	49829,2	2	39121,0
<b>C x L</b>	792	45,7 <sup>**</sup>	729	138,0 <sup>**</sup>
<b>Erro</b>	4236	14,2	3592	45,9
<b>Total</b>	5441		4734	
<b>CVe (%)</b>		14,8		16,1
<b>CVg (%)</b>		9,7		11,7
$\hat{\sigma}_p^2$		6,13		24,48
$\hat{\sigma}_{PL}^2$		6,31		18,41
$\hat{\sigma}_{PL}^2 / \hat{\sigma}_p^2$ (x100)		102,9		75,2
$\hat{h}_a^2$		0,66		0,72
<b>Média</b>		25,5		42,2

CVe (%): coeficiente de variação experimental; CVg (%): coeficiente de variação genética;  $\hat{\sigma}_p^2$ : variância genética de progênies;  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ : variância da interação progênies por locais;  $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de progênies.

TABELA 9B Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais dois a dois dos dados obtidos na avaliação dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., nas diferentes épocas de avaliação, para circunferência à altura do peito (cm) e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos.

FV	Bocaiúva & Paraopeba				Bocaiúva & João Pinheiro				Paraopeba & João Pinheiro			
	30 Meses		84 Meses		30 Meses		84 Meses		30 Meses		84 Meses	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
<b>Repetição (Local)</b>	8	2,8 <sup>ns</sup>	8	30,8 <sup>ns</sup>	8	17,0 <sup>ns</sup>	8	49,1 <sup>ns</sup>	8	16,2 <sup>ns</sup>	8	27,9
<b>Clones (C)</b>	399	93,2 <sup>**</sup>	399	421,7 <sup>**</sup>	399	104,7 <sup>**</sup>	392	305,9 <sup>**</sup>	399	124,1 <sup>**</sup>	399	448,2 <sup>**</sup>
<b>Locais (L)</b>	1	60917,0	1	68.023,1	1	86830,6	1	43162,2	1	3121,9	1	162,7
<b>C x L</b>	397	40,5 <sup>**</sup>	383	135,4 <sup>**</sup>	394	42,5 <sup>**</sup>	338	123,9 <sup>**</sup>	394	52,9 <sup>**</sup>	345	150,0 <sup>**</sup>
<b>Erro</b>	2878	11,4	2732	44,5	2736	14,6	2099	35,4	2858	16,4	2353	56,9
<b>Total</b>	3683		3523		3538		2838		3660		3106	
<b>CVe (%)</b>	14,4		16,2		15,7		14,9		14,2		16,6	
<b>CVg (%)</b>	9,8		13,0		10,2		10,7		9,4		12,0	
<b><math>C\hat{\sigma}_{(j,j')}</math></b>	5,27		28,63		6,2		18,2		7,1		29,8	
<b><math>\hat{\sigma}_{PL}^2</math></b>	5,81		18,18		5,6		17,69		7,3		18,61	
Simples (%)	4,7 <sup>1</sup> - 30,1 <sup>2</sup>		13,34 <sup>1</sup> - 45,9 <sup>2</sup>		7,49 <sup>1</sup> - 36,6 <sup>2</sup>		1,8 <sup>1</sup> - 29,4 <sup>2</sup>		0,2 <sup>1</sup> - 28,6 <sup>2</sup>		4,7 <sup>1</sup> - 36,9 <sup>2</sup>	
Complexa (%)	95,3 <sup>1</sup> - 69,9 <sup>2</sup>		86,6 <sup>1</sup> - 54,1 <sup>2</sup>		92,51 <sup>1</sup> - 63,4 <sup>2</sup>		98,2 <sup>1</sup> - 70,6 <sup>2</sup>		99,8 <sup>1</sup> - 71,4 <sup>2</sup>		95,3 <sup>1</sup> - 63,1 <sup>2</sup>	
<b><math>\hat{\sigma}_{PL}^2 / C\hat{\sigma}_{(j,j')} \times 100</math></b>	110,2		63,5		89,7		97,2		102,2		62,4	
<b><math>\hat{r}_{(j,j')}</math></b>	0,47		0,61		0,53		0,48		0,49		0,56	
<b>Média</b>	23,5		41,1		24,4		40,0		28,5		45,4	

$C\hat{\sigma}_{(j,j')}$ : covariância ou variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ : variância da interação progênies por locais;  $\hat{r}_{(j,j')}$ : correlação genética do desempenho das progênies nos dois ambientes. <sup>1</sup> Metodologia de Vencovsky (1987); <sup>2</sup> Metodologia de Cruz & Castoldi (1991).

## **CAPÍTULO 4**

### **PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA, AVALIADAS EM TESTES DE PROGÊNIES DE IRMÃOS GERMANOS DE *Eucalyptus* spp.**

## RESUMO

Com este trabalho, objetivou-se estudar os parâmetros genéticos e fenotípicos das principais propriedades tecnológicas da madeira de importância na produção de carvão vegetal, bem com sua associação com a circunferência à altura do peito (CAP), avaliado em diferentes idades. Para a realização do estudo, foram obtidas 61 progênies híbridas, envolvendo quatro espécies de eucalipto. Essas progênies, juntamente com três testemunhas, foram avaliadas nas regiões norte, noroeste e central do estado de Minas Gerais. Os experimentos foram plantados no ano de 2001. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e parcelas de uma linha com cinco plantas. As características avaliadas foram CAP aos 30, 68 e 84 meses, densidade básica da madeira, teor de lignina e de extrativos aos 84 meses da data de plantio. Pelos resultados verificou-se que as progênies diferiram tanto na característica de crescimento quanto nas propriedades tecnológicas da madeira e que é possível obter sucesso na seleção dessas características. Não foi detectada interação genótipos x ambientes significativa para as características: densidade básica, teor de lignina e de extrativos. Os resultados evidenciaram que é possível selecionar progênies e árvores que associam maior volume, alta densidade e elevados teores de lignina e de extrativos, condição essa muito favorável na produção de carvão vegetal.

## ABSTRACT

This work was carried out with the objective of studying the genetic and phenotypic parameters of the main wood properties of the importance in a production charcoal and association with those traits with the circumference at breast height (CBH) in different evaluation times. For the achievement of the study 61 full-sib progenies were obtained, involving four eucalyptus species. These progenies together with three checks were essay in the areas north, northwest and central area of the state of Minas Gerais. The experiments were planted in 2001 year. A randomized-block design with three replications and plots with a line of five plants was used.. The traits assessed were CBH to the 30, 68 and 84 months and basic density of the wood, lignin and extractive content to the 84 months after planting date. The results showed that the progenies differed from one another either in growth traits or in wood properties and that it is possible to obtain success in the selection of those characteristics. No significant genotype-by-environment interaction for basic density, lignin and extractive content traits was detected. The results showed that it is possible to select progenies and trees that associate larger volume, high density and high lignin and extractive content. This condition is very favorable in the charcoal production.

## 1 INTRODUÇÃO

Os ganhos genéticos obtidos no melhoramento do eucalipto foram expressivos (Gonçalves et al., 2001; Andrade, 2007), no entanto, deve ser ressaltado que os maiores resultados foram alcançados na seleção das características relacionadas com o crescimento (altura, circunferência à altura do peito e volume). Porém, os procedimentos de seleção não garantiam que as árvores selecionadas proporcionassem melhoria nas propriedades tecnológicas da madeira (Demuner & Bertolucci, 1993; Vital et al., 1994).

