

**MELHORAMENTO GENÉTICO DO *Eucalyptus*  
PARA BIOMASSA FLORESTAL E QUALIDADE  
DO CARVÃO VEGETAL**

**MARIA CAROLINA GASPAR BOTREL**

**2006**

MARIA CAROLINA GASPAR BOTREL

**MELHORAMENTO GENÉTICO DO *Eucalyptus* PARA  
BIOMASSA FLORESTAL E QUALIDADE DO CARVÃO  
VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Florestas de Produção, para a obtenção do título de “Mestre”.

**Orientador:**

Prof. Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006

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

Botrel, Maria Carolina Gaspar

Melhoramento genético do *Eucalyptus* para a biomassa florestal e  
qualidade do carvão vegetal / Maria Carolina Gaspar Botrel. -- Lavras :  
UFLA, 2006.

68 p. : il.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Eucalipto. 2. Melhoramento genético vegetal. 3. Carvão vegetal. 4.  
Seleção. 5. Dimensão de fibra. 6. Propriedade física. 7. Propriedade  
mecânica. 8. Propriedade química. 9. Biomassa florestal. I. Universidade Federal  
de Lavras. II. Título.

CDD-634.97342

MARIA CAROLINA GASPAR BOTREL

**MELHORAMENTO GENÉTICO DO *Eucalyptus* PARA  
BIOMASSA FLORESTAL E QUALIDADE DO CARVÃO  
VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Florestas de Produção, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 16 de fevereiro de 2006.

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho UFLA

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva UFLA

Prof. Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita”.

Mahatma Gandhi

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por ter feito tudo ser possível.

Às minhas duas mães, Dila e Luciana, pelo amor em mim depositado, confiança e pela paciência nas horas em que eu estava mais “aborrecida” e precisando de compreensão. Minha eterna gratidão.

Ao meu eterno amor Cleverton que mesmo longe, sempre me deu forças para nunca desistir. Receba sempre o meu amor.

Aos meus irmãos, Júlio, Gisela (inclusive pelos almoços das terças-feiras), Silvia e Virgílio, que sempre torceram e acreditaram em mim. Vocês estarão sempre no meu coração.

Ao meu pai e minha tia Altair, pelos bons momentos vividos juntos.

À minha família de forma geral: tias, sobrinhos e, especialmente, aos meus cunhados Rogério e Luizinho.

Ao professor Paulo Trugilho, que foi uma pessoa maravilhosa e essencial no desenvolvimento e conclusão deste trabalho. Sempre vou lembrar com admiração de sua disponibilidade e grande sabedoria. Meus eternos agradecimentos e sinceros votos de felicidade;

Ao professor Rosado, por ter me dado a oportunidade de realizar este trabalho e pela confiança depositada. Desejo muita saúde e felicidade para o senhor.

À professora Dulcinéia, serei eternamente grata pelo apoio na hora em que mais precisei de coragem para seguir em frente. Desejo muita paz no seu coração.

Ao professor José Reinaldo, pela enorme disponibilidade, valiosas considerações que contribuíram para a melhoria deste trabalho e pelo exemplo de pessoa sensata que é.

À Capes, pela bolsa de estudos.

A Carvovale, pela concessão do material utilizado no estudo.

A todos os professores do Departamento de Ciências Florestais, por todo os ensinamentos transmitidos ao longo desses anos.

Aos meus eternos amigos do Laboratório de Melhoramento Florestal, Anderson, Marcinha, Cristiane, Evânia, Alison, Fábio, Mirian e Joema, pelos risos e sorrisos que fizeram cada dia ser diferente e especial;

Ao Bruno, sempre fiel nas horas de trabalho, meu muito obrigada.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia da Madeira, principalmente Fran, Marina, Polly, Claudinéia, Adriana e ao Beto e Clair pelos ensinamentos.

Aos amigos da pós-graduação, em especial a Tathiana (amiga que eu conquistei na pós-graduação), Adauta e Elvis.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais, Chica, Terezinha, Rose, Gláucia, Rosinha (Miss), Claret, Sheila, Nice, Lu e D. Regina.

Às eternas amigas Kênia, Sarah, Daniella (pelas inúmeras caronas) e Neusa, que sempre estiveram ao meu lado para discutir assuntos “extracurriculares”;

Enfim, a todos que deram uma parcela de contribuição para a conclusão deste trabalho e cujos nomes foram omitidos.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO GERAL.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
<b>CAPÍTULO 1: MELHORAMENTO GENÉTICO DO <i>Eucalyptus</i> PARA BIOMASSA FLORESTAL E QUALIDADE DA MADEIRA</b>	 5
RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1 Material biológico.....	10
2.2 Local de experimentação.....	10
2.3 Amostragem.....	11
2.4 Propriedades avaliadas na madeira.....	11
2.4.1 Propriedades físicas.....	11
2.4.1.1 Densidade básica e seca e massa seca estimada.....	11
2.4.1.2 Retratibilidade da madeira.....	12
2.4.2 Análise química.....	13
2.4.3 Dimensões das fibras.....	13
2.4.4 Propriedades mecânicas.....	14
2.5 Análises estatísticas.....	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
3.1 Características de crescimento.....	18
3.2 Propriedades físicas.....	21
3.2.1 Densidade básica e seca e massa seca estimada.....	21
3.2.2 Retratibilidade da madeira.....	25
3.3 Análise química.....	30
3.4 Dimensões das fibras.....	34
3.5 Propriedades mecânicas.....	37
4 CONCLUSÕES.....	42
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
<b>CAPÍTULO 2: MELHORAMENTO GENÉTICO DAS PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL DE <i>Eucalyptus</i></b>	 49
RESUMO.....	49



ABSTRACT.....	50
1 INTRODUÇÃO.....	51
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1 Carbonização da madeira.....	53
2.2 Características avaliadas no carvão vegetal.....	54
2.2.1 Rendimentos gravimétricos.....	54
2.2.2 Análise química imediata.....	54
2.2.3 Densidade básica relativa aparente.....	54
2.3 Análises estatísticas.....	54
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
3.1 Rendimentos do processo de carbonização.....	57
3.2 Análise química imediata do carvão vegetal e densidade básica relativa aparente.....	60
4 CONCLUSÕES.....	64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	65
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

## RESUMO GERAL

BOTREL, M.C.G. **Melhoramento genético do *Eucalyptus* para a biomassa florestal e qualidade do carvão vegetal**. 2006. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>1</sup>.

Com o intuito de auxiliar o estabelecimento de estratégias de um programa de melhoramento genético da qualidade da madeira e do carvão vegetal este estudo teve como objetivos: i) estimar os parâmetros fenotípicos e genotípicos para as características da madeira e do carvão vegetal, ii) estimar os ganhos genéticos no processo de seleção e iii) selecionar clones de *Eucalyptus*, por meio das características da madeira e do carvão vegetal. Foram utilizados nove clones híbridos de *Eucalyptus* cultivados no município de Taiobeiras, norte de Minas Gerais. Utilizaram-se toras de 3 m de comprimento para a confecção dos corpos-de-prova. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 3 repetições. Os parâmetros fenotípicos e genéticos foram estimados a partir dos quadrados médios. Foi estimado o ganho genético para as características que apresentaram significância. Para as características de crescimento e propriedades mecânicas da madeira, o efeito de clone foi significativo. Exceto para a contração volumétrica, as propriedades físicas e químicas da madeira apresentaram efeito de clone significativo. O efeito de clone foi significativo para a largura das fibras e a espessura da parede celular. Nas características avaliadas no carvão vegetal, observou-se que o efeito de clone foi significativo para o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, rendimento em carbono fixo e densidade básica relativa aparente. Os ganhos genéticos obtidos na madeira e no carvão vegetal variaram de 4,16% para o rendimento em carbono fixo a 27,58% para a massa seca da madeira. Os clones com maior número de características favoráveis foi o FGA-30, destacando-se nas características de crescimento, propriedades físicas e químicas da madeira e rendimentos em carvão vegetal; o FGA-49, com destaque nas propriedades físicas e o I-380 que se destacou nas propriedades mecânicas da madeira. Acréscimos superiores poderão ser alcançados pela hibridação desses clones com outros que apresentaram maior taxa de crescimento. Com a seleção dos clones FGA-30 e FGA-34, foi previsto um acréscimo de 53,44m<sup>3</sup> na produção de carvão vegetal, o que corresponde a uma receita adicional prevista de R\$4.007,95 em cada hectare de floresta plantada.

i

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Orientador), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-Orientador).

## ABSTRACT

BOTREL, M.C.G. **Genetic improvement of *Eucalyptus* for the forest biomass and quality of the charcoal.** 2006. 68 p. Dissertation (Masters Degree in Forest Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.<sup>1</sup>

To help the establishment of strategies for a genetic breeding program for wood quality and charcoal, the objectives of the present study were: *i*) to estimate the phenotypical and genetic parameters for the wood characteristics and charcoal, *ii*) to estimate genetic gains in the selection process, *iii*) to select clones of *Eucalyptus* hybrids through wood characteristics and charcoal. Nine *Eucalyptus* clones, cultivated at the region of Taiobeiras, located at the North of Minas Gerais State were analysed. Three meters long logs were utilized for specimens preparation. The experimental design used was the totally randomized, with three repetitions. From the expected mean square the phenotypical and genetic parameters were estimated. It was estimated the genetic gain for the characteristics that showed statistical significant differences. The effect of clone was significant for both the growth characteristics and mechanical properties of wood. Except for the volumetric shrinkage, the physical and chemical wood properties showed effect significant of clone. The effect of clone was significant for the fiber width and fiber walls thickness. For the charcoal characteristics, it was observed that the effect of clone was significant for charcoal yield, carbon yield and apparent relative density. The obtained genetic gains for both wood and charcoal changed from 4.16% for carbon yield to 27.58% for wood dry mass. The clones with higher number of favorable characteristics were the FGA-30, with emphasis on its growth characteristics, physical and chemical wood properties and charcoal yield; the clone FGA-49, with emphasis on the physical properties and clone I-380, with emphasis on the mechanical properties. Higher increments can be reached by the hybridization of these clones with others that presented higher growth rate. With the selection of the clones FGA-30 and FGA-34 it was predicted an increment of 53.44 m<sup>3</sup> in the production of charcoal, corresponding to a predict additional income of R\$4,007.95 for each hectare of planted forest.

ii

---

<sup>1</sup> Advising Committee: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Adviser), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-adviser).

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Entre os diversos gêneros de espécies arbóreas de interesse econômico plantadas comercialmente nas zonas tropicais e subtropicais do globo, inegavelmente, o *Eucalyptus* está entre os mais bem sucedidos, em face do rápido crescimento e da grande diversidade de espécies. Zobel & Jett (1995) relatam que a alta variabilidade do gênero *Eucalyptus*, em termos do número de materiais genéticos existentes e associado a amplas diferenças nas características da madeira, permite que inúmeras aplicações tecnológicas sejam possíveis.

O Brasil possui clima favorável ao reflorestamento e, principalmente em função disso, é um dos países com uma das maiores áreas reflorestadas do planeta, com aproximadamente 3.000.000 ha, o que, segundo Flynn & Shield (1999), corresponde a 22% do reflorestamento mundial com eucaliptos.

O melhoramento genético aplicado ao gênero *Eucalyptus* apresenta-se como uma opção potencial para o aumento da produção de madeira. Isso é possível não apenas pela capacidade produtiva e alta adaptabilidade das espécies, mas, principalmente, pela variabilidade inter e intra-específica que expressa diversificadas propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas da madeira, tornando possível atender aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira. A existência de variações quantitativas e qualitativas entre indivíduos é de grande interesse para o melhorista, já que a variabilidade constitui matéria-prima para seu trabalho.

Os pontos fundamentais na implementação de um programa de melhoramento são a existência da variabilidade e o grau de controle genético na expressão das características. A existência desses pontos em níveis satisfatórios gera ganhos quantitativos expressivos nas características sob seleção. Contudo, dois preceitos nessa ação devem ser ressaltados: o primeiro é que a seleção apresenta respostas efetivamente favoráveis, se recair sobre diferenças herdáveis

e o segundo é que a seleção não cria variabilidade, atuando apenas sobre a já existente (Allard, 1971).

A seleção de árvores em programa de melhoramento foi baseada nos valores fenotípicos das características dendrométricas, ou seja, DAP, altura e volume. Esse procedimento, porém, não garantiu a seleção de genótipos com características tecnológicas desejadas para usos industriais da madeira. Por isso, os estudos das propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas são de importância fundamental para a seleção de materiais genéticos que produzam madeira de qualidade e que garanta produtos finais com superioridade destacada.

Dentre as propriedades físicas da madeira, a densidade básica é uma das mais importantes, por se tratar de um parâmetro de qualidade muito utilizado em diversos setores florestais. Tal importância está no fato de que a densidade está relacionada a várias outras características da madeira. Outra propriedade física importante da madeira é a retratibilidade ou instabilidade dimensional. Skaar (1988) define essa propriedade como o fenômeno decorrente da variação dimensional, em função da troca de umidade do material com o meio que o envolve, até que seja atingida uma condição de equilíbrio.

