



**DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM
CLONES DE *Eucalyptus* AVALIADA POR
MARCADORES RAPD, E VARIAÇÕES NAS
PROPRIEDADES DA MADEIRA.**

KAREM GUIMARÃES XAVIER

2001

KAREM GUIMARÃES XAVIER

**DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM
CLONES DE *Eucalyptus* AVALIADA POR
MARCADORES RAPD, E VARIAÇÕES NAS
PROPRIEDADES DA MADEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Florestas de Produção, para obtenção do título de "Mestre".

Orientadora

Prof^a Dulcinéia de Carvalho

LÁVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

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

Xavier, Karem Guimarães

Divergência genética em clones de *Eucalyptus* avaliados por marcadores RAPD, e variações nas propriedades da madeira / Karem Guimarães Xavier. --
Lavras : UFLA, 2001.

107 p. : il.

Orientador: Dulcinéia de Carvalho.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Madeira. 2. *Eucalyptus*. 3. Melhoramento genético. 4. Marcador molecular.
5. RAPD. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.97342

KAREM GUIMARÃES XAVIER

**DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM
CLONES DE *Eucalyptus* AVALIADA POR
MARCADORES RAPD, E VARIAÇÕES NAS
PROPRIEDADES DA MADEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Florestas de Produção, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 28 de fevereiro de 2001.

Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA

Prof. Paulo Fernando Trugilho - UFLA



Prof^a Dulcinéia de Carvalho - UFLA
Orientadora

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

*"Você não sabe o quanto eu caminhei
Pra chegar até aqui
Percorri milhas e milhas antes de dormir
Eu não cochilei
Os mais belos montes escalei
Nas noites escuras de frio, chorei
A vida ensina e o tempo traz o tom
Pra nascer uma canção
Com a fé do dia-a dia encontro a solução
... Meu caminho só meu Pai pode mudar"*

AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG-FIEMG, pela concessão da bolsa de estudos durante todo o curso;

A Votorantin-Agro, nas pessoas do Dr. Luciano Lage de Magalhães e Dr. Vicente Silveira, que sempre nos receberam muito bem e nos proporcionaram toda infra-estrutura necessária para a realização da primeira fase do trabalho. Agradeço pela confiança e grande apoio;

A Deus Todo-Poderoso e misericordioso, que faz tudo ser possível, ilumina os meus passos e me dá a chance de recomeçar a cada dia. ELE nunca me faltou, tanto nos momentos de êxito, vitória e fortaleza, quanto naqueles em que me senti só, frágil e segurando a torcida contra;

Aos meus pais, Hernandes e Clarice, agradeço pela vida, pelo zelo, pela educação, pelo respeito, pela estabilidade do lar, pelos sacrifícios que nunca mediram por mim e pelas incontáveis oportunidades que me deram de ser feliz. À vocês, que sempre fizeram muito mais do que estava ao alcance, minha gratidão e amor;

Ao amor da minha vida e picurruxo, que me ajudou imensamente na coleta dos dados, na digitação, esteve presente nos melhores e, principalmente, nos piores momentos, suportou todo o meu estresse e mau humor na fase final do curso, além de me levar e buscar inúmeras vezes na universidade, aos sábados, domingos, natal, ano-novo e carnaval, sem reclamar. Sem dúvida, foi uma grande prova de amor! A você, Eduardo, todo meu amor;

A toda família do Eduardo (Sr. Edmundo, D. Cida, Alex, Eliza, tia Anita, tio Zé, Edwiges e família), que sempre se mostrou tão solícita, agradeço

Somos duas irmãzinas que se adoram e que se ajudam para matar os leões do dia-a dia. Conte sempre comigo.;

A Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais, que me acolheram durante todos esses anos e me proporcionaram ensino público de qualidade, condição sem a qual eu jamais poderia ter freqüentado um curso superior e a pós-graduação. Aqui eu tive diversas oportunidades, e acredito que soube aproveitar a maioria delas. Muito obrigada por tudo, mas agora é hora de partir. Vou sentir muitas saudades...

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1	
RESUMO	i
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO GERAL	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO	03
2.1 Marcadores moleculares RAPD	03
2.2 Densidade da madeira	09
2.3 Retratibilidade	11
2.4 Propriedades mecânicas	13
2.5 Parâmetros genéticos	14
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO 2: DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM CLONES DE <i>Eucalyptus</i> spp., DETECTADA POR MARCADORES RAPD	
RESUMO	24
ABSTRACT	25
1 INTRODUÇÃO	26
2 MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1 Material biológico	28
2.2 Extração de DNA	28
2.3 Amplificação do DNA	30
2.4 Eletroforese	31
2.5 Análise dos produtos da amplificação	31
2.6 Análise estatística dos dados moleculares	32
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1 Marcadores RAPD	34
3.2 Análise da divergência genética	37
4 CONCLUSÕES	45
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
CAPÍTULO 3: VARIAÇÕES GENÉTICAS DE ALGUMAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> spp.	
RESUMO	48
ABSTRACT	50
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAL E MÉTODOS	54