Nos últimos anos, com a maior interação entre floresta, processo e produto, além das características relacionadas com a produtividade, as empresas florestais despertaram interesse na busca de matéria-prima de melhor qualidade. A inclusão desses parâmetros na seleção tem proporcionado redução de custos e/ou a geração de produtos finais com propriedades superiores (Andrade, 2007; Quang et al., 2009).

Entre as características de qualidade da madeira, a densidade básica tem sido amplamente avaliada nos programas de melhoramento genético (Demuner & Bertolucci, 1993; Bison et al., 2004; Silva et al., 2009). Isso se deve à maior facilidade na sua avaliação e também porque clones que associam maior volume e alta densidade proporcionam maior rendimento em massa. Além da densidade, atualmente, outros parâmetros estão sendo levados em consideração no momento da seleção, tais como: lignina, extrativos, celulose e hemicelulose (Grattapaglia, 2007).

Na produção de carvão vegetal, visando a atender o setor siderúrgico, as propriedades tecnológicas da madeira de maior importância são: densidade básica, teor de lignina e de extrativos. Com relação à densidade básica, Pinheiro et al. (2008) comentam que quanto maior ela for, maior será o rendimento em

massa de carvão. Além disso, Trugilho et al. (1997), explanam que a densidade básica da madeira afeta as principais características físicas do carvão vegetal.

O teor de lignina está diretamente relacionado com o poder calorífico do carvão, o qual é definido como a quantidade de energia liberada pela combustão completa de uma unidade de massa. Além do mais, quanto maior o teor de lignina, maior será o rendimento gravimétrico na carbonização e maior o teor de carbono fixo do carvão. Já o teor de extrativos, além de estar relacionado com o poder calorífico, geralmente apresenta correlação alta e positiva com a densidade básica da madeira. Dessa forma, devem ser desenvolvidos clones de eucaliptos, para tal finalidade, que associem os maiores teores dessas propriedades (Pinheiro et al., 2008).

Dada a importância dessas características para a indústria siderúrgica, elas passaram a ser avaliadas nos programas de melhoramento do eucalipto visando à produção de carvão. No entanto, devido ao grande número de indivíduos que são avaliados nas etapas iniciais de um programa de melhoramento (testes de progênes), essas propriedades só eram analisadas nos ensaios finais de recomendação, ou seja, nos testes clonais, e em um número reduzido de tratamentos (Demuner & Bertolucci, 1993; Tolfo et al., 2005). Atualmente, com os avanços tecnológicos, os parâmetros de qualidade química da madeira podem ser avaliados desde os testes de progênes e, com isso, tornar a seleção de clones potenciais muito mais eficiente.

A viabilidade nas análises dessas propriedades tem sido alcançada com o emprego da técnica NIRS (espectroscopia na região do infravermelho próximo), que é uma metodologia de análise qualitativa e quantitativa, por meio da qual se estudam os harmônicos das vibrações moleculares (Pasquini, 2003; Guimarães, 2004). Esse procedimento tem se tornado muito prático e eficiente na seleção de indivíduos superiores nos programas de melhoramento florestal. Ele apresenta algumas vantagens em relação ao método convencional, como: é um método não



destrutivo; possibilita a análise de vários constituintes em uma única amostra; o tempo de “leitura” de cada amostra no aparelho é reduzido, menos de minuto; o custo por amostra é baixo e, adicionalmente, os valores obtidos apresentam alta correlação com o método convencional (Guimarães, 2004).

Além dessas vantagens, essa tecnologia tem permitido desenvolver estudos de controle genético das características tecnológicas da madeira, bem como a associação entre elas, os quais podem direcionar a condução dos programas de melhoramento genético. Resultados preliminares têm evidenciado que as principais propriedades tecnológicas da madeira de importância na produção de carvão são controladas predominantemente por genes de efeitos aditivos (Demuner & Bertolucci, 1993; Assis, 2001; Resende, 2002; Poke et al., 2006). Todavia, deve ser ressaltado que essas informações foram geradas em testes de progênies de meios irmãos ou testes clonais com um número restrito de tratamentos e que resultados em testes de progênies de irmãos germanos não foram encontrados na literatura, exceto para densidade básica da madeira (Bison et al., 2004).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar os parâmetros genéticos e fenotípicos das principais propriedades tecnológicas da madeira de importância para a produção de carvão, avaliadas em um teste de progênies de irmãos germanos, bem como a associação delas como a circunferência à altura do peito (CAP), em diferentes épocas de avaliação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram conduzidos na V&M Florestal. Foram avaliadas 61 progênies de irmãos germanos obtidos de cruzamentos controlados envolvendo as espécies de *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. pellita* (Tabela 1C) e três testemunhas, sendo duas espécies puras (*E. camaldulensis*, *E. urophylla*) e um clone comercial.

Os experimentos foram conduzidos em três regiões representativas de atuação da empresa, com características edafoclimáticas contrastantes, localizadas nas regiões norte, noroeste e central do estado de Minas Gerais, nos municípios de Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro, respectivamente (Tabela 2C). Os testes foram plantados no ano de 2001. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e parcelas de uma linha com cinco plantas. O espaçamento utilizado foi de 3 x 3 metros. Os tratamentos silviculturais foram realizados de acordo com os que normalmente são feitos nos plantios comerciais da empresa.

As características avaliadas foram: densidade básica ( $\text{kg/m}^3$ ), teor de lignina (%) e de extrativos (%), aos 84 meses. Para efeito de comparação, além desses, foi avaliada a circunferência à altura do peito (CAP) aos 30, 68 e 84 meses da data de plantio. Para avaliação das propriedades químicas da madeira, foram coletadas amostras de serragem de todas as árvores dos testes. As amostras foram retiradas na altura de 1,30 (DAP) com o auxílio de uma furadeira; em seguida, foram secas ao ar e processadas em um moinho tipo ciclone até a obtenção de amostras com granulometria uniforme de aproximadamente 0,05 mm. Em seguida, foram coletados os espectros das amostras utilizando o espectrômetro NIRS da marca Bruker, modelo MPA-R, que opera na região espectral de 800 a 2.500 nm. A partir dos modelos de

calibração desenvolvidos previamente, foram preditos os valores das propriedades tecnológicas da madeira.

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variâncias individuais; posteriormente, foram realizadas análises de variâncias conjuntas e, por último, para as características em que a interação progênies x locais foram significativa, procedeu-se à análise de variância conjunta dos locais dois a dois. As análises foram realizadas utilizando o PROC GLM (*Procedure for General Linear Models*) do SAS® (SAS Institute, 2000). A partir da decomposição das esperanças dos quadrados médios (EQM), foram estimados os parâmetros genéticos e fenotípicos.

Os limites superiores e inferiores das herdabilidades foram obtidos utilizando a expressão apresentada por Knapp et al. (1985), com coeficiente de confiança de 95%. Para as características em que a variância da interação progênies por locais ( $\hat{\sigma}_{PL}^2$ ) foi significativa, procedeu-se à decomposição nas partes simples e complexas, empregando a metodologia de Cruz & Castoldi (1991). As correlações genéticas ( $\hat{r}_{(j,j')}$ ) entre as características avaliadas foram obtidas empregando a expressão apresentada por Ramalho et al. (2005).