As propriedades mecânicas da madeira representam a expressão do comportamento da madeira ou objetos de madeira quando sujeitos à ação de esforços externos e internos, como de sua própria massa, por exemplo. O conhecimento destas propriedades constitui um dos fundamentos básicos para a determinação dos possíveis usos a que se pode destinar determinada madeira, principalmente na construção civil.

Sob o aspecto da anatomia, as dimensões, a distribuição e o arranjo estrutural das células podem conferir propriedades específicas à madeira. Nota-se, portanto, que os estudos dessas propriedades são fundamentais para a sua adequação a um determinado uso final. Já o conhecimento da natureza química da madeira possibilita o entendimento de seu comportamento como matéria-

prima para diversos usos, já que os constituintes químicos estão diretamente relacionados com as suas propriedades. Por isso, o conhecimento da variabilidade contida e a forma de expressão de tais propriedades são fundamentais no processo de seleção ou melhoramento genético florestal.

Os trabalhos que envolvem o estudo das características específicas da madeira para atender a um determinado produto também merecem atenção especial, já que a qualidade do produto final deve unir de forma harmoniosa a área florestal com a industrial, cujo objetivo principal deve ser formar florestas produtivas e com alto valor tecnológico.

Assim, o estudo das propriedades do carvão vegetal é de importância fundamental na seleção de clones que possuam um melhor desempenho para essa finalidade. O conhecimento dos rendimentos e das propriedades ligadas ao carvão vegetal vai direcionar a escolha do material que se destina à conversão energética.

Dessa forma, visando auxiliar o estabelecimento de um programa de melhoramento genético da qualidade da madeira e do carvão vegetal, os objetivos desse estudo foram:

- selecionar clones de *Eucalyptus*, de acordo com as características dendrométricas e propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas da madeira;
- selecionar clones de *Eucalyptus* por meio das características do carvão vegetal, visando à otimização da produção e qualidade do carvão vegetal.

## 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

FLYNN, B.; SHIELD, E. ***Eucalyptus* progress in higher value utilization: a global review**. Tacoma: Robert Flynn & Associates, 1999. 212 p.

SKAAR, C. **Wood-water relations**. Berlin, 1988. 263 p.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337p.

## CAPÍTULO I

### MELHORAMENTO GENÉTICO DO *Eucalyptus* PARA A BIOMASSA FLORESTAL E QUALIDADE DA MADEIRA

#### RESUMO

BOTREL, M. C. G. **Melhoramento genético do *Eucalyptus* para a biomassa florestal e qualidade da madeira.** 2006. Cap. I, 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>1</sup>.

Os objetivos deste capítulo foram: i) estimar parâmetros fenotípicos e genotípicos para as características de crescimento e propriedades da madeira, ii) estimar os ganhos genéticos e iii) selecionar clones de *Eucalyptus*, por meio de características de crescimento e propriedades da madeira. Foram utilizados nove clones híbridos de *Eucalyptus* cultivados no município de Taiobeiras, norte de Minas Gerais. Utilizaram-se toras de 3 m de comprimento para a confecção dos corpos-de-prova. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 3 repetições. Os parâmetros fenotípicos e genéticos foram estimados a partir dos quadrados médios. Foi estimado o ganho genético para as características que apresentaram efeito significativo de clone. Para as características de crescimento e mecânicas da madeira, o efeito de clone foi significativo. Exceto para a contração volumétrica, as propriedades físicas e químicas da madeira apresentaram efeito de clone significativo. O efeito de clone foi significativo para a largura das fibras e a espessura da parede celular. Os ganhos genéticos previstos para as características de crescimento DAP, altura total e volume individual foram de 12,00%, 6,91% e 24,92%. Para densidade básica, massa seca e densidade seca, os ganhos foram de 6,98%, 27,58% e 6,89%. Para a contração tangencial e radial, a seleção previu uma redução de 11,02% e 15,63%, respectivamente. Para as características químicas, os ganhos foram de 25,72% e 9,36%, para teor de cinzas e de lignina e 33,46% para a massa estimada de lignina na madeira. Para largura das fibras, o ganho previsto foi de 7,87% e 13,86%, para a espessura da parede celular. Para as propriedades mecânicas, os ganhos estimados foram de 8,63%, para o módulo

v\_\_\_\_\_

<sup>1</sup>Comitê Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Orientador), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-Orientador).



de elasticidade à compressão paralela às fibras, 9,50% para resistência à compressão paralela às fibras, 14,79% para o módulo de elasticidade à flexão estática e 10,26% para o módulo de ruptura a flexão.

## CHAPTER I

### GENETIC IMPROVEMENT OF *Eucalyptus* FOR THE FOREST BIOMASS AND QUALITY OF THE WOOD

#### ABSTRACT

BOTREL, M.C.G. **Genetic improvement of *Eucalyptus* for forest biomass and wood quality**. 2006. 68 p. Dissertation (Masters Degree in Forest Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.<sup>1</sup>

The objectives of this chapter were: i) to estimate phenotypical and genetic parameters for growth characteristics and wood properties, ii) to estimate genetic gains, and iii) to select clones of *Eucalyptus*, by means of growth characteristics and wood properties. Nine *Eucalyptus* clones, cultivated at the region of Taiobeiras, located at the North of Minas Gerais State, were analysed. Three meters long logs were utilised for specimens preparation. The experimental totally randomized design was used, with three repetitions. From the expected mean square, the phenotypical and genetic parameters were estimated. It was estimated the genetic gain for the characteristics that showed significant differences. For growth characteristics and mechanical properties of wood the effect of clone was significant. Except for the volumetric shrinkage, the physical and chemical wood properties showed significant effect of clone. The effect of clone was also significant for the fiber width and of fiber walls thickness. For growth characteristics, the obtained predict genetic gains were: breast diameter height = 12.00%, total height = 6.91% and individual volume = 24.92%. For physical wood properties, the obtained predict genetic gains were: basic density = 6.98%, wood dry mass = 27.58%, dry density = 6.89%, tangential shrinkages = 11.02% and radial shrinkages = 15.63. For fiber width the genetic gain was 7.87%, while for fiber walls thickness the gain was 13.86%. For chemical wood properties, the obtained predict genetic gains were: ash content = 25.72, lignin content = 9.36% and wood mass lignin = 33.46%. For mechanical properties, the obtained predict genetic gains were: modulus of elasticity in compression parallel to the grain = 8.63%; compression strength parallel to the grain = 9.50%; modulus of elasticity in static bending = 14.79% and modulus of rupture = 10.26%.

vii—

<sup>1</sup> Advising Committee: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Adviser), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-adviser).

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo, por ser formada de diversos tipos de células capacitadas a desempenhar funções específicas e também por ser constituída de uma série de compostos orgânicos e inorgânicos, além de sofrer influência de fatores que afetam o desenvolvimento das árvores, tais como clima, solo, sítio e fatores genético. Isso contribui para o fato dessa matéria-prima ser muito requisitada, já que é capaz de atender aos mais diferentes tipos de uso.

A seleção de clones superiores dentro de um programa de melhoramento genético florestal sempre foi baseada nos valores fenotípicos das características dendrométricas, ou seja, DAP, altura e volume. Esse procedimento, porém, não garantiu a seleção de genótipos com características tecnológicas desejadas para usos específicos. Sendo assim, o estudo das características de crescimento e das propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas são de importância fundamental para a seleção de materiais superiores que visem atender a uma determinada finalidade.

Recentemente, inúmeros trabalhos têm sido realizados com o objetivo de avaliar as características de crescimento e propriedades da madeira. Caixeta et al (2003), Moura (2000), Oliveira (2005) e Xavier (2001), investigam, por meio das propriedades da madeira, os clones que mais se destacaram, direcionando uma seleção que maximize a adequação da madeira ao produto final a qual ela se destina.

Conhecer a variabilidade contida e a forma de sua expressão é fundamental no processo de seleção ou melhoramento genético florestal. Diante disso, os objetivos foram:

- estimar os parâmetros fenotípicos e genotípicos para as características dendrométricas e propriedades físicas, químicas, anatômicas e mecânicas da madeira;
- estimar os ganhos genéticos para todas as características e propriedades da madeira;
- caracterizar e selecionar clones de *Eucalyptus*, por meio de características dendrométricas e propriedades da madeira.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material biológico

Para a realização do presente estudo, foram utilizados 9 clones híbridos de *Eucalyptus* spp. (Tabela 1.1) com 78 meses, plantados no espaçamento 2 m x 3 m. As árvores selecionadas foram abatidas, devidamente identificadas e amostradas. Escolheram-se árvores que apresentassem o fuste linear e boas condições fitossanitárias. Esta pré-seleção foi feita com o intuito eliminar fontes de variação que não eram objetivo do estudo. As características de crescimento, diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume total (VT) sem casca foram obtidas na cubagem rigorosa.

TABELA 1.1 Clones híbridos de *Eucalyptus* spp. avaliados aos 78 meses de idade.

Clone	Cruzamentos
FGA-49	<i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i>
FGA-35	<i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i>
FGA-34	<i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i>
FGA-30	<i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i>
FGA-50	<i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i>
I-953	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
I-601	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
I-380	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>
I-249	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>

### 2.2 Local de experimentação

Os clones foram provenientes da Empresa Carvovale, localizados no município de Taiobeiras, região norte de Minas Gerais. O município está situado a 15°48'S de latitude, longitude de 42°13'W, a oeste de Greenwich e altitude média de 1.090 m. Apresenta uma temperatura média anual de 24°C e precipitação média anual de 827,27 mm.

### **2.3 Amostragem**

A avaliação destrutiva foi realizada em três árvores por clone relacionado. Após o abate das árvores, retirou-se uma tora de 3 m de comprimento, compreendendo o intervalo de 0,30 a 3,3 m da altura da árvore. As toras foram transportadas para a Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da madeira (DCF-UFLA), onde se retirou um pranchão central de 8 cm de espessura. Esse pranchão foi utilizado para a retirada dos corpos-de-prova necessários aos ensaios destrutivos realizados na madeira.

As amostras, para as análises químicas e anatômicas (dimensões das fibras) e os corpos-de-prova, para os testes físico-mecânicos, foram retirados no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF-UFLA).

### **2.4 Propriedades avaliadas na madeira**

#### **2.4.1 Propriedades físicas**

##### **2.4.1.1 Densidade básica e seca e massa seca estimada**

Foram determinadas as densidades, básica e seca da madeira, de acordo com o método de imersão descrito por Vital (1984).

Os corpos-de-prova foram confeccionados com dimensões 2,5 x 2,5 x 10 cm. Depois de preparados, os corpos-de-prova foram colocados em água e mantidos sob vácuo, até atingirem a completa saturação.

O volume (cm<sup>3</sup>) saturado foi determinado utilizando-se água. Em seguida, as amostras foram secas em estufa de circulação de ar a  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Posteriormente, determinou-se o volume seco, sendo o mercúrio empregado como líquido deslocado. A densidade básica foi calculada pela relação entre massa seca da amostra e o seu volume saturado. A densidade seca foi obtida pela divisão da massa seca e o volume seco. A massa seca individual da árvore foi obtida multiplicando-se a densidade básica e o volume sem casca obtido de cada árvore-amostra.

#### 2.4.1.2 Retratibilidade da madeira

Para a determinação das contrações da madeira, foi utilizada a norma ASTM D143 – 94 (ASTM, 1997) nos mesmos corpos-de-prova utilizados para a determinação da densidade básica.

As medições das dimensões lineares, na direção tangencial e radial foram obtidas diretamente nos corpos-de-prova, em pontos previamente demarcados, por meio de um paquímetro digital, com precisão de  $\pm 0,01$  mm. Essas medições foram obtidas nos corpos-de-prova, sob duas condições de umidade: completamente saturados e secos em estufa, até 0% de umidade.

Os volumes saturados dos corpos-de-prova foram determinados pelo método de imersão, baseado na variação da massa do líquido, sendo utilizada a água. Os volumes dos corpos-de-prova, após secagem, também foram calculados pelo método de imersão, porém, o líquido utilizado foi o mercúrio. Teve-se o cuidado de monitorar a elevação da temperatura do mercúrio para efetuar a devida correção de valores de sua densidade ao longo do ensaio.

As contrações tangencial, radial e a volumétrica, foram calculadas como porcentagem da variação em relação à dimensão inicial, conforme as Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$CT = \left( \frac{T_I - T_F}{T_I} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que:

CT: contração tangencial (%);

$T_I$ : dimensão inicial na direção tangencial (mm);

$T_F$ : dimensão final na direção tangencial (mm).

$$CR = \left( \frac{R_I - R_F}{R_I} \right) \times 100 \quad (2)$$

Em que:

CR: contração radial (%);

R<sub>I</sub>: dimensão inicial na direção radial (mm);

R<sub>F</sub>: dimensão final na direção radial (mm).

$$CV = \left( \frac{V_I - V_F}{V_I} \right) \times 100 \quad (3)$$

Em que:

CV: contração volumétrica (%);

V<sub>I</sub>: volume inicial, na condição de saturação (mm<sup>3</sup>);

V<sub>F</sub>: volume final, da amostra totalmente seca (mm<sup>3</sup>).