2.1 Material biológico	54
2.2 Local de experimentação	54
2.3 Amostragem	55
2.4 Propriedades avaliadas na madeira	57
2.4.1 Propriedades físicas	57
2.4.1.1 Densidade básica e seca	57
2.4.1.2 Retratibilidade	57
2.4.2 Propriedades mecânicas	59
2.5 Análises estatísticas	60
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
3.1 Retratibilidade da madeira	68
3.2 Propriedades mecânicas	80
3.3 Densidade da madeira	86
4 CONCLUSÕES	94
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXOS	98

LISTA DE TABELAS

		Página
TABELA 2.1	Relação dos oligonucleotídeos utilizados com as respectivas seqüências de bases	30
TABELA 2.2	Relação do número de produtos amplificados por cada oligonucleotídeo, com suas respectivas porcentagens de polimorfismo	34
TABELA 2.3	Matriz de distâncias genéticas (%) entre dezenove clones de <i>Eucalyptus</i> spp., obtidas a partir de dados de marcadores RAPD e expressas pelo complemento aritmético do coeficiente de Jaccard .	38
TABELA 2.4	Agrupamento de genótipos de <i>Eucalyptus</i> spp., discriminados ao nível de 90% de dissimilaridade genética por dendrograma obtido pelo método UPGMA	41
TABELA 2.5	Distâncias genéticas entre os grupos discriminados pelo dendrograma, obtido pelo método UPGMA ...	42
TABELA 2.6	Combinações de genótipos de <i>Eucalyptus</i> spp. que promoveram a maximização da variabilidade genética entre os grupos	42
TABELA 3.1	Clones selecionados para o estudo tecnológico, listados por ordem crescente de produtividade volumétrica (st/ha.ano)	54
TABELA 3.2	Condições dos testes mecânicos realizados seguindo a norma D 143 - 94 (ASTM, 1997)	60
TABELA 3.3	Estrutura da análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas da madeira	62
TABELA 3.4	Estrutura da análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas da madeira por posição de amostragem radial	64
TABELA 3.5	Resumo da análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as contrações tangencial (CT), radial (CR) e volumétrica (CV) da madeira em condição de umidade de equilíbrio (CUE) e em condição anídrica (CA), em clones de <i>Eucalyptus</i> spp. avaliados aos 63 meses de idade	69

TABELA 3.6	Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as contrações tangenciais da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., amostrada nas posições radiais P1(periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média, na condição de equilíbrio higroscópico (CUE) e na condição anidra (CA)	71
TABELA 3.7	Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as contrações radiais da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., amostrada nas posições radiais P1(periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média, na condição de equilíbrio higroscópico (CUE) e na condição anidra (CA)	72
TABELA 3.8	Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as contrações volumétricas da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., amostrada nas posições radiais P1(periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média, na condição de equilíbrio higroscópico (CUE) e na condição anidra (CA)	73
TABELA 3.9	Resumo da análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as propriedades mecânicas da madeira clones de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliados aos 63 meses de idade	81
TABELA 3.10	Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para propriedades mecânicas da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., amostrada nas posições radiais P1 (periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média de P1 e P2	83
TABELA 3.11	Resumo da análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as densidades básica (DB) e seca (DS) da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliados aos 63 meses de idade ..	88
TABELA 3.12	Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as densidades básica e seca da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., amostradas nas posições radiais P1 (periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média de P1 e P2	89

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 2.1	Eletroforese, em gel de agarose, de fragmentos de DNA de genótipos de <i>Eucalyptus</i> spp., amplificados com o uso do oligonucleotídeo OPX-14 36
FIGURA 2.2	Análise de agrupamento de dezenove clones de <i>Eucalyptus</i> spp., com base na matriz de distâncias genéticas obtidas com marcadores RAPD, utilizando-se o método UPGMA 40
FIGURA 3.1	Amostragem dos clones de <i>Eucalyptus</i> spp. 55
FIGURA 3.2	Esquema ilustrando a prancha diametral, utilizada para a confecção dos corpos de prova nas posições de amostragem periférica (P1), intermediária(P2) e central (P3) 56
FIGURA 3.3	Valores médios de contração tangencial da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliada na condição anidra (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE) 77
FIGURA 3.4	Valores médios de contração radial da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliada na condição anidra (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE) 78
FIGURA 3.5	Valores médios de contração volumétrica da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliada na condição anidra (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE) 79
FIGURA 3.6	Valores médios de módulos de elasticidade E_f e E_c da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliados aos 63 meses de idade 87
FIGURA 3.7	Valores médios de densidade seca (A) e densidade básica (B) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliados aos 63 meses de idade 93

RESUMO

XAVIER, K.G. **Divergência genética em clones de *Eucalyptus* avaliada por marcadores RAPD, e variações nas propriedades da madeira.** Lavras: UFLA, 2001. 107p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)¹.