Para o estudo de variabilidade e seleção das melhores árvores, foram estimados os valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) ao nível de indivíduo, nas análises conjuntas de locais, para todas as características avaliadas. Os resultados foram obtidos via modelos mistos REML/BLUP, empregando o programa computacional Seleção Genética Computadorizada (Selegen) (Resende, 2007).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variâncias individuais e conjuntas para as diferentes características avaliadas encontram-se nas Tabelas 3C, 4C, 5C, 6C e 7C. Veja que as propriedades tecnológicas da madeira (densidade básica, teor de extrativo e de lignina) apresentaram coeficiente de variação experimental (CVe %) de magnitude inferior aos obtidos para o CAP. Entre as propriedades tecnológicas da madeira, as maiores estimativas foram obtidas para teor de extrativo, com valores variando de 18,3 a 20,2% nas análises de variâncias individuais e de 15,9% na conjunta. Valores semelhantes de CVe (%), para essas características foram observados no trabalho de Tolfo et al. (2005).

Tanto nas análises de variâncias individuais quanto nas análises conjuntas, para todas as características avaliadas, a fonte de variação progênes foi significativa ( $P < 0,05$ ) (Tabelas 3C, 4C, 5C, 6C e 7C). Com esses resultados infere-se que há variabilidade genética entre as progênes avaliadas e, conseqüentemente, há a possibilidade de promover o melhoramento dessas características pela seleção de genótipos superiores.

Bison et al. (2004), avaliando diâmetro à altura do peito (DAP) e densidade básica da madeira de diferentes híbridos  $F_1$  obtidos de cruzamentos controlados entre clones elite e a geração  $F_2$  desses híbridos, também obtiveram diferenças significativas entre progênes para essas características. Avaliando progênes de meios irmãos de *E. camaldulensis*, Paula et al. (2002) também constataram que há variabilidade genética para DAP e densidade básica. Além do DAP e da densidade básica, Tolfo et al. (2005), avaliando diferentes clones de *Eucalypts* spp, encontraram diferença significativa para as características teor de extrativos e de lignina.

A variabilidade genética entre progênies também pôde ser constatada por meio da distribuição de frequência dos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) obtidos via modelos mistos REML/BLUP na análise conjunta de locais para todas as características avaliadas aos 84 meses (Figuras 1C, 2C, 3C e 4C). Observe que para densidade básica da madeira, a amplitude de variação foi de aproximadamente 55 kg/m<sup>3</sup>, e 46,2% dos indivíduos avaliados apresentaram média superior ao clone mais plantado pela empresa (Figura 1C). Para o teor de extrativos, a amplitude de variação foi de 3,36%. Observou-se que 25% das árvores apresentaram valores superiores ao clone testemunha (Figura 2C). Para o teor de lignina, a amplitude de variação foi de 2,90%. Nesse caso, 68,5% dos indivíduos apresentaram média superior à testemunha (Figura 3C). Finalmente, para CAP, a amplitude de variação foi de 33,50 cm; contudo, apenas 6,53% dos indivíduos avaliados foram superiores à testemunha (Figura 4C). Com esses resultados, evidencia-se que há possibilidade de obter ganhos significativos, principalmente, nas propriedades tecnológicas da madeira.

Apesar de as amplitudes de variação para as diferentes características avaliadas evidenciarem variabilidade genética, os coeficientes de variação genética (CVg%) foram de pequena magnitude para as características de qualidade da madeira. Verificou-se, nas análises de variância conjuntas, que o maior CVg (%) entre progênies foi obtido para o teor de extrativos (8,4%) e os menores para densidade básica (1,2) e teor de lignina (1,3%), sendo esses valores muito inferiores ao encontrado para CAP (13,4%) (Tabela 7C). A mesma tendência foi observada nas análises de variâncias individuais (Tabelas 3C, 4C, 5C e 6C). No trabalho realizado por Tolfo et al. (2005) também encontraram estimativas de CVg (%) de menor magnitude para densidade básica e teor de lignina. Fica evidenciado assim, que os valores das estimativas das variâncias de progênies para as características tecnológicas da madeira,

proporcionalmente à média geral do caráter considerado, são de pequena magnitude.

No entanto, o parâmetro que melhor reflete a possibilidade de obter ganhos com a seleção é a herdabilidade. Observe que as estimativas no sentido amplo ao nível de média de progênes, obtidas nas análises de variâncias conjuntas, foram superiores a 75%, para todas as características avaliadas e as estimativas dos intervalos de confiança mostram que elas são diferentes de zero, a 95% de probabilidade (Tabela 7C). Entre as características avaliadas, a CAP foi a que apresentou as maiores estimativas, tanto quando se considerou a seleção na média de progênie quanto foi estimada para a seleção de árvores superiores. Valores semelhantes de herdabilidades no sentido amplo para essa característica, ao nível de média de progênes, foram observados no trabalho de Reis (2009) e Bouvet & Vigneron (1996), com estimativas superiores a 80%. Em levantamento feito por Castro (1992), em que foram avaliadas progênes de meios irmãos, as estimativas de herdabilidades no sentido restrito para volume variaram de 10% a 86% da variância fenotípica, com média de 48%. Para altura total e diâmetro à altura do peito, encontraram herdabilidades médias de 68% e 63%, respectivamente. Apesar de esses resultados não serem diretamente comparáveis com os obtidos no presente trabalho, isso porque a variância de progênes de meios irmãos é constituída apenas da variância genética aditiva ( $1/4 \sigma_A^2$ ), (Falconer & Mackay, 1996), poder-se-ia argumentar que os resultados estão coerentes, pois, avaliando progênes de irmãos germanos, é esperado que as estimativas sejam ligeiramente superiores, visto que a variância genética desse tipo de progênie é composta também da variância de dominância ( $1/2 \sigma_A^2 + 1/4 \sigma_D^2$ ). O mesmo comentário é válido para as demais características estudadas.

Nas análises de variâncias individuais, as menores estimativas de herdabilidades, tanto ao nível de média de progênes quanto na seleção de

indivíduos, foram, em média, obtidas para as características: densidade básica da madeira e teor de extrativos (Tabelas 3C e 4C). Entre as propriedades tecnológicas da madeira, o teor de lignina foi o que apresentou as maiores estimativas, exceto para o local João Pinheiro (Tabela 5C), porém, veja que nas análises de variância conjunta, as estimativas de herdabilidade para as diferentes características foram muito semelhantes, com valores superiores a 75% (Tabela 7C).

Avaliando densidade básica de diferentes clones de eucalipto, Tolfo et al. (2005) obtiveram estimativas de herdabilidade no sentido amplo ao nível de clone ligeiramente inferior (56%). Entretanto Paula et al. (2002) e Demuner & Bertolucci (1993) encontraram estimativas de magnitude superior, com valores de 79% e 92%, respectivamente. Avaliando progênies de meios irmãos de eucalipto, as herdabilidades no sentido restrito encontradas na literatura, para essa característica, foram superiores a 42% (Kube et al., 2001; Apiolaza et al., 2005; Poke et al., 2006).