#### **2.4.2 Análise química**

As análises químicas foram feitas para determinar o teor de lignina e cinzas da madeira. O teor de lignina (Klason) foi determinado de acordo com o procedimento descrito por Gomide & Demuner (1986). O teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico foi determinado por meio da espectrofotometria, tendo sido utilizada a equação descrita por Goldschimid (1971). A lignina total foi determinada como sendo a soma das ligninas solúvel e insolúvel. A massa estimada de lignina por árvore foi calculada multiplicando a massa seca de cada árvore-amostra e o teor de lignina total.

O teor de cinzas da madeira foi determinado de acordo com a norma Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (1974) m 11/77.

#### **2.4.3 Dimensões das fibras**

Para quantificar o comprimento, a largura das fibras, o diâmetro do lume e a espessura da parede celular, foram retirados pequenos fragmentos de madeira e colocados em solução macerante. A preparação do macerado foi feita



de acordo com o método de Nicholls e Dadswell, descrito por Ramalho (1987). Este método, conhecido como método do peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), utiliza como solução macerante água oxigenada 30% e ácido acético glacial, na proporção 1:1. O tempo de maceração foi de 17 horas em estufa ajustada a 60°C. Foram então preparadas lâminas provisórias para efetuarem-se as medições. Foi medido um total de 30 fibras por árvore-amostra. A quantificação anatômica dos diferentes clones de eucaliptos foi realizada com o microscópio óptico “Olympus BX 41” acoplado ao sistema de análise de imagem de concepção canadense “Win CELL” versão Pro-plus (WinCellPro – Regent Instruments). As imagens foram coletadas com o auxílio de uma câmara de captura digital e transferidas para o microcomputador, onde foram realizadas as medições.

#### **2.4.4 Propriedades mecânicas**

Os testes mecânicos realizados neste estudo foram o de compressão paralelas às fibras e a flexão estática.

Antes de serem testados, os corpos-de-prova foram acondicionados em sala de climatização sob temperatura de  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(60 \pm 5)\%$ , até atingirem massa constante. Dessa forma, os testes foram realizados estando a madeira em seu equilíbrio higroscópico, com cerca de 12% de umidade.

Os testes foram realizados na Máquina Universal de Ensaios, modelo Emic DL 30.000, disponível no setor de Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais (UFLA) e atenderam às determinações da ASTM (1997), seguindo o procedimento da norma D 143-94 (*Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber*). As condições dos testes encontram-se resumidas na Tabela 1.2.

TABELA 1.2 Condições dos testes mecânicos realizados seguindo a norma D 143 – 94 (ASTM, 1997).

Teste	Propriedade	Dimensões do corpo-de-prova (mm)	Velocidade do teste
Flexão estática	- módulo de ruptura - módulo de elasticidade	410 x 25 x 25	1,3 mm/min
Compressão Paralela às fibras	- resistência à compressão paralela às fibras - módulo de elasticidade	100 x 25 x 25	0,566 mm/min

## 2.5 Análises estatísticas

A análise estatística para as características de crescimento e da qualidade da madeira foi realizada utilizando-se o software Genes, versão 2.1, 2004.

As análises de variância para estas características seguiram o delineamento inteiramente casualizado, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$ : observação do  $i$ -ésimo clone na  $j$ -ésima repetição (ramete);

$\mu$ : média geral;

$C_i$ : efeito do  $i$ -ésimo clone ( $i = 1, 2, \dots, 9$ ), efeito fixo;

$e_{ij}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$ .

A estrutura de análise de variância, seguindo este modelo estatístico é apresentada na Tabela 1.3.

TABELA 1.3 Estrutura da análise de variância para as características da qualidade da madeira.

Fonte de variação	Grau de liberdade	E (Q.M.)	Q.M.	F
Clone	(C - 1)	$\hat{\sigma}_e^2 + r \hat{\phi}_c^2$	Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> ÷ Q <sub>2</sub>
Erro	(C - 1)r	$\hat{\sigma}_e^2$	Q <sub>2</sub>	

Pela esperança dos quadrados médios da análise de variância foram estimados os seguintes parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais, conforme Cruz (1997):

- a) **Variância fenotípica**  $\hat{\sigma}_f^2 = \frac{Q_1}{r}$
- b) **Variância ambiental**  $\hat{\sigma}_e^2 = Q_2$
- c) **Componente quadrático genotípico**  $\hat{\phi}_c^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{r}$
- d) **Coefficiente de determinação genotípica**  $h_c^2(\%) = \frac{\hat{\phi}_c^2}{\hat{\sigma}_F^2} \times 100$
- e) **Coefficiente de variação genética**  $CV_c\% = \frac{\sqrt{\hat{\phi}_c^2}}{m\u00e9dia} \times 100$
- f) **Coefficiente de variação experimental**  $CV_e\% = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{m\u00e9dia} \times 100$

**g) Índice de variação**

$$Iv = Razão CVc / CVe$$

**h) Ganho esperado com a seleção**

$$\text{Ganho} = i \times \sqrt{\hat{\phi}_c^2} \times \sqrt{h_c^2} \times 100$$

em que:  $i$  = índice de seleção

Os ganhos foram previstos pela seleção de 2 clones em 9, seleção de 22,22%, que padroniza um índice de seleção de 1,3426, conforme a Tabela apresentada por Cotteril & Dean (1990).

Para comparação múltipla das médias, utilizou-se o teste de Scott-Knott.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Características de crescimento

A estimativa das características dendrométricas é de grande importância para o êxito dos programas de melhoramento florestal, já que relata a produção de um povoamento florestal. A seleção de características tecnológicas deve estar sempre aliada às características de crescimento, para que a seleção não caia apenas sobre materiais tecnologicamente superiores, mas também em materiais com maior produtividade, resultando, assim, em uma maior quantidade de matéria-prima e com qualidade superior.

A Tabela 1.4 apresenta a análise de variância realizada para clones de *Eucalyptus* spp. nas características diâmetro 1,30 m (DAP), altura total (HT) e volume individual estimado sem casca. Pode-se observar que o efeito de clones foi altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) para estas características. Segundo Lush (1964) a existência de variação genética indica a possibilidade de melhoramento desses caracteres e a obtenção de ganhos consideráveis com a seleção.

Os coeficientes de variação experimental revelam valores considerados de pequena a média magnitude para o DAP (6,29%), volume individual sem casca (13,98%) e altura total (3,79%), conforme indicado por Garcia (1989). Em geral, os resultados aqui encontrados para estas características estão em concordância com os comumente reportados na literatura, para as espécies do gênero *Eucalyptus*.

TABELA 1.4 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para diâmetro à altura do peito sem casca (DAP), altura total (HT) e volume sem casca em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios		
		DAP (cm)	HT (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
Clones	8	8,66**	6,31**	0,009**
Resíduo	18	1,09	0,85	0,001
Média		16,6	24,3	0,2448
CV <sub>e</sub> (%)		6,29	3,79	13,98
CV <sub>c</sub> (%)		9,56	5,54	20,46
$\sigma^2_f$		2,89	2,10	0,0029
$\sigma^2_e$		0,36	0,28	0,0004
$\phi^2_c$		2,52	1,82	0,002
$h^2_c$		87,40	86,47	86,52
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>		1,52	1,46	1,46
Ganho		1,99	1,68	0,0625
Ganho (%)		12,00	6,91	25,55

\*\*Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ ).

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho (%): ganho genético esperado com a seleção de 2 clones.

As estimativas das herdabilidades foram de magnitude alta para todas as características dendrométricas estudadas, sugerindo que esses caracteres sofreram pequena influência ambiental. Tolfo et al. (2005) encontraram valor de 69% para o coeficiente de herdabilidade na característica DAP, estudando clones de *Eucalyptus* spp. Paula (1995) trabalhando com famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* apresentou herdabilidades no sentido restrito de 49% para a característica DAP e 68% para a altura, valores estes inferiores ao encontrado no presente trabalho, já que se tratavam de estimativas no sentido restrito. Neste, trabalho as estimativas de herdabilidade com base em estudo clonal foram de 87,40% e 86,47% para DAP e altura total,

respectivamente. Para o volume individual sem casca, foi encontrado um coeficiente de herdabilidade de 86,52%, valor próximo ao apresentado por Moura (2000), estudando a mesma característica ( $h^2_c = 96,23\%$ ).

Para os caracteres de crescimento, a relação  $CV_g/CV_e$ , foi superior à unidade, sendo obtidos valores de 1,52 para o DAP e 1,46, tanto para a altura como para o volume estimado. De acordo com Kageyama (1980) e Vencovsky (1978) a relação  $CV_g/CV_e$ , juntamente com a herdabilidade, é indicativo das possibilidades de ganhos genéticos com a seleção. Assim, a razão  $CV_g/CV_e$  maior que 1,0 indica condição favorável à seleção, conforme já mencionado, pois a variação genética supera a ambiental.

Os dados da Tabela 1.5 representam o desempenho médios dos clones para os caracteres analisados e o teste de comparação múltipla.

TABELA 1.5 Valores médios para diâmetro à altura do peito sem casca (DAP), altura total (HT) e volume sem casca comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância, em clones de *Eucalyptus* spp. aos 78 meses de idade.

Clone	DAP (cm)		HT (m)		Volume (m <sup>3</sup> )	
FGA-49	16,9	b	23,1	b	0,2500	c
FGA-35	14,9	c	23,7	b	0,2018	c
FGA-34	16,9	b	25,1	a	0,2865	b
FGA-30	20,4	a	24,2	b	0,3527	a
I-953	14,7	c	22,9	b	0,1891	c
I-601	16,5	b	26,9	a	0,2336	c
I-380	15,7	c	25,7	a	0,2224	c
I-249	15,9	c	22,6	b	0,1891	c
FGA-50	17,6	b	25,0	a	0,2781	b

\*médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

Os ganhos genéticos esperados com a seleção dos dois clones que possuem as maiores médias (Tabela 1.5) podem promover aumentos de 1,99 cm

no DAP, 1,68 m na altura e 0,0625 m<sup>3</sup> no volume individual das árvores da população melhorada.

Os clones selecionados que proporcionam aumentos de 12,00%, 6,91% e 25,55% nas respectivas características foram o FGA-30 e FGA-50, para o DAP, I-601 e I-380, para a altura total e FGA-30 e FGA-34, para o volume individual.

### **3. 2 Propriedades físicas**

#### **3.2.1 Densidade básica e seca e massa seca estimada**

A densidade básica é uma característica que vem sendo bastante estudada em programas de melhoramento genético da madeira. Este caráter tem grande importância, uma vez que é determinante para adequar o uso da madeira a diferentes finalidades. A massa seca é uma característica relacionada com a densidade básica da madeira, sendo de extrema importância a sua avaliação na seleção de clones, especialmente para finalidade energética. Segundo Stamm (1964) a quantidade de energia produzida está intimamente relacionada à massa seca. A densidade básica, juntamente com o volume de cada árvore, permite estimar a quantidade de madeira seca existente em uma determinada área.

A análise de variância realizada para os nove clones de *Eucalyptus* spp. para as características densidade básica e seca e massa seca estimada permite observar que o efeito de clone foi altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ), como apresentado na Tabela 1.6. Para as características densidade básica, massa seca e densidade seca, os coeficientes de variação experimental ( $CV_e$ ) foram de 4,49%, 17,30% e 5,03%, indicando que o delineamento experimental e ou a coleta de dados foram adequados e revelaram uma razoável acuracidade experimental. O coeficiente de variação experimental, para a densidade básica, está de acordo ao encontrado por Trugilho et al. (2001) estudando clones de *Eucalyptus grandis*. Para a característica massa seca da madeira, estes mesmos



autores observaram um coeficiente de variação experimental de 50,45%, valor bem superior ao do presente trabalho. Xavier (2001) obteve um coeficiente de variação experimental de 6,74% para a característica densidade seca, o que está de acordo com o encontrado no presente estudo. O coeficiente de variação experimental é uma medida bastante útil, que especifica a precisão dos dados experimentais e também permite comparar variáveis de natureza distintas.

TABELA 1.6 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para densidade básica (DB), densidade seca (DS) e massa seca (MS) em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios		
		DB (g/cm <sup>3</sup> )	DS (g/cm <sup>3</sup> )	MS (kg/árvore)
Clones	8	0,0033**	0,0058**	3032,91**
Resíduo	18	0,0006	0,0012	500,29
Média		0,525	0,679	129,25
CV <sub>e</sub> (%)		4,49	5,03	17,30
CV <sub>c</sub> (%)		5,71	5,76	22,48
$\sigma^2_f$		0,0011	0,0019	1010,97
$\sigma^2_e$		0,0002	0,0004	166,76
$\phi^2_c$		0,0009	0,0015	844,21
$h^2_c$		82,93	79,73	83,50
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>		1,27	1,15	1,30
Ganho		0,037	0,049	35,65
Ganho (%)		6,98	6,89	27,58

\*\*Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ ).