Tanto para a seleção de indivíduos quanto para a seleção na média de progênies, Paula et al. (2002) encontraram herdabilidade no sentido amplo superior para densidade do que para DAP. No presente trabalho, veja que as herdabilidades para CAP foram de magnitudes superiores às encontradas para densidade básica. Os resultados obtidos no presente trabalho são corroborados pelos observados no trabalho de Tolfo et al. (2005), os quais obtiveram estimativas para CAP e densidade básica da madeira de 69% e 56%, respectivamente.

Para o teor de extrativos, a herdabilidade ao nível de média de progênies obtida na análise de variância conjunta foi de 75% (Tabela 7C). Essa estimativa é de magnitude ligeiramente inferior às normalmente observadas na literatura. Por exemplo, Demuner & Bertolucci (1993) e Tolfo et al. (2005) encontraram estimativas de herdabilidades superiores a 83%. Todavia, avaliando progênies de

meios irmãos de *Eucalyptus globulus*, Poke et al. (2006) encontraram estimativa de herdabilidade no sentido restrito de 48%. Para teor de lignina, o resultado encontrado no presente trabalho é corroborado com os normalmente observados na literatura (Demuner & Bertolucci, 1993; Tolfo et al., 2005). Poke et al. (2006), avaliando progênies de meios irmãos, obtiveram estimativa de herdabilidade no sentido restrito para lignina de 50%.

Normalmente, observa-se na literatura que as maiores estimativas de herdabilidade são obtidas para as propriedades tecnológicas da madeira (Kube et al., 2001; Paula et al., 2002; Apiolaza et al., 2005; Tolfo et al., 2005; Poke et al., 2006). Todavia, a comparação entre os diferentes trabalhos é difícil, porque as herdabilidades frequentemente foram obtidas em testes de progênies de meios irmãos ou testes clonais avaliando um número restrito de tratamentos. E informações de herdabilidades para essas características ao nível de teste de progênies híbridas não foram observadas na literatura.

Como pode ser constatado, a herdabilidade para um determinado caráter é influenciado por inúmeros fatores, tais como: número e tipo de progênies avaliadas; idade de avaliação; número de repetições; condições ambientais a que os indivíduos são submetidos; tratos silviculturais, entre outros. Como a herdabilidade depende da magnitude de todos os componentes da variância, uma alteração em qualquer um deles afetará o seu valor (Falconer & Mackay, 1996).

Observa-se que são vários os fatores que podem influenciar a magnitude das herdabilidades e, conseqüentemente, os ganhos a serem obtidos com a seleção. Nesse contexto, poder-se-ia destacar os ambientes, verificou-se que as propriedades tecnológicas da madeira são pouco influenciadas pelas condições ambientais. Observe que as médias obtidas nas análises de variâncias individuais foram semelhantes entre os locais, para as diferentes características (Tabelas 3C, 4C e 5C). Veja que também nas análises de variâncias conjuntas, a interação progênies x locais foi não significativa (Tabela 7C). Interação não significativa



para essas características também foi constatada no trabalho de Poke et al. (2006). No entanto, para densidade, Kube et al. (2001) encontraram interação progênies x locais significativa; todavia, de pequena magnitude. Já Demuner & Bertolucci (1993) constataram que essa interação foi significativa para densidade básica, teor de extrativo e de lignina. Para densidade básica, verificaram que 97,5% da variância da interação clones por locais ( $\hat{\sigma}_{PL}^2$ ) foi devida à parte complexa da interação. Já para as características teor de extrativo e de lignina, a maior proporção foi atribuída à parte simples da interação. Deve ser comentado que neste trabalho foram avaliados diferentes clones de eucaliptos e, com isso, era esperado que os efeitos da interação genótipos x ambientes fossem mais pronunciados. Becker & León (1988) comentam que a magnitude da interação progênies x locais pode ser influenciada pela estrutura genética das populações e que cultivares homogêneas são menos estáveis do que uma mistura de genótipos. Todavia, os mesmos autores comenta que pode ser selecionado para maior estabilidade em qualquer estrutura genética.

Pelos resultados obtidos neste trabalho, verifica-se que a interação progênies x locais foi significativa apenas para a característica CAP. Nesse contexto, para melhor compreensão de quais pares de ambientes a interação é mais pronunciada, foram realizadas análises de variâncias conjuntas dos locais dois a dois. Constatou-se que essa interação foi significativa quando estavam envolvidos os locais Bocaiúva & Paraopeba e Paraopeba & João Pinheiro (Tabela 8C). Apesar de as interações serem significativas, as correlações genéticas ( $\hat{r}_{(j,j')}$ ) do desempenho das progênies nos ambientes dois a dois para os dois pares de locais foram superiores a 69%, e as proporções da  $\hat{\sigma}_{PL}^2$  sobre a variância de progênies ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) foram inferiores a 30,2%. Empregando a metodologia de Cruz & Castoldi (1991), as interações foram desdobradas nas partes simples e complexas. Verificou-se que, para todos os pares de locais, a

parte simples da interação foi superior a 47,1%. Não obstante de os resultados evidenciarem a ocorrência de interação progênies por locais, o que não exercerá grandes dificuldades para o trabalho do melhorista.

Apesar de pelas estimativas de herdabilidades evidenciar-se a possibilidade de sucesso com a seleção nas características isoladas, todavia, os programas de melhoramento procuram obter resultados em um conjunto de atributos. Dessa forma, torna-se necessário conhecer a associação entre essas características de interesse. Nesse contexto, a maneira de estimar essa associação é por meio da correlação genética entre elas; esse resultado indicará o quanto é afetada uma determinada característica quando a seleção for realizada em outra (Ramalho et al., 2005).

As estimativas das correlações genéticas entre as características avaliadas encontram-se na Tabela 9C. Entre as propriedades tecnológicas da madeira, constatou-se que a maior estimativa (alta e positiva) foi obtida entre densidade básica da madeira e o teor de extrativos. Como essas características provavelmente são poligênicas, alguns dos genes que controlam a densidade podem também estar envolvidos na expressão do teor de extrativos ou estarem muito próximos no genoma. Dessa forma, poder-se-ia afirmar que a seleção para elevação da densidade tende a proporcionar aumento nos teores de extrativos. Em outros trabalhos, as estimativas de correlação genética entre essas duas características foram de menor magnitude, como, por exemplo, no trabalho de Tolfo et al. (2005) e Poke et al. (2006), ambos com estimativas variando de 0,19 a 0,22.

As estimativas de correlações genéticas entre o teor de lignina com densidade básica e teor de extrativos foram positivas, porém, de baixa magnitude (Tabela 9C). Com esses resultados evidencia-se que a seleção em uma dessas características irá ter pequeno efeito na outra, porém, no sentido desejado. Tolfo et al. (2005) também encontraram correlações genéticas

positivas; contudo a maior estimativa foi obtida entre o teor de lignina e de extrativos (0,53) e a menor, entre o teor de lignina e a densidade básica da madeira (0,09). Já no trabalho de Poke et al. (2006), a correlação entre o teor de lignina e o de extrativos foi de 0,31 e para o teor de lignina e densidade básica, -0,54.

As correlações genéticas entre as características tecnológicas da madeira avaliada aos 84 meses e o CAP avaliado em três épocas diferentes encontram-se na Tabela 9C. Veja que as estimativas sofreram pouca variação com a época de avaliação. As correlações genéticas obtidas entre o teor de lignina e o CAP foram positivas em todas as idades de avaliação, porém de pequena magnitude, chegando aos 84 meses com valor de 0,15. Esses resultados são corroborados com os encontrados nos trabalhos de Tolfo et al. (2005) e Poke et al. (2006).

Tanto as correções envolvendo densidade básica da madeira quanto teor de extrativos com o CAP, apesar de pequena magnitude, as estimativas foram sempre negativas. Os resultados demonstram que a seleção, levando em consideração apenas uma dessas características, poderá causar redução nas outras, o que é indesejável para a produção de carvão. Estimativa positiva entre CAP e o teor de extrativos foi observada no trabalho de Poke et al. (2006). Correlações negativas entre densidade básica da madeira e DAP também foram observadas nos trabalhos de Apiolaza et al. (2005) e Quang et al. (2009), com estimativas de -0,58 e -0,50, respectivamente. Contudo, Tolfo et al. (2005) encontraram valores positivos entre essas duas propriedades tecnológicas da madeira e o DAP, evidenciando que há possibilidade de encontrar genótipos que associem alto CAP, alta densidade e alto teor de extrativos.

Entre as propriedades tecnológicas da madeira, de importância na produção de carvão, pode-se destacar a densidade básica, pois essa influencia diretamente as principais propriedades químicas e físicas do carvão vegetal (Brito & Barrichelo, 1979; Pinheiro, 2008); no entanto, observa-se que não há

um consenso da magnitude da correção entre essa característica com as relacionadas ao crescimento. Sabe-se que a densidade básica da madeira é influenciada por vários fatores, tais como: espessura da parede celular, diâmetro do lume, quantidade de vasos e de parênquima, dimensão da fibra, teor de extrativos, espécie, condições ambientais e da taxa de crescimento (Foelkel et al., 1990).

Como já comentado, os programas de melhoramento genético tem-se por objetivo promover o melhoramento de várias características simultaneamente; para isso, torna-se necessário estabelecer critérios de seleção. Nesse contexto, a estratégia mais eficiente na seleção de árvores superiores nos testes de progênie para serem avaliadas nos testes clonais parece ser a estratégia de seleção semelhante à “Tanden” (Cruz & Carneiro, 2006), ou seja, promover a seleção nas características isoladas e por etapas; inicialmente, pelas de fácil avaliação, como exemplo, CAP, altura e estima do volume; em seguida, realiza a seleção das árvores com maior volume. Dos indivíduos selecionados, avaliam-se as características tecnológicas da madeira. Essa estratégia resultará na economia de tempo e recursos.

Deve ser ressaltado que algumas características podem ser agrupadas de maneira a estabelecer um índice, de forma a facilitar a seleção, como, por exemplo, o produto do CAP com a altura e densidade básica da madeira resulta na massa de madeira, o que facilitará a seleção dos indivíduos remanescentes; isso quando o interesse é obter maior massa de madeira por hectare. No entanto, devido à baixa correlação genética entre o desempenho das árvores nos testes de progênie com os mesmos genótipos nos testes clonais, para as características de crescimento, a intensidade de seleção não poderá ser muito grande (Reis, 2009; Costa, 2008).

Com relação aos cruzamentos avaliados, observa-se que as progênie híbridas envolvendo as espécies *E. camaldulensis* com *E. urophylla* e *E.*

*grandis*, alcançaram os maiores valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) para característica CAP (Tabela 10C). Já para as propriedades tecnológicas da madeira, os cruzamentos entre *E. camaldulensis* e *E. pellita* obtiveram valores de maior magnitude. Como pode ser observada na Tabela 10C, a progênie 30 apresentou maior valor genotípico predito ( $\mu + g$ ) tanto para densidade básica da madeira quanto para o teor de extrativo. Para o teor de lignina, foi a progênie 54, também resultando do cruzamento de *E. camaldulensis* com *E. pellita*. Com esses resultados evidencia-se o potencial dessas espécies para serem utilizadas em programas de melhoramento genético, visando à produção de carvão vegetal. Ressalta-se que é possível selecionar para maiores teores dessas propriedades em qualquer tipo de cruzamento.

#### **4 CONCLUSÃO**

As progênies diferem tanto na característica de volume quanto na de qualidade da madeira. E é possível selecionar progênies e árvores que associem maior CAP, alta densidade e elevados teores de lignina e de extrativos condição essa muito favorável na produção de carvão vegetal.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H. B. Melhoramento do eucalipto para a indústria siderúrgica. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 11., 2007, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 37-47.

APIOLAZA, L. A.; RAYMOND, C. A.; YEO, B. J. Genetic variation of physical and chemical wood properties of *Eucalyptus globulus*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 54, n. 4/5, p. 160-166, 2005.

ASSIS, T. F. Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. In: RESENDE, M. D. V. (Ed.). **Workshop sobre melhoramento de espécies florestais e palmáceas no Brasil**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2001. p. 193-214.

BECKER, H. C.; LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 101, n. 1, p. 1-23, Apr. 1988.

BISON, O.; AGUIAR, A. M.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P. Inbreeding depression in *Eucalyptus* clones. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, n. 4, p. 459-464, dez. 2004.

BOUVET, J. M.; VIGNERON, PH. Variance structure in *Eucalyptus* hybrid populations. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 2/3, p. 2-3, July 1996.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Aspecto florestais e tecnológicos da matéria-prima para carvão vegetal. **IPEF**, Piracicaba, n. 67, p. 1-4, set. 1979.

CASTRO, N. H. C. de. **Número de repetições e eficiência da seleção em progênies de meios irmãos de *Eucalyptus camaldulensis***. 1992. 121 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicado ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 2, 585 p.

CRUZ, O. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipo x ambiente em parte simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 38, n. 219, p. 422-430, set./out. 1991.

DEMUNER, B. J.; BERTOLUCCI, F. de L. G. Seleção florestal: uma nova abordagem a partir de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características da madeira e polpa de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 26., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1993. p. 411-423.

FALCONER, D. S.; MACKEY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MEMOCHELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilização como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 719-728.

GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. de L. G.; RAMALHO, M. A. P. **Progresso genético por meio da seleção de clones de eucalipto em plantios comerciais**. Revista *Árvore*, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 295-301, jul./set. 2001.

GRATTAPAGLIA, D. Aplicações operacionais de marcadores moleculares. In: BORÉM, A. **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. p. 175-200.

GUIMARÃES, L. de M. **Princípios e aplicações da espectroscopia no infravermelho próximo para caracterização tecnológica da madeira**. 2004. 35 p. Monografia (Graduação em Física) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progenie mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, n.1, p. 192-194, Jan./Feb. 1985.

KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A.; BANHAM, P. W. Genetic parameters for diameter, basic density, cellulose content and fibre properties for *Eucalyptus nitens*. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 8, n. 4, p. 285-294, 2001.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspect and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.



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

PINHEIRO, P. C. da C.; SAMPAIO, R. S.; REZENDE, M. E. A. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. 2. ed. Belo Horizonte: Edição do Autor, 2008. 120 p.

POKE, F. S.; POTTS, B. M.; VAILLANCOURT, R. E.; RAYMOND, C. A. Genetic parameters for lignin, extractives and decay in *Eucalyptus globulus*. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 63, n. 8, p. 813-821, Dec. 2006.