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho (%): ganho genético esperado com a seleção de 2 clones.

As médias observadas foram de 0,525 g/cm<sup>3</sup> para a densidade básica, 129,25 kg/árvore para a massa seca e 0,679 g/cm<sup>3</sup> para a densidade seca. Trugilho et al. (2001) encontraram valores inferiores para a massa seca

(85,88 Kg/árvore) em *E. grandis* com idade de 7 anos. Este resultado se deve, principalmente, pela diferença encontrada entre os volumes individuais das árvores. Os valores de densidade básica estão coerentes com aqueles encontrados por Oliveira et al. (2005) e Santos et al. (2003), estudando espécies do gênero *Eucalyptus*, possuindo, respectivamente 10 e 8 anos de idade. A estimativa da densidade básica, para os nove clones, variou de 0,477 g/cm<sup>3</sup> a 0,586 g/cm<sup>3</sup>. Essa diferenciação permite a classificação do material genético de baixa e média densidade. Os valores da densidade básica para alguns clones por exemplo, de 0,477 g/cm<sup>3</sup>, do I-953 e 0,508 g/cm<sup>3</sup>, do FGA-50, estão próximos aos citados na literatura e dentro dos limites de densidade recomendados para a utilização da madeira como fonte de matéria-prima para celulose e papel. Alta densidade pode causar alguns problemas, como tornar a penetração do licor na madeira mais difícil e, conseqüentemente, mais rejeitos podem ser gerados (Valente et al., 1992). Já clones como o FGA-49 (0,586g/cm<sup>3</sup>) pode ser utilizado para outros fins, como o energético, já que o uso de madeiras mais densas produz carvões mais adequados à utilização siderúrgica.

De maneira geral, madeiras mais leve são indicadas para o uso decorativo. Já onde as peças serradas são submetidas a esforços, o uso de madeiras densa é mais recomendado. Silva et al. (2005) em seu trabalho de usinagem da madeira de *Eucalyptus grandis*, encontraram melhor qualidade na operação de rasgo no canto do corpo-de-prova na região central, que possui menor densidade.

Pela Tabela 1.6 pode-se, ainda, observar os parâmetros genéticos e fenotípicos, obtidos a partir das esperanças dos quadrados médios da análise de variância. As estimativas de herdabilidade foram de elevada magnitude, sendo 82,93%, para a densidade básica, 83,50%, para massa seca e 79,73% para a densidade seca, demonstrando que essas características apresentam-se sob alto controle genético, possibilitando ganhos expressivos com a seleção.

A relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação experimental ( $CV_c/CV_e$ ) obtidos para essas três características foram maior que a unidade. Segundo Kageyama (1980) e Vencovsky (1978) esta relação é um importante indicador das possibilidades de sucesso na obtenção de ganho genético por meio da seleção, mostrando que a situação é favorável quando os valores são maiores que 1,0.

A capacidade de predição de ganhos genéticos a partir de um processo de seleção constitui-se em uma das grandes contribuições da genética quantitativa (Cruz & Regazzi, 1994). Sob essa premissa, a intensidade de seleção de 22,22% praticada neste estudo mostrou que o ganho obtido com a seleção direta em massa seca foi de 27,58%, correspondendo a um aumento médio de 35,65 kg/árvore.

Os ganhos obtidos com a seleção da característica densidade básica e densidade seca foram de 6,98%, e 6,89%, respectivamente, com a seleção de dois clones superiores. Este valor obtido para densidade básica foi um pouco inferior ao encontrado por Moura (2000), que obteve um ganho de 11,95%. O menor ganho encontrado para essa característica pode ser atribuído ao tipo de material utilizado no trabalho, na qual estes clones já tinham sido previamente selecionados para essa característica, resultando num menor ganho com a seleção.

Os resultados das comparações múltiplas para a densidade básica, massa seca e densidade seca estão apresentados na Tabela 1.7.

TABELA 1.7 Valores médios para densidade básica (DB), densidade seca (DS) e massa seca, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância, em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Clone	DB (g/cm <sup>3</sup> )	DS (g/cm <sup>3</sup> )	Massa seca (kg)
FGA-49	0,586 a	0,757 a	146,51 b
FGA-35	0,513 b	0,653 b	103,66 c
FGA-34	0,524 b	0,640 b	150,32 b
FGA-30	0,540 a	0,690 a	192,18 a
I-953	0,477 b	0,610 b	89,91 c
I-601	0,493 b	0,700 a	115,46 c
I-380	0,557 a	0,720 a	123,80 c
I-249	0,531 b	0,677 b	100,49 c
FGA-50	0,508 b	0,670 b	140,92 b

\* médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Para a densidade básica e seca, os clones selecionados foram FGA-49 e I-380, por apresentarem médias, respectivamente, de 0,586 e 0,557 g/cm<sup>3</sup>, para a densidade básica e 0,757 e 0,720 g/cm<sup>3</sup>, para densidade seca. Para massa seca, os clones selecionados foram FGA-30 e FGA-34, os mesmos selecionados pelo volume individual, apresentando médias de 192,18 e 150,32 kg. Isso demonstra que a maior participação na massa seca, neste estudo, foi decorrente do maior volume, uma vez que estes clones não apresentaram as maiores densidades básicas. Os clones selecionados para estas características sempre foram os que apresentaram as maiores médias, já que o objetivo foi o aumento da densidade básica, da massa seca e da densidade seca.

### 3.2.2 Retratibilidade da madeira

As madeiras de todas as espécies sofrem variações nas suas dimensões quando a umidade é alterada. Essas variações dimensionais ocorrem quando há flutuações na umidade da madeira abaixo da saturação das fibras. Sendo assim, a seleção de materiais que apresentem uma menor variação dimensional é a

forma mais adequada de minimizar um dos principais problemas para a utilização da madeira como produto sólido.

A Tabela 1.8 apresenta os resultados das análises de variância para a contração tangencial, radial e volumétrica, bem como as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos. Pela análise de variância pode-se verificar que o efeito de clone foi significativo para contração tangencial e radial ( $p \leq 0,01$ ), isso indica a possibilidade de realizar a seleção dos melhores genótipos, visando à redução da instabilidade dimensional da madeira.

TABELA 1.8 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para contração tangencial (CT), contração radial (CR) e contração volumétrica (CV), em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios		
		CT (%)	CR (%)	CV (%)
Clones	8	1,97**	2,23**	11,59 <sup>ns</sup>
Resíduo	18	0,39	0,46	6,29
Média		7,94	5,88	14,71
CV <sub>e</sub> (%)		7,81	11,52	17,04
CV <sub>c</sub> (%)		9,15	13,06	-
$\sigma^2_f$		0,65	0,74	-
$\sigma^2_e$		0,12	0,15	-
$\phi^2_c$		0,52	0,58	-
$h^2_c$		80,44	79,40	-
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>		1,17	1,13	-
Ganho		0,87	0,92	-
Ganho (%)		11,02	15,63	-

<sup>ns</sup> Não significativo.

\*\*Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ ).

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho: ganho genético esperado com a seleção de 2 clones.

Os valores médios para a contração tangencial, radial e volumétrica foram de, respectivamente, 7,94%, 5,88% e 14,71%. Valores superiores foram encontrados por Caixeta et al. (2003) avaliando essas propriedades em matrizes de eucalipto que apresentavam idades variando de 13 a 17 anos e Oliveira & Silva (2003) trabalhando com *Eucalyptus saligna* aos 16 anos de idade. Valores encontrados para as contrações são condizentes com os da literatura, como pode ser observado na Tabela 1.9.

TABELA 1.9 Contração tangencial (CT), contração radial (CR) e contração volumétrica (CV), encontradas por diferentes autores.

Material	CT (%)	CR (%)	CV (%)	Idade (anos)	Fonte
20 clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	9,85	5,96	15,42	10	Oliveira, 2005
20 progênies de <i>E. urophylla</i>	12,49	7,18	19,77	-	Scanavaca Junior & Garcia, 2004
7 clones de <i>Eucalyptus</i> sp.	8,9	4,9	13,5	5,5-10,5	Cruz et al., 2003
<i>Eucalyptus saligna</i>	14,83	7,67	26,00	16	Oliveira & Silva, 2003
44 genótipos de <i>Eucalyptus</i>	9,78	6,38	16,21	13-17	Caixeta et al., 2003
11 clones de <i>Eucalyptus</i>	9,0	5,0	12,2	6	Souza, 2002
18 clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	7,85	5,00	13,83	5,25	Xavier, 2001
10 clones de <i>Eucalyptus</i>	9,09	5,28	13,68	9	Moura, 2000

A variância causada pelo ambiente pode ter uma grande variedade de causa, e sua natureza depende muito do caráter e do organismo estudado. Falconer (1987) relata que esta variância é uma fonte de erro, reduzindo a precisão nos estudos genéticos, cabendo ao melhorista reduzi-la ao máximo pelo manejo ou delineamento apropriado do experimento. Uma das formas de verificar a precisão do experimento é avaliando o coeficiente de variação experimental. Neste estudo, a contração volumétrica foi a que apresentou o maior coeficiente de variação (17,04%), seguida pelas contrações radial (11,52%) e tangencial (7,81%). Os valores encontrados no presente trabalho estão de acordo com o encontrado na literatura e demonstram a correta coleta de dados, permitindo assim uma maior confiança nas estimativas dos parâmetros fenotípicos e genéticos estimados.

A maior parte da variância fenotípica foi constituída pela variância genética, refletindo em altos valores de herdabilidade, os quais foram de 80,44% para contração tangencial e 79,40% para contração radial, demonstrando que estas características são pouco influenciadas pelo ambiente. A relação  $CV_g/CV_e$ , que é um indicador do potencial de obtenção de ganhos com a seleção, foi de 1,17 para a contração tangencial, e de 1,13 para a contração radial.

Por meio do coeficiente de herdabilidade e da variância genética foram estimados os ganhos diretos. Estes ganhos foram de -11,02% para contração tangencial e -15,63% para contração radial. Os valores negativos proporcionam uma redução nos valores dessas características, uma vez que se busca uma madeira que apresente os menores valores possíveis de contrações, o que irá refletir na redução de sua instabilidade dimensional.

A Tabela 1.10 apresenta os valores médios e o teste de comparação múltipla realizado para as características contração tangencial, radial e volumétrica.

TABELA 1.10 Valores médios para contração tangencial (CT), contração radial (CR) e contração volumétrica (CV), comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância, em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Clone	CT (%)	CR (%)	CV (%)
FGA-49	7,90 b	6,49 a	15,35 a
FGA-35	7,44 b	4,65 b	12,52 a
FGA-34	8,64 a	6,96 a	14,18 a
FGA-30	6,90 b	5,07 b	14,74 a
I-953	9,34 a	5,56 b	16,49 a
I-601	7,78 b	5,40 b	13,38 a
I-380	7,76 b	5,84 b	13,06 a
I-249	7,01 b	5,71 b	13,80 a
FGA-50	8,69 a	7,24 a	18,82 a

\* médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

Verifica-se, pela Tabela 1.10, que os clones selecionados para a contração tangencial foram o FGA-30, com uma contração média de 6,90% e o I-249, apresentando uma contração de 7,01%. Para a contração radial, os clones selecionados foram o FGA-35 (4,65%) e o FGA-30 (5,07%). Os clones selecionados foram os que apresentaram as menores médias, ou seja, que possuem menores instabilidade dimensional e, conseqüentemente, estão menos sujeitos a empenamentos durante a fase de secagem. A seleção do clone FGA-30 permitirá a obtenção de um material para reprodução que produzirá madeira com baixos valores de contração tangencial e radial. Isso, após o abate e processamento da madeira, poderá gerar benefícios, em termos de rendimento da madeira serrada.



### 3.3 Análise química

A Tabela 1.11 apresenta os resultados das análises de variância para teor de cinzas e de lignina e da massa estimada de lignina na madeira, assim como as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos. Observa-se, que o efeito de clone foi significativo para as três características avaliadas.

TABELA 1.11 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para teor de cinzas na madeira (TCz), teor de lignina e massa estimada de lignina em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios		
		TCz (%)	Lignina (%)	Massa lignina (kg/árvore)
Clones	8	0,0065*	17,79**	362,85**
Resíduo	18	0,0025	2,74	48,27
Média		0,15	29,55	38,26
CV <sub>e</sub> (%)		33,03	5,60	18,16
CV <sub>c</sub> (%)		24,42	7,58	26,77
$\sigma^2_f$		0,0022	5,93	120,95
$\sigma^2_e$		0,0008	0,91	16,09
$\phi^2_c$		0,0013	5,02	104,86
$h^2_c$		62,12	84,61	86,70
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>		0,74	1,35	1,47
Ganho		0,04	2,77	12,80
Ganho (%)		25,72	9,36	33,46

\*\*Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ ).

\* Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ).