QUANG, T. H.; KIEN, N. D.; ARNOLD, S. V.; JANSSON, G.; THINH, H. H.; CLAPHAM, D. Relationship of wood composition to growth traits of selected open-pollinated families of *Eucalyptus urophylla* from a progeny trial in Vietnam. **New Forests**, Dordrecht, p. 1-12, Oct. 2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/f485040236345358/fulltext.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2009.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 322 p.

REIS, C. A. F. **Correspondência no desempenho entre árvores selecionadas em teste de progênies e seus clones em *Eucalyptus* spp.** 2009. 47 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

RESENDE, M. D. V. de. **Software Selegen-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção computadorizada via modelos mistos**. Colombo: Embrapa Floresta, 2007. 359 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**: version 8. Cary, 2000.

SILVA, J. C.; BORRALHO, N. M. G.; ARAÚJO, J. A.; VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M. Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in *Eucalyptus globulus*. **Tree Genetics & Genomes**, Berlin, v. 5, n. 2, p. 291-305, Apr. 2009.

TOLFO, A. L. T.; PAULA, R. C. de; BONINE, C. A. V.; BASSA, A.; VALLE, C. F. do. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 101-110, abr. 2005.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B. R.; REGAZZI, A. J.; GOMIDE, J. L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 259-267, abr. 1997.

VITAL, B. R.; ALMEIDA, J. de; VALENTE, O. F.; PIRES, I. E. Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. **IPEF**, Piracicaba, v. 47, p. 22-28, maio 1994.

## ANEXOS

ANEXO C		Página
TABELA 1C	Relação de cruzamentos e números de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. avaliadas.....	137
TABELA 2C	Características edafoclimáticas das três regiões em que foram conduzidos os testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., plantados no ano de 2001.....	137
TABELA 3C	Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para densidade básica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses, em Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro - MG.....	138
TABELA 4C	Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para teor de extrativos (%), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses em Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro - MG.....	139
TABELA 5C	Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para teor de lignina (%), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses, em Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro - MG.....	140

TABELA 6C	Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para circunferência à altura do peito (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses, em Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro - MG.....	141
TABELA 7C	Resumo das análises de variâncias conjuntas, ao nível de média de parcela e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos dos dados de densidade básica da madeira (kg/m <sup>3</sup> ), teor de extrativos (%), teor de lignina (%) e CAP (cm) obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses.....	142
TABELA 8C	Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais dois a dois e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm) dos dados obtidos na avaliação dos testes de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses.....	143
TABELA 9C	Correlações genéticas entre as características densidade básica da madeira (kg/m <sup>3</sup> ), teor de extrativos (%), teor de lignina (%) e CAP (cm), obtidas na avaliação dos testes progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., em três locais.....	144
TABELA 10C	Origem das 10 melhores progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp. selecionadas com base nos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) das características: densidade (kg/m <sup>3</sup> ), teor de lignina (%), teor de extrativos (%) e CAP (cm).....	145

FIGURA 1C	Distribuição de frequência dos valores genotípicos ( $\mu$ + g) ao nível de indivíduos obtidos na análise conjunta de locais para característica densidade básica ( $\text{kg/m}^3$ ) avaliada no testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses.....	146
FIGURA 2C	Distribuição de frequência dos valores genotípicos ( $\mu$ + g) ao nível de indivíduos obtidos na análise conjunta de locais para teor de extrativos (%) avaliada no testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses.....	146
FIGURA 3C	Distribuição de frequência dos valores genotípicos ( $\mu$ + g) ao nível de indivíduos obtidos na análise conjunta de locais para teor de lignina (%) avaliada no testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses.....	147
FIGURA 4C	Distribuição de frequência dos valores genotípicos ( $\mu$ + g) ao nível de indivíduos obtidos na análise conjunta de locais para CAP (cm) avaliada no testes de progênies de irmãos germanos de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 84 meses.....	147

TABELA 1C Relação de cruzamentos e números de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. avaliadas.

<b>Cruzamentos</b>	<b>Nº de Progênies</b>
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>	43
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>	15
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. pellita</i>	2
<i>E. camaldulensis</i> x Mix <i>E. camal</i> *	1

\* mistura de pólen de matrizes de *E. camaldulensis*.

TABELA 2C Características edafoclimáticas das três regiões em que foram conduzidos os testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., plantados no ano de 2001.

<b>Municípios</b>	<b>Latit</b>	<b>Long</b>	<b>Altit</b>	<b>Precip</b>	<b>Temp</b>	<b>Solo</b>
João Pinheiro	17°40'S	46°32'W	500	1.346	17-25	Arenoso
Bocaiúva	19°30'S	43°20'W	850	851	16-26	Areno-argil
Paraopeba	19°17'S	44°29'W	700	1.353	15-24	Argiloso

Altit- altitude, em metros ; Precip- precipitação, em mm; Temp- temperatura, em °C.

TABELA 3C Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para densidade básica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses, em Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro - MG.

FV	Bocaiúva		Paraopeba		João Pinheiro	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
<b>Repetições</b>	2	3294,6	2	508,4	2	162,7
<b>Progênies</b>	60	1338,3**	60	1049,9**	60	704,9**
<b>Erro</b>	120	612,9	119	395,3	120	395,3
<b>Dentro</b>	590	336,4	561	260,1	544	287,6
<b>Total</b>	772		742		726	
<b>CVe (%)</b>		3,2		2,8		2,9
<b>Acurácia</b>		75,5		81,9		73,6
$\bar{k}$		3,9		3,6		3,4
$\hat{\sigma}_p^2$		61,5		60,0		29,9
$\hat{\sigma}_f^2$		113,5		96,1		67,9
$\hat{h}_a^2$		54,2 (27,6 - 70,1)		62,4 (40,1 - 75,4)		44,1 (11,3 - 63,34)
$\hat{h}_i^2$		25,6 (18,3 - 32,9)		31,5 (23,3 - 39,7)		18,6 (12,2 - 25,0)
<b>CVg (%)</b>		1,4		1,3		1,0
<b>Média</b>		567,9		575,9		573,9

CVe (%): coeficiente de variação experimental;  $\bar{k}$ : número médio de plantas por parcelas;  $\hat{\sigma}_p^2$ : variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica;  $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de progênies;  $\hat{h}_i^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de indivíduo; CVg (%): coeficiente de variação genética;.

TABELA 4C Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para teor de extrativos (%), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses em Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro - MG.

FV	Bocaiúva		Paraopeba		João Pinheiro	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Repetições	2	307,8	2	1,6	2	30,9
Progênies	60	8,8*	60	6,8**	60	5,4**
Erro	120	5,7	119	3,8	120	2,8
Dentro	590	1,6	561	1,4	543	1,5
<b>Total</b>	<b>772</b>		<b>742</b>		<b>725</b>	
CVe (%)		20,2		18,7		18,2
Acurácia		60,3		70,0		71,7
$\bar{k}$		3,9		3,6		3,4
$\hat{\sigma}_p^2$		0,26		0,27		0,25
$\hat{\sigma}_f^2$		0,75		0,62		0,51
$\hat{h}_a^2$		34,6 (-2,4 - 57,6)		43,5 (11,6 - 63,5)		49,0 (18,1 - 66,1)
$\hat{h}_i^2$		17,3 (11,3 - 23,3)		24,3 (17,1 - 31,5)		22,0 (15,0 - 29)
CVg (%)		8,0		8,2		7,6
Média		6,4		6,4		6,6

CVe (%): coeficiente de variação experimental;  $\bar{k}$  : número médio de plantas por parcelas;  $\hat{\sigma}_p^2$  : variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_f^2$  : variância fenotípica;  $\hat{h}_a^2$  : herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de progênies;  $\hat{h}_i^2$  : herdabilidade no sentido amplo ao nível de indivíduo; CVg (%): coeficiente de variação genética.



TABELA 5C Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para teor de lignina (%), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses, em Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro - MG.

FV	Bocaiúva		Paraopeba		João Pinheiro	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Repetições	2	33,4	2	5,4	2	2,5
Progênes	60	3,6**	60	4,3**	60	1,4**
Erro	120	1,3	119	1,7	120	0,9
Dentro	590	1,0	561	1,0	544	0,6
<b>Total</b>	<b>772</b>		<b>742</b>		<b>726</b>	
CVe (%)		3,2		3,2		2,4
Acurácia		81,1		81,1		70,0
$\bar{k}$		3,9		3,6		3,5
$\hat{\sigma}_p^2$		0,19		0,24		0,05
$\hat{\sigma}_f^2$		0,31		0,38		0,13
$\hat{h}_a^2$		61,3 (39,8 - 75,1)		63,2 (37,9 - 74,31)		38,5 (4,3 - 60,4)
$\hat{h}_i^2$		29,4 (22,3 - 37,2)		34,0 (25,5 - 42,5)		16,1 (10,0 - 22,2)
CVg (%)		1,2		1,6		0,70
Média		30,8		31,3		31,4

CVe (%): coeficiente de variação experimental;  $\bar{k}$ : número médio de plantas por parcelas;  $\hat{\sigma}_p^2$ : variância genética entre progênes;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica;  $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de progênes;  $\hat{h}_i^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de indivíduo; CVg (%): coeficiente de variação genética.

TABELA 6C Resumo das análises de variâncias individuais e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para circunferência à altura do peito (cm), dos dados obtidos na avaliação dos testes de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses, em Bocaiúva, Paraopeba e João Pinheiro - MG.

FV	Bocaiúva		Paraopeba		João Pinheiro	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Repetições	2	21,3	2	471,1	2	16,0
Progênes	60	370,9**	60	776,2**	60	614,8**
Erro	120	84,1	120	200,9	113	167,8
Dentro	660	76,3	645	217,8	579	167,4
<b>Total</b>	842		827		754	
CVe (%)		25,9		33,8		29,0
Acurácia		89,7		87,85		87,22
$\bar{k}$		3,9		3,4		3,4
$\hat{\sigma}_p^2$		24,3		55,58		43,7
$\hat{\sigma}_f^2$		31,4		74,99		60,0
$\hat{h}_a^2$		77,3 (64,1 - 85,2)		74,1 (59,1 - 83,1)		72,7 (56,8 - 82,2)
$\hat{h}_i^2$		45,9 (36,2 - 54,6)		37,7 (28,6 - 46,9)		35,9 (27,0 - 43,8)
CVg (%)		14,5		17,1		14,8
Média		33,9		43,7		44,6

CVe (%): coeficiente de variação experimental;  $\bar{k}$ : número médio de plantas por parcelas;  $\hat{\sigma}_p^2$ : variância genética entre progênes;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica;  $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de progênes;  $\hat{h}_i^2$ : herdabilidade no sentido amplo ao nível de indivíduo; CVg (%): coeficiente de variação genética.

TABELA 7C Resumo das análises de variâncias conjuntas, ao nível de média de parcela e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos dos dados de densidade básica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ), teor de extrativos (%), teor de lignina (%) e CAP (cm) obtidos na avaliação dos testes de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses.

FV	Densidade básica		Teor de extrativos		Teor de lignina		CAP	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
<b>Repetição (Local)</b>	6	334,4	6	30,6	6	3,7	6	49,1
<b>Progênies (P)</b>	60	590,7**	60	3,4**	60	1,8**	60	337,8**
<b>Locais (L)</b>	2	2818,6	2	3,8	2	15,4	2	6252,9
<b>P x L</b>	120	135,6 <sup>ns</sup>	120	1,1 <sup>ns</sup>	120	0,4 <sup>ns</sup>	120	68,6**
<b>Erro</b>	359	130,7	359	1,1	359	0,4	359	42,1
<b>Total</b>	547		547		547		547	
<b>CVe (%)</b>		2,0		15,9		1,9		16,0
<b>CVg (%)</b>		1,2		8,4		1,3		13,4
$\hat{\sigma}_p^2$		50,56		0,3		0,15		29,9
$\hat{\sigma}_f^2$		65,6		0,4		0,19		37,5
$\hat{\sigma}_{PL}^2$		-		-		-		8,8
$\hat{\sigma}_{PL}^2 / \hat{\sigma}_p^2$ (x100)		-		-		-		29,5
$\hat{h}_a^2$		77,1 (63,7 - 85,0)		75,0 (48,8 - 78,8)		79,0 (64,9 - 85,5)		79,7 (67,9 - 86,7)
$\hat{r}_g$		0,48		0,61		0,66		0,31
<b>Média</b>		572,5		6,5		31,2		40,6

$\hat{\sigma}_{PL}^2$  : variância da interação progênies por locais;  $\hat{r}_g$  : correlação genética do desempenho das progênies nos diferentes locais.

TABELA 8C Resumo das análises de variâncias conjuntas dos locais dois a dois e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para CAP (cm) dos dados obtidos na avaliação dos testes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses.

FV	Bocaiúva & Paraopeba		Bocaiúva & João Pinheiro		Paraopeba & João Pinheiro	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
<b>Repetição (Locais)</b>	4	71,4	4	5,1	4	71,0
<b>Progênes (P)</b>	60	244,6**	60	201,1**	60	298,7**
<b>Locais (L)</b>	1	8135,4	1	10475,7	1	147,7
<b>P x L</b>	60	70,0**	60	51,3*	60	84,6**
<b>Erro</b>	240	37,7	240	36,2	240	52,3
<b>Total</b>	365		365		365	
<b>CVe (%)</b>	15,9		15,3		16,4	
<b>CVg (%)</b>	13,9		12,7		13,5	
$C\hat{ov}_{(j,j')}$	29,1		25,0		35,7	
$\hat{\sigma}_{PL}^2$	10,7		5,0		10,8	
Simples (%)	72,5		65,4		47,1	
Complexa (%)	27,5		34,6		52,9	
$\hat{\sigma}_{PL}^2 / C\hat{ov}_{(j,j')} (\times 100)$	36,9		20,1		30,2	
$\hat{r}_{(j,j')}$	0,82		0,84		0,69	
<b>Média</b>	38,6		39,3		44,0	

CVe (%): coeficiente de variação experimental; CVg (%): coeficiente de variação genética;  $C\hat{ov}_{(j,j')}$ : covariância ou variância genética entre progênes;  $\hat{\sigma}_{PL}^2$ : variância da interação progênes por locais;  $\hat{r}_{(j,j')}$ : correlação genética do desempenho das progênes nos dois ambientes.