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho (%): ganho genético esperado com a seleção de 2 clones.

Os valores médios encontrados para o teor de cinzas e de lignina e da massa estimada de lignina na madeira foram de 0,15%, 29,55% e 38,26 kg/árvore. Tolfo et al. (2005) avaliaram clones de *Eucalyptus* spp. aos 6,6 anos

de idade e obtiveram valores médios semelhante para porcentagem de lignina (29,7%). Trugilho et al. (2001), trabalhando com *Eucalyptus* sp. na idade de 7 anos obtiveram uma média de 31,71% para o teor de lignina e 26,77 kg, para massa estimada de lignina. O teor de cinzas na madeira apresentado por Trugilho et al. (1997) foi de 0,34%, superior à média encontrada no presente estudo. Para a utilização de madeira na produção de carvão vegetal, a quantidade presente de cinzas deve ser a menor possível.

Os coeficientes de variação experimental ( $CV_e$ ) assumiram valores de 33,03%, 5,60% e 18,16% para teor de cinzas, de lignina e massa estimada de lignina na madeira, respectivamente. O  $CV_e$  para o teor de cinzas foi considerado alto, como também pode ser encontrado na literatura.

Para as características teor de lignina e massa estimada de lignina na madeira, foram encontradas altas estimativas de herdabilidade ( $h^2_c > 82\%$ ), sugerindo que estas características sofrem pequena influência ambiental. Altos valores de herdabilidade para o teor lignina também foram encontrados por Souza (2002) e Tolfo et al. (2005), confirmando que esta característica da madeira tem forte controle genético e pode ser considerada em programas de melhoramento genético. Para o teor de cinzas, o coeficiente de herdabilidade foi de 62,12%, demonstrando que a influência do ambiente na expressão dessa característica é mais evidente quando comparada ao teor de lignina e à massa estimada de lignina na madeira.

A estimativa dos parâmetros genéticos para as características teor de lignina e massa estimada de lignina na madeira é de suma importância para preciosas considerações, visto que a lignina é um componente químico muito importante de ser quantificado na madeira quando se deseja a obtenção de energia. A lignina é o componente que possui um lento processo de degradação térmica, comparado aos outros constituintes primários da madeira, proporciona maior rendimento em carvão vegetal. A quantificação da massa de lignina se

torna ainda mais relevante, já que leva em consideração a massa seca de madeira, o que permite obter a estimativa da quantidade de lignina por área de plantio. Para a seleção de materiais que se destinam à produção de celulose e papel, a quantificação da lignina também deve ter atenção especial, porém, neste caso, a seleção se dá em clones que possuem um menor teor deste constituinte na madeira. Valente et al. (1992) relatam que um baixo teor de lignina e um alto teor de carboidratos requererão condições menos severas de polpação e conduzirão a um alto rendimento gravimétrico em celulose. Madeiras com maiores teores de lignina exigirão um maior consumo de álcali durante a polpação, gerando maiores teores de sólidos para sua queima na caldeira (Santos, 2000).

A razão  $CV_o/CV_e$ , mostrou-se favorável à seleção das características teor de lignina e massa estimada de lignina na madeira, já que esta relação foi maior que 1,0. Já para o teor de cinzas, o índice de variação foi de 0,74.

A seleção de clones para o teor de lignina permite obter um ganho de 9,36%. Para a massa estimada de lignina na madeira, o ganho foi de 12,80 kg/árvore, o que é correspondente a um aumento de 33,46% nesta característica. Já para o teor de cinzas, mesmo com um índice de variação de 0,74, o ganho foi de 33,46%. Isso provavelmente ocorreu pela grande variação encontrada entre os clones, já que se observou uma variação para os teores de cinzas de 0,10% a 0,25%.

A Tabela 1.12 apresenta os valores médios e o teste de comparação múltipla realizado nas características teor de cinzas, de lignina e massa estimada de lignina na madeira. Apesar do teste de Scott-Knott (Tabela 1.12) não ser capaz de detectar diferenças significativas entre os clones para o teor de cinzas, a análise de variância demonstrou efeito de clones para esta característica e permitiu estimar os parâmetros genéticos que auxiliassem no processo de obtenção de ganhos genéticos.

TABELA 1.12 Valores médios do teor de cinzas na madeira, teor de lignina e massa estimada de lignina, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância, em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Clone	TCz (%)	Lignina (%)	Massa lignina (kg/árvore)
FGA-49	0,25 a	26,80 b	39,27 b
FGA-35	0,17 a	32,36 a	33,61 b
FGA-34	0,18 a	27,60 b	41,49 b
FGA-30	0,10 a	33,85 a	64,62 a
I-953	0,16 a	30,35 a	27,28 b
I-601	0,16 a	27,81 b	32,19 b
I-380	0,10 a	27,43 b	33,97 b
I-249	0,13 a	30,67 a	30,79 b
FGA-50	0,11 a	29,07 b	41,08 b

\* médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

Madeiras que são destinadas ao uso energético devem conter uma quantidade reduzida de cinzas, já que alguns minerais presentes nessas cinzas, como, por exemplo, o fósforo e o enxofre, limitam o uso do carvão vegetal na indústria siderúrgica. Verifica-se, que os clones selecionados para o teor de cinzas na madeira foram FGA-30 e I-380, ambos com média de 0,10%. Os dois clones selecionados para esta característica são os que apresentaram as menores médias absolutas, visto que o teste de Scott-Knott não foi capaz de detectar diferenças entre os nove clones estudados.

Para as características teor de lignina e massa estimada de lignina na madeira, os clones selecionados visando ao aumento destas, foram, respectivamente, o FGA-30 e FGA-35, com médias de 33,85% e 32,36%, para o teor de lignina e o FGA-30 e o FGA-34, para a massa estimada de lignina na madeira. Os clones FGA-30 e FGA-34 foram também selecionados para a característica volume individual, o que demonstra influência do volume na quantificação da massa de lignina na madeira.

### 3.4 Dimensões das fibras

O estudo das variações anatômicas dos elementos que compõem o lenho tem um efeito marcante sobre a qualidade da madeira e do produto final. Produtos como, por exemplo, o papel, dependem muito das características dimensionais das fibras.

A Tabela 1.13 mostra que o valor médio obtido para o comprimento da fibra foi de 1,03 mm, 16,03  $\mu\text{m}$  para a largura da fibra, 7,91  $\mu\text{m}$  para o diâmetro do lume e 4,06  $\mu\text{m}$  para a espessura da parede celular. Rocha et al. (2004) encontraram, em amostragem longitudinal, valores médios de 0,93 mm, 19,03  $\mu\text{m}$ , 11,39  $\mu\text{m}$  e 3,86  $\mu\text{m}$ , respectivamente, para comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede celular, estudando árvores de *Eucalyptus grandis* com idade de 7 anos.

A espessura da parede celular também está de acordo com o valor encontrado por Paula (2005), que obteve uma média de 4,37  $\mu\text{m}$  para essa característica, em seu trabalho de caracterização anatômica da madeira, visando sua utilização na produção de energia, estudando a espécie *Lindackeria paraensis*.

Uma forma de verificar a precisão do experimento é por meio do coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ). Pela Tabela 1.13, verifica-se que os  $CV_e$  foram de 5,45%, 4,25%, 12,16% e 7,31%, para o comprimento, largura das fibras, diâmetro do lume e espessura da parede celular, respectivamente, sendo o valor de  $CV_e$  para a espessura da parede celular bem abaixo do relatado por Rocha et al. (2004), que encontraram um valor de 23,74%. Estes resultados indicam boa eficiência para a coleta de dados, assim como para a adequação do delineamento experimental utilizado. Xavier et al. (1997) apresentaram valores de  $CV_e$  de 3,03% para o comprimento de fibras, 3,38% para a largura das fibras, 5,90% para o diâmetro do lume e 4,33% para a espessura da parede celular.

TABELA 1.13 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para comprimento e largura de fibra, diâmetro do lume e espessura da parede celular, em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados médios			
		Comprimento (mm)	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Lume ( $\mu\text{m}$ )	Parede celular ( $\mu\text{m}$ )
Clones	8	0,0064 <sup>ns</sup>	3,52**	2,03 <sup>ns</sup>	0,69**
Resíduo	18	0,0032	0,47	0,93	0,09
Média		1,03	16,03	7,91	4,06
CV <sub>e</sub> (%)		5,45	4,25	12,16	7,31
CV <sub>c</sub> (%)		-	6,29	-	11,05
$\sigma^2_f$		-	1,17	-	0,23
$\sigma^2_e$		-	0,16	-	0,03
$\phi^2_c$		-	1,02	-	0,20
$h^2_c$		-	86,71	-	87,28
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>		-	1,47	-	1,51
Ganho		-	1,26	-	0,56
Ganho (%)		-	7,87	-	13,86

<sup>ns</sup> Não significativo.

\*\* Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ ).

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho: ganho genético esperado com a seleção de 2 clones.

Para as características dimensionais das fibras, a largura da fibra e a espessura da parede celular apresentaram efeito de clone significativo ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 1.13).

A estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos foram obtidas a partir das esperanças dos quadrados médios das análises de variância e os resultados estão apresentados na Tabela 1.13. A herdabilidade foi de 86,71% para a largura das fibras e 87,28% para a espessura da parede celular. Estes resultados demonstram que estas características estão sob alto controle genético,

sofrendo menor efeito do ambiente, o que não ocorre com as demais características estudadas, ou seja, o comprimento das fibras e diâmetro do lume.

A relação  $CV_s/CV_e$  (Tabela 1.13) foi de 1,47 para largura de fibra e 1,51 para espessura da parede celular, o que demonstra situação favorável para a obtenção de ganho genético. Com a seleção realizada, pode-se obter um ganho de 7,87% para largura da fibra e 13,86% para espessura da parede celular.

Considerando a afirmação de Shimoyama (1990) de que a espessura da parede celular é um fator de grande influência na densidade da madeira, pode-se assegurar que esta variável influenciará grandemente a produção de carvão, uma vez que, para essa finalidade, é desejável a utilização de madeiras mais densas.

O comprimento e as demais dimensões das fibras estão relacionados com as propriedades da celulose e do papel. A partir dessas dimensões são obtidos diversos coeficientes e índices que se relacionam com as propriedades do produto obtido. Verifica-se que as fibras mais longas resultam em papel com maiores índices de resistência. Para essas fibras, a capacidade de desfibrilamento é aumentada durante o processo de refino, o que aumenta a eficiência das ligações interfibras (Barrichelo et al., 1983, citados por Tomazello Filho, 1985). Segundo Santos (2005) outra característica muito importante para as propriedades do papel é a largura da fibra, já que fibras mais largas produzirão papéis com maior resistência ao rasgo.

A seleção do material genético adequado com as características condizentes ao uso final da madeira é imprescindível no êxito de todo programa de melhoramento genético florestal.

A Tabela 1.14 apresenta as médias obtidas para as características anatômicas da madeira, assim como o teste de comparação múltipla.

TABELA 1.14 Valores médios para o comprimento e largura de fibra, diâmetro do lume e espessura da parede, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância, em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Clone	Comprimento (mm)	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Lume ( $\mu\text{m}$ )	Parede celular ( $\mu\text{m}$ )
FGA-49	1,05 a	17,82 a	8,01 a	4,91 a
FGA-35	1,03 a	15,52 b	7,62 a	3,95 c
FGA-34	1,08 a	16,04 b	7,41 a	4,32 b
FGA-30	1,00 a	15,45 b	7,03 a	4,21 b
I-953	0,95 a	15,72 b	9,17 a	3,28 c
I-601	1,10 a	15,36 b	7,83 a	3,77 c
I-380	1,05 a	16,02 b	7,33 a	4,35 b
I-249	1,01 a	14,56 b	7,41 a	3,58 c
FGA-50	1,02 a	17,73 a	9,37 a	4,18 b

\*médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

Os clones que permitiram a obtenção dos maiores ganhos para a largura de fibra foram FGA-49 e FGA-50. Para a espessura da parede celular os clones selecionados foram FGA-49 e I-380. Estes clones foram escolhidos com o intuito de aumentar a quantidade de massa por unidade de volume, já que, dessa forma, os usos industriais, como o carvão vegetal, serão beneficiados. Os dados demonstraram que existe uma intensa relação entre densidade básica e espessura da parede celular, já que os clones FGA-49 e I-380 foram também selecionados para estas duas características.

### 3.4 Propriedades mecânicas

O estudo das propriedades mecânicas da madeira é fundamental para a adequação de seu uso, principalmente como material de construção, atendendo às exigências relativas aos esforços requeridos na sua utilização estrutural.

Para as propriedades mecânicas da madeira avaliadas, ou seja, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MOEc), resistência à



compressão paralela às fibras (RC), módulo de elasticidade à flexão estática (MOEf) e o módulo de ruptura (MOR), observou-se que o efeito de clone foi altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ), como apresentado na Tabela 1.15.