TABELA 9C Correlações genéticas entre as características densidade básica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ), teor de extrativos (%), teor de lignina (%) e CAP (cm), obtidas na avaliação dos testes progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., em três locais.

	Densidade Básica	Teor de Extrativo	Teor de Lignina
<b>Teor de Extrativo</b>	0,83		
<b>Teor de Lignina</b>	0,10	0,21	
<b>CAP aos 30 meses</b>	-0,05	-0,17	0,27
<b>CAP aos 68 meses</b>	-0,08	-0,19	0,19
<b>CAP aos 84 meses</b>	-0,12	-0,19	0,15

TABELA 10C Origem das 10 melhores progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp. selecionadas com base nos valores genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) das características: densidade (kg/m<sup>3</sup>), teor de lignina (%), teor de extrativos (%) e CAP (cm).

Característica	Progênies	$\mu + g$	Cruzamento
Densidade	28	589,53	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E.urophylla</i>
	30	586,14	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. pellita</i>
	36	585,85	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E.urophylla</i>
	57	585,80	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	29	580,61	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	34	579,77	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	49	579,54	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	27	579,35	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E urophylla</i>
	25	578,66	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	16	578,18	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
Teor Lignina	54	32,31	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. pellita</i>
	7	31,92	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	16	31,64	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	37	31,63	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	53	31,62	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	20	31,61	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urpohylla</i>
	24	31,53	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	17	31,51	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	42	31,50	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	15	31,49	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
Teor de Extrativos	30	7,45	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. pellita</i>
	29	7,39	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	49	7,19	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	57	7,08	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	37	7,07	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	28	7,07	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	54	7,06	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. pellita</i>
	38	7,04	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	36	6,95	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	26	6,86	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
CAP	18	54,42	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	41	49,15	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	20	48,26	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	19	48,12	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	55	47,56	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	45	46,93	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	10	46,66	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>
	37	46,34	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
	50	45,92	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
1	45,80	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. urophylla</i>	

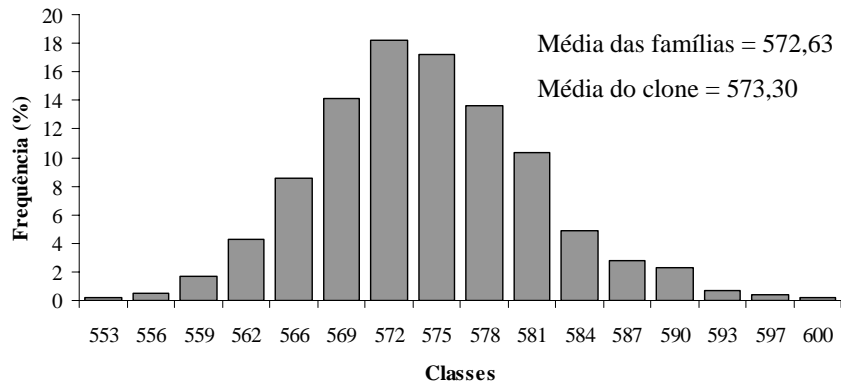


FIGURA 1C Distribuição de frequência dos valores genotípicos ( $\mu + g$ ) ao nível de indivíduos obtidos na análise conjunta de locais para característica densidade básica ( $\text{kg/m}^3$ ) avaliada no testes de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses.

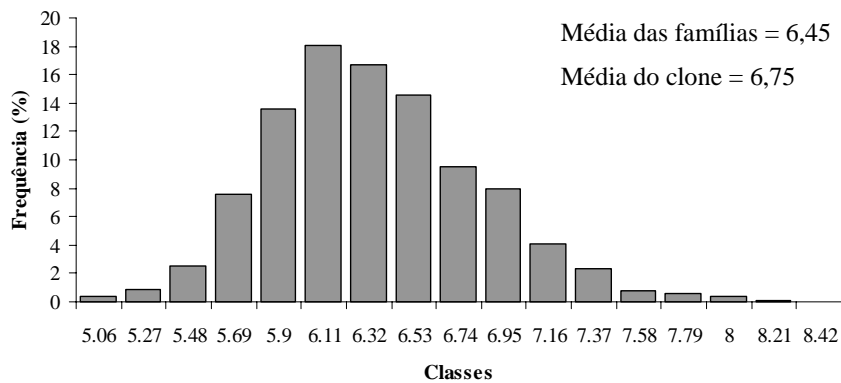


FIGURA 2C Distribuição de frequência dos valores genotípicos ( $\mu + g$ ) ao nível de indivíduos obtidos na análise conjunta de locais para teor de extrativos (%) avaliada no testes de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses.

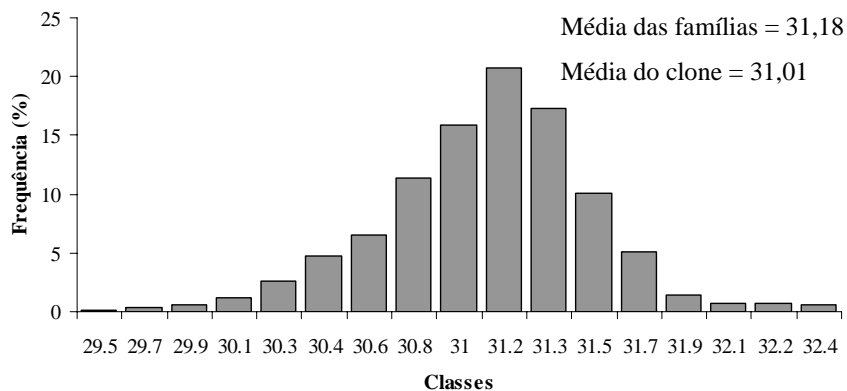


FIGURA 3C Distribuição de frequência dos valores genotípicos ( $\mu + g$ ) ao nível de indivíduos obtidos na análise conjunta de locais para teor de lignina (%) avaliada no testes de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses.

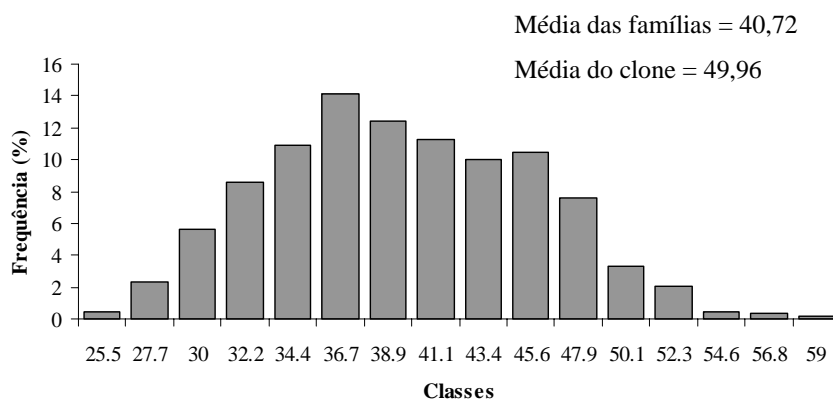


FIGURA 4C Distribuição de frequência dos valores genotípicos ( $\mu + g$ ) ao nível de indivíduos obtidos na análise conjunta de locais para CAP (cm) avaliada no testes de progênes de irmãos germanos de *Eucalyptus* spp., aos 84 meses.