TABELA 1.15 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para módulo de elasticidade à compressão (MOEc), resistência à compressão (RC), módulo de elasticidade à flexão (MOEf) e módulo de ruptura (MOR), em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios			
		MOEc (MPa)	RC (MPa)	MOEf (MPa)	MOR (MPa)
Clones	8	977561,3**	47,3**	1708462,8**	213,9**
Resíduo	18	122851,3	2,5	86156,6	21,3
Média		7763,7	53,0	6506,7	99,5
CV <sub>e</sub> (%)		4,51	3,02	4,51	4,64
CV <sub>c</sub> (%)		6,87	7,28	11,30	8,05
$\sigma^2_f$		325853,78	15,79	569487,62	71,32
$\sigma^2_e$		40950,44	0,86	28718,87	7,12
$\phi^2_c$		284903,34	14,93	540768,75	64,20
$h^2_c$		87,43	94,54	94,95	90,02
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>		1,52	2,40	2,51	1,73
Ganho		670,09	5,04	962,09	10,21
Ganho (%)		8,63	9,50	14,79	10,26

\*\*Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ ).

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho: ganho genético esperado com a seleção de 2 clones.

Para esses atributos, MOEc, RC, MOEf e MOR, os coeficientes de variação experimental foram 4,51%, 3,02%, 4,51% e 4,64%, indicando um nível de alta precisão experimental.

A estimativa dos componentes da variância existentes na população é de extrema importância, uma vez que permite conhecer o controle genético do caráter e o potencial para a seleção. Na Tabela 1.15 estão apresentadas as

estimativas das variâncias, o coeficiente de herdabilidade, o índice de variação ( $CV_g/CV_e$ ) e os ganhos genéticos. Observa-se, pelos dados desta tabela, que as estimativas de herdabilidade foram de 87,43% para o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, 94,54% para resistência à compressão paralela às fibras, 94,95% para o módulo de elasticidade à flexão estática e 90,02% para o módulo de ruptura. Estes valores de herdabilidade indicam um forte controle genético na expressão destas características, como também foi verificado por Moura (2000) e Xavier (2001). O índice de variação foi superior a uma unidade (1,0) em todas as propriedades de resistência mecânica estudadas.

Os valores de herdabilidade e das variâncias genéticas permitiram estimar ganhos de 8,63%, 9,50%, 14,79% e 10,26% para MOEc, RC, MOEf e MOR, respectivamente. Oliveira (2005) obteve ganhos de 8,05% para resistência à compressão paralela às fibras, 5,37% para o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, 9,15% para o módulo de elasticidade à flexão estática, e 7,00% para o módulo de ruptura, em 20 clones de *Eucalyptus*.

Pela Tabela 1.16, pode-se observar que os valores encontrados no presente trabalho são coerentes com os valores apresentados por outros pesquisadores, mesmo avaliando materiais genéticos e idades diferenciadas.

Somente o módulo de elasticidade à flexão estática apresenta resultados diferentes de Caixeta et al. (2003), Cruz et al. (2003) e Moura (2000). Esta diferença pode estar relacionada ao material genético, local e idades diferenciadas.

TABELA 1.16 Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MOEc), resistência à compressão paralela às fibras (RC), módulo de elasticidade à flexão (MOEf) e módulo de ruptura (MOR), encontrados por diferentes autores.

Material	MOEc (Mpa)	RC (Mpa)	MOEf (Mpa)	MOR (Mpa)	Idade (anos)	Fonte
20 clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	7335,82	46,95	5566,63	89,62	10	Oliveira, 2005
7 clones de <i>E. grandis</i>	8441,00	52,00	6749,00	101,00	8	Padilha, 2005
4 clones de <i>Eucalyptus</i>	7715,67	51,67	6147,00	95,33	2	Melo, 2004
7 clones de <i>Eucalyptus</i> sp.	7657,00	47,00	15044,00	94,00	5,5-10,5	Cruz et al., 2003
44 genótipos de <i>Eucalyptus</i>	9971,78	60,31	18813,38	121,01	13-17	Caixeta et al, 2003
18 clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	7828,90	46,57	5600,50	93,06	5,25	Xavier, 2001
10 clones de <i>Eucalyptus</i>	9159,00	54,50	17582,00	102,60	9	Moura, 2000

A Tabela 1.17 apresenta os valores médios e o teste de comparação múltipla realizado para as características de resistência mecânica consideradas. O clone I-380 foi o único selecionado para as quatro propriedades mecânicas da madeira. O clone I-601 foi selecionado para o MOEc e MOEf, enquanto que, para RC e MOR, o clone selecionado foi o FGA-30.

Kollmann & Cotê (1968) relatam que as propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por inúmeros fatores, dentre eles a densidade da madeira. Os resultados apresentados neste trabalho confirmam

esta afirmação, já que um dos clones selecionados para a densidade básica foi também selecionado em todas propriedades mecânicas estudadas, o clone I-380.

TABELA 1.17 Valores médios para módulo de elasticidade à compressão (MOEc), resistência à compressão (RC), módulo de elasticidade à flexão (MOEf) e módulo de ruptura (MOR), comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância, em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Clone	MOEc (MPa)	RC (MPa)	MOEf (MPa)	MORf (MPa)
FGA-49	7825,68 a	54,65 b	6526,55 c	103,34 a
FGA-35	7105,62 b	49,41 c	5810,52 e	85,79 b
FGA-34	7948,07 a	53,50 b	6676,04 c	99,81 a
FGA-30	8158,36 a	56,08 b	6855,53 c	111,06 a
I-953	6813,74 b	46,41 d	5505,62 e	92,00 b
I-601	8282,80 a	55,81 b	7298,24 b	107,11 a
I-380	8591,17 a	59,11 a	7822,93 a	107,64 a
I-249	7735,11 a	53,24 b	5798,39 e	95,45 b
FGA-50	7413,35 b	49,48 c	6266,62 d	93,41 b

\*médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

O estudo dos caracteres tecnológicos da madeira ainda é bastante incipiente em programas de melhoramento florestal, com exceção da densidade básica. Mas, o entendimento dessas propriedades da madeira é de importância fundamental, uma vez que é determinante para adequar o uso da madeira a diferentes finalidades.

## 4 CONCLUSÕES

Com base na interpretação dos resultados das características e propriedades da madeira, conclui-se que:

- a) para as características de crescimento e propriedades químicas e mecânicas avaliadas, o efeito de clone foi significativo. Este fator indica o potencial do material genético para programas de melhoramento;
- b) nas propriedades físicas avaliadas, com exceção da contração volumétrica, o efeito de clone foi altamente significativo;
- c) o efeito de clone foi altamente significativo para a largura e a espessura da parede celular;
- d) exceto para contração volumétrica, comprimento de fibras e diâmetro do lume, as demais características avaliadas apresentaram altas herdabilidades. Este fato indicou forte controle genético sobre essas características, possibilitando a obtenção de ganhos consideráveis com a seleção;
- e) os clones selecionados foram o FGA-30 e FGA-50, para o DAP, I-601 e I-380, para altura total e FGA-30 e FGA-34, para o volume individual, massa seca e massa de lignina estimada na madeira. Para a propriedade densidade básica e seca, os clones selecionados foram FGA-49 e I-380. Para a propriedade retratibilidade, os clones selecionados foram FGA-30 e I-249, para a contração tangencial e FGA-35 e FGA-30, para a radial. Para as propriedades químicas da madeira, os clones selecionados foram FGA-30 e I-380 para o teor de cinzas, FGA-30 e FGA-35 para o teor de lignina. Nas

propriedades anatômicas, a seleção deve ser feita nos clones FGA-49 e FGA-50, para largura de fibra e nos clones FGA-49 e I-380, para a espessura da parede celular. O clone I-380 foi selecionado para todas as propriedades mecânicas, o clone I-601 foi selecionado para os módulos de elasticidade à compressão paralela às fibras e módulo de elasticidade à flexão e o clone FGA-30 selecionado para a resistência à compressão paralela às fibras e para o módulo de ruptura à flexão;

- f) o clone FGA-30 foi o que reuniu o maior número de características de crescimento e de qualidade da madeira, podendo ainda, ser melhorado em programas de hibridação, incorporando a ele características favoráveis presentes em outros clones.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Annual book of ASTM standards**. Denvers: [s.n.], 1997. 679 p. D143/94: standard methods of testing small clear specimens of timber, p. 23-53.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Normas técnicas ABCP**. São Paulo: ABTCP, 1974. n. p.
- CAIXETA, R. P.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 43-51, jan./mar. 2003.
- COTTERIL, P. P.; DEAN, C. A. **Successful tree breeding with index selection**. [S.1]: CSIRO, 1990. 80 p.
- CRUZ, C. D. **Programa genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 1997. 442 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390 p.
- CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, dez. 2003.
- FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Tradução de SILVA, M. A.; SILVA, J. C. Viçosa: UFV, 1987. 279 p. Tradução de: Introduction to quantitative genetics.
- GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. (IPEF. Circular Técnica, n.171).
- GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins**: occurrence, formation, structure and reations. New York: John Wiley, 1971. p. 241-266.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, ago. 1986.

JUNIOR SCANAVACA, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, jun. 2004.

KAGEYAMA, P. Y. **Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill Maiden**. 1980. 125 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

KOLLMANN, F.; COTÉ, W. **Principles of wood science and technology**. I. Solid wood. New York: Springer-Verlag, 1968. 592 p.

LUSH, J. L. **Melhoramento dos animais domésticos**. Rio de Janeiro: CEDEGRA, 1964. 566 p.

MELO, V. M. **Variação nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MOURA, M. C. O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. 2000. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, A. N. **Previsão de ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragens destrutivas e não destrutivas**. 2005. 78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.115-127, jan./fev. 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 381-385, jul./set. 2003.

PADILHA, C. **Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus* sp para utilização em pisos**. 2005. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.



PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **CERNE**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 90-100, jan./mar. 2005.

PAULA, R. C. de. **Variabilidade genética para a densidade básica da madeira e para características de crescimento e eficiência nutricional me famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.** 1995. 126 p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras.** Viçosa: UFV, 1987. 4 p.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

ROCHA, J. S. **A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas.** 1994. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SANTOS, C. R. **Métodos não-convencionais para a determinação da celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando a produção de polpa Kraft-AQ.** 2000. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SANTOS, P. E. T.; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. Estimativas de parâmetros genéticos de propriedade físicas e mecânicas da madeira em *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 54-64, jun. 2003.

SANTOS, S. R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** 2005. 160 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SILVA, J. R. M.; MUÑIZ, G. I. B.; LIMA, J. T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29 n. 3, p. 479-487, maio/jun. 2005.

SOUZA, M. A. M. de. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: The Ronald Press Company, 1964. 549 p.

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

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. M.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **CERNE**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F.; REGAZZI, A. J.; VITAL, B. R.; GOMIDE, J. L. Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus* e seleção de genótipos superiores para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 113-130, jan./mar. 1997.

VALENTE, C. A.; MENDES DE SOUSA, A. P.; FURTADO, F. P.; CARVALHO, A. P. Improvement program for *Eucalyptus globulus* at Portucel: Technological component. **Appita Journal**, Victoria, v. 45, n. 6, p. 403-407, Nov. 1992.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: Patuniani, E. (coord.) **Melhoramento de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p. 122-199.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).

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, v. 21, n. 1, p. 71-78, 1997.

XAVIER, K. G. **Divergência genética em clones de Eucalyptus avaliada por marcadores RAPD, e variações na propriedades da madeira.** 2001. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

## CAPÍTULO II

### MELHORAMENTO GENÉTICO DAS PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL DE *Eucalyptus*

#### RESUMO

BOTREL, M.C.G. **Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 2006. Cap. 2, 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

Os objetivos deste capítulo foram: i) estimar os parâmetros fenotípicos e genotípicos para as propriedades do carvão vegetal, ii) estimar os ganhos genéticos e iii) selecionar clones de *Eucalyptus*, por meio de características do carvão vegetal, visando à otimização da sua produção e qualidade. Foram utilizados nove clones híbridos de *Eucalyptus* cultivados no município de Taiobeiras, norte de Minas Gerais. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 3 repetições. Os parâmetros fenotípicos e genéticos foram estimados a partir dos quadrados médios para as características avaliadas no carvão vegetal. Foi estimado o ganho genético para todas as características que apresentaram significância. O efeito de clone foi significativo para o rendimento gravimétrico do carvão, o rendimento em carbono fixo e a densidade básica relativa aparente do carvão. O ganho genético previsto para o rendimento gravimétrico do carvão foi de 4,51% na seleção dos clones FGA-30 e FGA-49, e de 4,16%, para o rendimento em carbono fixo na seleção dos clones FGA-30 e I-249. Para densidade básica relativa aparente o ganho genético foi de 0,03%, na seleção dos clones FGA-49 e FGA-34. Com a seleção dos clones FGA-30 e FGA-34, foi previsto um acréscimo de 53,44m<sup>3</sup> na produção de carvão vegetal, correspondente a uma receita adicional prevista de R\$4.007,95 em cada hectare de floresta plantada.

xlix\_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Orientador), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-Orientador).

## CHAPTER II

### GENETIC IMPROVEMENT OF THE *Eucalyptus* CHARCOAL PROPERTIES

#### ABSTRACT

BOTREL, M. C. G. **Genetic improvement of the *Eucalyptus* charcoal properties.** Lavras: UFLA, 2006. 68 p. Dissertation (Masters Degree in Forest Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.<sup>1</sup>

The objectives of this chapter were: i) to estimate the phenotypical and genetic parameters for charcoal properties, ii) to estimate genetic gains, and iii) to select clones of *Eucalyptus*, by means of characteristics of charcoal. Nine *Eucalyptus* clones, cultivated at the region of Taiobeiras, located at the North of Minas Gerais State were analysed. Three meters long logs were utilised for specimens preparation. The experimental design used was the totally randomized, with three repetitions. The phenotypical and genetic parameters were estimated, starting from the expected mean square. It was estimated the genetic gain for the characteristics that showed significant differences. The effect of clone was significant for yield charcoal, carbon yield and apparent relative density. The obtained genetic gain predict for the charcoal yield was 4.51% when the clones FGA-30 and FGA-49 have been selected, and 4.16%, when the clones FGA-30 e I-249 have been selected for carbon yield. For relative apparent density the genetic gain was 0.03%, in the selection of the clones FGA-49 e FGA-34. With the selection of the clones FGA-30 and FGA-34 it was predicted an increment of 53.44 m<sup>3</sup> in the production of charcoal, corresponding to a predict additional income of R\$4,007.95 in each hectare of planted forest.

---

<sup>1</sup> Advising Committee: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Adviser), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-adviser).

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as diversas utilizações da madeira, a produção de carvão vegetal sempre ocupou, e ainda ocupa, posição de destaque nos principais agentes de reflorestamento no Brasil. O carvão tem posição de destaque na economia brasileira e, principalmente, na economia do estado de Minas Gerais, já que seu consumo representa 66,7% do total demandado no restante do país. A maior demanda por esse insumo é no setor siderúrgico, o qual é responsável por uma área reflorestada com eucalipto de aproximadamente 1,2 milhão de hectares que produzem, juntamente com a floresta nativa, em torno de 26,22 milhões de metros de carvão, contribuindo para produção de, aproximadamente, 9,5 milhões de toneladas de ferro gusa (SBS, 2005).

Os plantios das empresas siderúrgicas não são capazes de, em regime sustentável, atender às suas demandas por carvão vegetal oriundo de florestas plantadas. Somente no estado de Minas Gerais, a área anual de plantio atinge 30 mil hectares, quando deveriam ser plantados 150 mil hectares. (Importância..., 2001)

Os progressos alcançados, principalmente em termos de produtividade da madeira, têm sido expressivos. Nota-se que existe um grande interesse em se realizar trabalhos conjuntos entre os setores florestal e industrial, na busca de matéria-prima que apresente elevada produtividade e qualidade. De modo geral, pode-se melhorar, modificar, controlar ou minimizar os fatores que afetam a qualidade da madeira, por meio de tratamentos silviculturais e de seleção e melhoramento genético (Xavier et al., 1997).

A bibliografia existente com relação à seleção de materiais superiores para atender ao uso do carvão vegetal ainda é insuficiente, porém estudos que envolvem a qualidade da madeira com base nas suas características físico-químicas e anatômicas, desejáveis à conversão energética, são necessários para otimizar a produção de carvão vegetal e, assim, aliviar a pressão sobre os

desmatamentos predatórios das florestas nativas. Estudos que considerem o desempenho do produto também são muito importantes, já que o aprimoramento da matéria-prima, em conjunto com o produto obtido, proporciona respostas mais efetivas.

Dentro deste contexto, o estudo deste capítulo tem por objetivos:

- estimar os parâmetros fenotípicos e genotípicos para as propriedades do carvão vegetal produzido;
- estimar os ganhos genéticos para as propriedades do carvão vegetal; e
- selecionar clones de *Eucalyptus*, por meio de características do carvão vegetal, visando à otimização da produção e da sua qualidade.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A descrição do material utilizado para a realização das carbonizações e a avaliação do carvão vegetal produzido encontra-se no capítulo 1.

### 2.1 Carbonização da madeira

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico (mufla) adaptado, conforme mostrado na Figura 2.1. O controle do aquecimento foi manual, com incrementos de 50°C a cada 30 minutos, o que corresponde a uma taxa média de 1,67°C por minuto. A temperatura inicial foi sempre igual a 100°C e a temperatura máxima foi de 450°C, permanecendo estabilizada por um período de 30 minutos. O tempo total de carbonização foi, portanto, de 4 horas. Foram usados, em cada ensaio, aproximadamente 300g de madeira, dependendo do clone, retirados de cada árvore-amostra. Esse material foi previamente seco em estufa a  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

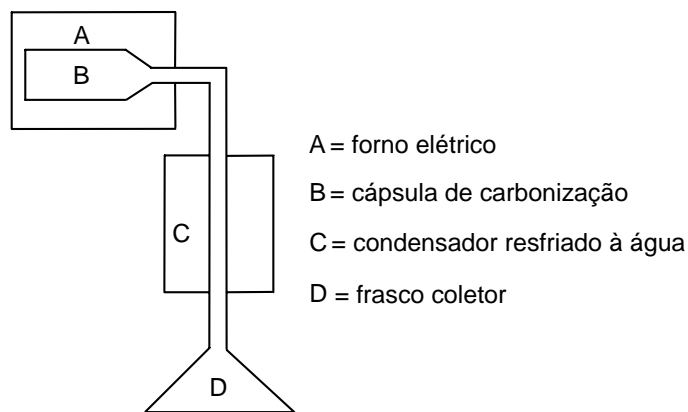


FIGURA 2.1 Esquema ilustrativo do equipamento utilizado nas carbonizações. (Trugilho, 1995).



## **2.2 Características avaliadas no carvão vegetal**

### **2.2.1 Rendimentos gravimétricos**

Após cada carbonização, foi determinado o rendimento gravimétrico em carvão, em líquido pirolenhoso e, por diferença, o rendimento em gases não-condensáveis, todos em relação à massa da madeira seca. Foi determinado, também, o rendimento em carbono fixo.

### **2.2.2 Análise química imediata**

Foi realizada a análise química imediata do carvão para determinar o teor de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo, por meio da Norma NBR 8112 (ABNT, 1983).

### **2.2.3 Densidade básica relativa aparente**

A densidade relativa aparente do carvão vegetal foi determinada pelo método hidrostático, por meio da imersão em água, conforme descrito por Vital (1984).

## **2.3 Análises estatísticas**

A análise estatística para as características do carvão vegetal foi realizada utilizando-se o software Genes, versão 2.1, 2004.

As análises de variância para estas características seguiram o delineamento inteiramente casualizado, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$ : observação do  $i$ -ésimo clone na  $j$ -ésima repetição (ramete);

$\mu$ : média geral;

$C_i$ : efeito do  $i$ -ésimo clone ( $i = 1, 2, \dots, 9$ ), efeito fixo;

$e_{ij}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$ .

A estrutura de análise de variância, seguindo este modelo estatístico, é apresentada na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 Estrutura da análise de variância para as características do carvão vegetal.

Fonte de variação	Grau de liberdade	E(Q.M.)	Q.M.	F
Clone	$(C - 1)$	$\hat{\sigma}_e^2 + r \hat{\phi}_c^2$	$Q_1$	$Q_1 \div Q_2$
Erro	$(C - 1)r$	$\hat{\sigma}_e^2$	$Q_2$	

Pela esperança dos quadrados médios da análise de variância, foram estimados os seguintes parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais, conforme Cruz (1997):

- a) **Variância fenotípica**  $\hat{\sigma}_f^2 = \frac{Q_1}{r}$
- b) **Variância ambiental**  $\hat{\sigma}_e^2 = Q_2$
- c) **Componente quadrático genotípico**  $\hat{\phi}_c^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{r}$
- d) **Coefficiente de determinação genotípica**  $h_c^2(\%) = \frac{\hat{\phi}_c^2}{\hat{\sigma}_F^2} \times 100$

- e) **Coefficiente de variação genética**  $CVc\% = \frac{\sqrt{\hat{\phi}_c^2}}{m\u00e9dia} \times 100$
- f) **Coefficiente de variação experimental**  $CVe\% = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{m\u00e9dia} \times 100$
- g) **Índice de variação**  $Iv = Raz\u00e3o CVc / CVe$
- h) **Ganho esperado com a sele\u00e7\u00e3o**  $Ganho = i \times \sqrt{\hat{\phi}_c^2} \times \sqrt{h_c^2} \times 100$   
em que:  $i$  = \u00edndice de sele\u00e7\u00e3o

Os ganhos foram previstos pela sele\u00e7\u00e3o de 2 clones em 9, sele\u00e7\u00e3o de 22,22%, que padroniza um \u00edndice de 1,3426, conforme a tabela apresentada por Cotteril & Dean (1990).

Para a compara\u00e7\u00e3o m\u00faltipla das m\u00e9dias, utilizou-se o teste de Scott-Knott.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Rendimentos do processo de carbonização

A avaliação dos rendimentos obtidos no processo de carbonização é de extrema importância quando o material estudado se destina à produção de carvão vegetal.

A Tabela 2.2 apresenta o resumo da análise de variância para as características de rendimento do processo de carbonização. Pode-se observar que somente as características rendimento gravimétrico em carvão (RGC) e rendimento em carbono fixo (RCF) apresentaram efeito de clone significativo ( $p \leq 0,01$ ). Para o rendimento em líquido pirolenhoso (RLP) e gases não condensáveis (RGNC), o efeito de clone foi não significativo. Nunes & Andrade (2000) ao compararem o rendimento em gases condensáveis e o rendimento em gases incondensáveis, de *Euterpe edulis* Martius e *Eucalyptus urophylla*, concluíram que a uma temperatura final de 300°C, estas espécies apresentavam comportamentos diferenciados para essas características. Porém a temperaturas finais de 500°C, não houve diferenças significativas para o RLP e RGNC, demonstrando que essas variáveis são extremamente influenciadas por temperaturas finais mais elevadas. Assim como no presente trabalho, Trugilho et al. (2005) encontraram diferenças significativas para os RGC e RCF e não significativa para RLP e RGNC, estudando clones de *Eucalyptus* spp.

O rendimento em carbono fixo médio foi de 25,97% Vale et al. (1996) encontraram valor de 27,20%, trabalhando com *E. grandis* e com temperatura máxima de carbonização semelhante (463°C). Andrade et al. (2004) relatam que o rendimento em carbono fixo é o principal parâmetro a ser considerado na análise termogravimétrica de material lignocelulósico. O rendimento em carbono fixo envolve, simultaneamente, características de produtividade e de qualidade relacionadas ao carvão vegetal (Andrade, 1989).

TABELA 2.2 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para o rendimento gravimétrico em carvão (RGC), rendimento em carbono fixo (RCF), rendimento em líquido pirolenhoso (RLP) e rendimento em gases não condensáveis (RGNC), em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios			
		RGC (%)	RCF (%)	RLP (%)	RGNC (%)
Clones	8	6,92**	2,55**	14,61 <sup>ns</sup>	7,78 <sup>ns</sup>
Resíduo	18	1,55	0,32	8,53	5,23
Média		35,03	25,97	45,44	19,53
CV <sub>e</sub> (%)		3,56	2,20	6,43	11,71
CV <sub>c</sub> (%)		3,82	3,32	-	-
$\sigma^2_f$		2,31	0,85	-	-
$\sigma^2_e$		0,52	0,11	-	-
$\phi^2_c$		1,79	0,74	-	-
$h^2_c$		77,53	87,27	-	-
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>		1,07	1,51	-	-
Ganho		1,58	1,08	-	-
Ganho (%)		4,51	4,16	-	-

<sup>ns</sup> Não significativo

\*\*Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ )

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho (%): ganho genético esperado com a seleção de 2 clones.

O valor médio para o rendimento gravimétrico em carvão foi de 35,03%, sendo esta média superior às relatadas por Nunes & Andrade (2000) e Santiago & Andrade (2005), que encontraram rendimento gravimétrico em carvão de 26,91% e 25,20%, em *Eucalyptus urophylla*, respectivamente. Os valores do presente trabalho demonstram o potencial desta população de clones para participar de programas de seleção e hibridação que visam à produção de energia a partir da biomassa.

A relação CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>, para o RGC e RCF, foi de 1,07 e 1,51, respectivamente. Esta condição é desejável no processo de seleção já que, desta

forma, a variação genética supera a variação ambiental. Ainda na Tabela 2.2, os valores obtidos da herdabilidade para a característica rendimento gravimétrico em carvão foram de 77,53% e de 87,27%, para o rendimento em carbono fixo. A herdabilidade, por expressar a proporção da variação que é atribuída a diferenças genéticas entre os indivíduos, é um parâmetro de grande importância. Dessa forma, pode-se inferir que estas características se encontram sob um forte controle genético, respondendo positivamente à seleção.

Os baixos coeficientes de variação ambiental encontrados para essas características, de 3,56% para RGC e 2,20% para RCF, constata a acuracidade dos dados e, com isso, a confiança nos parâmetros genéticos estimados.

Os valores dos coeficientes de herdabilidade e das variâncias genéticas permitem obter ganhos de 4,51% para rendimento gravimétrico em carvão e 4,16% para rendimento em carbono fixo. Estes ganhos foram obtidos pela seleção dos dois clones superiores, dentre os nove estudados, resultado de uma seleção de 22,22%, padronizando um índice de seleção de 1,3426, conforme mostra a tabela de Cotteril & Dean (1990).

Os valores médios e o teste de comparação múltipla realizados para as características de rendimento do processo de carbonização estão apresentados na Tabela 2.3. Os clones que apresentaram as maiores rendimentos gravimétricos do carvão foram FGA-30 e FGA-49, com respectivos valores médios de 36,99% e 36,97%. Para RCF, os clones selecionados foram os FGA-30, com 27,36% e I-249, com 26,83%.

TABELA 2.3 Valores médios para rendimento gravimétrico do carvão (RGC), rendimento em carbono fixo (RCF), rendimento em líquido pirolenhoso (RLP) e rendimento em gases não condensáveis (RGNC), comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância, em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Clone	RGC (%)	RCF(%)	RLP (%)	RGNC (%)
FGA-49	36,97 a	26,75 a	43,40 a	19,63 a
FGA-35	35,23 a	24,97 b	46,64 a	18,13 a
FGA-34	33,37 b	24,90 b	46,61 a	20,02 a
FGA-30	36,99 a	27,36 a	44,64 a	18,36 a
I-953	36,14 a	26,65 a	43,00 a	20,86 a
I-601	33,47 b	25,43 b	44,26 a	22,27 a
I-380	33,18 b	25,42 b	49,69 a	17,13 a
I-249	35,65 a	26,83 a	43,65 a	20,69 a
FGA-50	34,27 b	25,40 b	47,08 a	18,65 a

\*médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

### 3.2 Análise química imediata do carvão vegetal e densidade básica relativa aparente

A Tabela 2.4 mostra que, dentre as análises realizadas no carvão vegetal, a densidade relativa aparente apresentou efeito significativo de clone ( $p \leq 0,05$ ). Para o teor de materiais voláteis, o teor de cinzas e de carbono fixo, o efeito de clone foi não significativo. Este resultado já era esperado, visto que estas características são muito influenciadas pela temperatura final de carbonização, que foi a mesma. O valor médio da DRA ( $0,336 \text{ g/cm}^3$ ) está de acordo com o encontrado em outros trabalhos (Andrade & Machado, 2004; Brito & Tomazello Filho, 1987; Trugilho, 1995). Em relação à qualidade de carvões para fins siderúrgicos, evidencia-se a importância da sua densidade, pois, esta característica está diretamente relacionada à resistência mecânica do carvão. A densidade relativa aparente relaciona-se com importantes aspectos operacionais e produtivos das usinas siderúrgicas. Além disso, quanto maior for a referida densidade, menores serão os custos de transporte e de armazenamento

do carvão e, simultaneamente, melhor será o aproveitamento do volume útil do alto-forno siderúrgico, permitindo o aumento da sua produtividade em um determinado espaço de tempo.

TABELA 2.4 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para teor de materiais voláteis (TMV), teor de cinzas no carvão (TCz), teor de carbono fixo (TCF) e densidade relativa aparente (DRA), em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios			
		TMV (%)	TCz (%)	TCF (%)	DRA (g/cm <sup>3</sup> )
Clones	8	7,54 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	7,56 <sup>ns</sup>	0,004*
Resíduo	18	7,24	0,0098	7,23	0,002
Média		25,50	0,25	74,25	0,336
CV <sub>e</sub> (%)		10,55	40,29	3,62	11,174
CV <sub>c</sub> (%)		-	-	-	8,391
$\sigma^2_f$		-	-	-	0,0013
$\sigma^2_e$		-	-	-	0,0005
$\phi^2_c$		-	-	-	0,0008
$h^2_c$		-	-	-	62,853
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>		-	-	-	0,75
Ganho		-	-	-	0,030
Ganho(%)		-	-	-	8,93

<sup>ns</sup> Não significativo

\*Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ )

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>c</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho (%): ganho genético esperado com a seleção de 2 clones.

O coeficiente de variação experimental obtido para DRA foi de 11,17%, sendo este valor semelhante ao encontrado por Trugilho et al. (2001) que trabalharam com clones de *E. saligna*.

Mesmo que o teste de Scott-knott (Tabela 2.5) não tenha sido capaz de detectar diferenças significativas entre os clones para a densidade básica



relativa aparente, a análise de variância demonstrou efeito de clone significativo para esta característica e permitiu estimar os parâmetros genéticos que auxiliassem no processo de obtenção de ganhos genéticos.

Ao selecionar os dois clones de maior valor para essa característica, obtém-se um aumento, em relação à média, de 0,030 g/cm<sup>3</sup>, o que corresponde a um acréscimo de 8,93% na densidade básica relativa aparente.

A Tabela 2.5 apresenta os valores médios e o teste de comparação múltipla realizados para as análises químicas imediatas do carvão vegetal e para a densidade relativa aparente.

TABELA 2.5 Valores médios teor de materiais voláteis (TMV), teor de cinzas no carvão, teor de carbono fixo (TCF) e densidade relativa aparente (DRA), comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância, em clones de *Eucalyptus* spp., aos 78 meses de idade.

Clone	TMV (%)	TCz (%)	TCF (%)	DRA (g/cm <sup>3</sup> )
FGA-49	27,98 a	0,27 a	71,74 a	0,402 a
FGA-35	26,22 a	0,16 a	73,62 a	0,318 a
FGA-34	25,57 a	0,34 a	74,09 a	0,365 a
FGA-30	25,76 a	0,16 a	74,07 a	0,324 a
I-953	26,34 a	0,23 a	73,42 a	0,280 a
I-601	23,43 a	0,31 a	76,26 a	0,313 a
I-380	22,86 a	0,22 a	76,93 a	0,359 a
I-249	24,87 a	0,20 a	74,93 a	0,333 a
FGA-50	26,48 a	0,32 a	73,20 a	0,325 a

\*médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

Madeiras de densidades mais elevadas produzem carvão com maior densidade aparente. Isso se verifica pelos clones selecionados, que foram FGA-49 e FGA-34, que apresentaram carvões com densidade básica relativa aparente de 0,402 e 0,365 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Considerando um ganho de 35,65 kg/árvore, obtido com a seleção dos melhores genótipos para a massa seca, estima-se um ganho de 53.439,35 kg/ha, ao utilizar um espaçamento 3x2m, já contabilizando 10% de perdas, referente à mortalidade das árvores. Admitindo que o rendimento gravimétrico num processo industrial em fornos de alvenaria é de 25%, pode-se quantificar uma massa de carvão de 13.559,84kg/ha. Convertendo-se a massa de carvão para volume, em cada hectare é previsto um aumento de 53,44m<sup>3</sup>. Com um preço sugerido de R\$75,00 o metro cúbico de carvão, haverá um acréscimo de R\$4.007,95 em cada hectare, na seleção dos clones que mais se destacaram para a massa seca, ou seja, o clone FGA-30 e FGA-34. Vale lembrar que os cálculos aqui realizados foram feitos considerando-se uma conversão de 25% da relação carvão/madeira. No presente estudo, esse rendimento foi de 35,03%, demonstrando que, com o aprimoramento do processo produtivo, os ganhos obtidos tenderão a aumentar.

#### 4 CONCLUSÕES

Com base na interpretação dos resultados das características do carvão vegetal, conclui-se que:

- a) para as características do rendimento do processo de carbonização, tanto o rendimento gravimétrico em carvão como o rendimento em carbono fixo apresentaram efeito significativo de clones. A densidade básica relativa aparente do carvão apresentou efeito significativo de clone;
- b) os valores de herdabilidades foram considerados altos para o rendimento gravimétrico em carvão, rendimento em carbono fixo e densidade básica relativa aparente, indicando um forte controle genético na expressão de tais características;
- c) o ganho genético previsto para o rendimento gravimétrico em carvão foi de 4,51%, ao selecionar os clones FGA-30 e FGA-49, e de 4,16% para o rendimento em carbono fixo na seleção dos clones FGA-30 e I-249. Para densidade básica relativa aparente o ganho genético foi de 0,03%, na seleção dos clones FGA-49 e FGA-34;
- d) com a seleção dos clones FGA-30 e FGA-34, é previsto um acréscimo de 53,44m<sup>3</sup> na produção de carvão vegetal, correspondente a uma receita adicional prevista de R\$4.007,95 em cada hectare de floresta plantada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo, que teve por objetivo selecionar clones de *Eucalyptus* spp. por meio de características da madeira e do carvão vegetal, permitirão subsidiar o estabelecimento de um programa de melhoramento por hibridação.

De acordo com os resultados apresentados no capítulo I e II, propõe-se o cruzamento dos clones que tiveram o maior destaque nas inúmeras propriedades estudadas. A Tabela 3.1 apresenta os clones selecionados para todas as propriedades da madeira e do carvão vegetal que apresentaram efeito de clone. Inúmeros cruzamentos podem ser realizados. Dentre eles, pode-se considerar que os clones FGA-30, FGA-34 e FGA-50, que se destacaram nas características de crescimento, propriedades físicas, químicas, anatômicas e rendimentos em carvão vegetal, podem ser cruzados com os clones FGA-49 e I-380, que tiveram maior destaque nas propriedades físicas, mecânicas e do carvão vegetal.

Diferentes cruzamentos entre os clones estudados permitirão agregar um maior número de características favoráveis às progênies híbridas.

TABELA 3.1 Clones selecionados para as características de crescimento, propriedades da madeira e qualidade do carvão vegetal.

Propriedades	Clones selecionados
DAP	FGA-30 e FGA-50
HT	I-601 e I-380
Volume	FGA-30 e FGA-34
DB	FGA-49 e I-380
DS	FGA-49 e I-380
MS	FGA-30 e FGA-34
CT	FGA-30 e I-249
CR	FGA-30 e FGA-35
TCz	FGA-30 e I-380
Lignina	FGA-30 e FGA-35
Massa lignina	FGA-30 e FGA-34
Larg.	FGA-49 e FGA-50
EPC	FGA-50 e I-380
MOEc	I-380 e I-601
RC	I-380 e FGA-30
MOEf	I-380 e I-601
MOR	I-380 e FGA-30
RGC	FGA-30 e FGA-49
RCF	FGA-30 e I-249
DRA	FGA-49 e FGA-34

DAP: diâmetro à altura do peito, HT: altura total, Volume: volume individual, DB: densidade básica, DS: densidade seca, MS: massa seca, CT: contração tangencial, CR: contração radial, TCz: teor de cinza na madeira, Lignina: teor de lignina, Massa de lignina: massa estimada de lignina na madeira, Larg.: largura de fibra, EPC: espessura da parede celular, MOEc: módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, RC: resistência à compressão paralela às fibras, MOEf: módulo de elasticidade à flexão estática, MOR: módulo de ruptura, RGC: rendimento gravimétrico em carvão vegetal, RCF: rendimento em carbono fixo, DRA: densidade básica relativa aparente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M. de.; MACHADO, F. S. Comparação entre as propriedades físicas e mecânicas dos finos de carvão vegetal e de carvão mineral, para injeção nas ventaneiras de alto-fornos siderúrgicos. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 273-279, 2004.

ANDRADE, A. M. de.; PASSOS, P. R. de. A.; MARQUES, L. G. da C.; OLIVEIRA, L. B.; VIDAURRE, G. B.; ROCHA, J. D. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 707-714, set./out. 2004.

ANDRADE, A. M. de. **Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no rendimento e qualidade de carvão vegetal**. 1989. 86 p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Normas técnicas NBR 8633**. Brasília, 1983. n.p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 13 dez. 2005.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M. SALGADO, A. L. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 13-17, ago. 1987.

IMPORTÂNCIA do eucalipto para indústria do carvão vegetal. **Revista da Madeira**, v. 11, n. 59, set. 2001. Disponível em <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 13 dez. 2005.

COTTERIL, P. P.; DEAN, C. A. **Successful tree breeding with index selection**. [S.1]: CSIRO, 1990. 80 p.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 1997. 442 p.

NUNES, W. H.; ANDRADE, A. M. Pirólise do estirpe de *Euterpe edulis* Martius (Palmitreiro). **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1 p. 217-226, 2000.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1/2, p. 1-7, mar./jun. 2005.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A. M.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **CERNE**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 1995. 160 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. M.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **CERNE**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

VALE, A. T.; NOGUEIRA, M. V. P.; SILVA, M. A. Rendimento da carbonização e qualidade do carvão vegetal de madeiras do cerrado em comparação ao *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 93-99, jan./mar. 1996.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).

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, v. 21, n. 1, p. 71-78, 1997.