Este estudo teve como objetivos: i) analisar a divergência genética em populações de clones de *Eucalyptus* spp. por meio de marcadores RAPD; ii) investigar o poder de discriminação dos marcadores RAPD para a formação de diferentes grupos de genótipos e para a indicação de cruzamentos preferenciais (Capítulo II); iii) avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira destes clones em diferentes posições de amostragem radiais; e iv) estimar parâmetros genéticos e os ganhos diretos e indiretos nos processos de seleção (Capítulo III). Foi realizado na Fazenda Riacho, de propriedade da Votorantin-Agro, localizada a 17°36'09"S e 46° 42'42"W, a 550 metros de altitude, no município de Paracatu, noroeste de Minas Gerais. No Capítulo I, o material genético constou de folhas jovens coletadas de dezenove clones. Para a extração do DNA e reações RAPD, seguiu-se os protocolos de Nienhuis *et al.* (1995). Os produtos da amplificação foram separados por eletroforese, em gel de agarose, corados e fotografados. Estes foram analisados quanto a presença ou ausência das bandas, formando uma matriz, que foi utilizada para o cálculo das distâncias genéticas e para a construção de um dendrograma, que agrupou os genótipos segundo o método UPGMA. Entre cada par de grupos foram identificados os clones que potencializaram a variabilidade genética, a fim de serem utilizados em cruzamentos preferenciais no programa de melhoramento. De acordo com os resultados, foram amplificados 174 fragmentos de DNA, sendo 25 monomórficos (14,4%) e 149 polimórficos (85,6%), revelando a alta divergência genética do material analisado. A distância genética média foi de 61%, com amplitude de 46 a 84%. As elevadas distâncias genéticas, detectadas por marcadores RAPD, indicam o estágio de pouca domesticação desta população de clones, sugerindo sua utilização nas próximas etapas do programa de melhoramento. Estas foram eficientes para classificar os clones com diferentes níveis de divergência, separando-os em cinco grupos distintos em nível de 90% de dissimilaridade. No Capítulo III, foram analisados 18 clones de *Eucalyptus* spp., selecionados por apresentarem boas condições fitossanitárias, fuste linear e produtividade volumétrica superior a 25 st/ha.ano. Foram utilizadas as toras retiradas entre 3,3 e 6,3 m de altura do fuste, obtidas de 5 rametes por clone. De cada tora extraiu-se uma prancha diametral para a confecção dos corpos de prova, considerando-se três posições de amostragem no sentido medula-casca: periférica (P1), intermediária (P2) e central (P3). As propriedades da madeira avaliadas foram: densidades básica (DB) e seca (DS); contrações tangencial (CT), radial (CR) e volumétrica (CV) estando a madeira na sua umidade de

equilíbrio (CUE) e na condição anidra (CA); módulo de elasticidade à flexão estática (Ef) e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (Ec). Procedeu-se as análises de variância conjuntas para todas as características. Somente nas quais o efeito da interação posição por clone foi significativo, efetuou-se anavas e estimativas dos parâmetros genéticos, dos ganhos diretos e indiretos para as três posições de amostragem e para a média destas. Foram selecionados os clones que apresentaram os maiores valores médios para densidade e módulo de elasticidade e menores médias para as contrações. Exceto para módulo de ruptura, os clones apresentaram variações significativas para todas as características avaliadas, o que indica o potencial do material genético avaliado para ser utilizado em programas de melhoramento que incluam tais características. Os clones apresentaram diferenças estatísticas significativas para as posições periférica, intermediária e na média de ambas, em todas as características avaliadas. Para a posição central, as análises mostraram baixo nível ou inexistência de variação genética, associado à insuficiência amostral desta posição para a maioria das características da madeira. Todas as características apresentaram elevados coeficientes de herdabilidade, confirmando que suas expressões estão sob forte controle genético, possibilitando, assim, a seleção para a direção desejada. Os ganhos genéticos diretos, previstos para os valores médios da densidade básica e do módulo de elasticidade à compressão, foram inferiores aos ganhos indiretos, sugerindo a realização da seleção destas características indiretamente pela densidade seca e módulo de elasticidade à flexão, respectivamente. Os ganhos indiretos, previstos para as contrações tangencial, radial e volumétrica da madeira na sua umidade de equilíbrio, foram menores que aqueles obtidos pela seleção direta. No entanto, a seleção indireta deve ser considerada, pois sua realização se refletirá na redução do tempo de trabalho, na economia de recursos financeiros, espaço físico e mão-de-obra, e na maior operacionalidade do laboratório, permitindo avaliar um maior número de árvores e proceder seleções mais rigorosas.

¹Comitê Orientador: Dulcinéia de Carvalho - UFLA (Orientadora), Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Co-Orientador).

ABSTRACT

XAVIER, K.G. Genetic divergences in clones of *Eucalyptus* determined by means of RAPD markers, and variations of wood properties. Lavras: UFLA, 2001. 107p. (Dissertation - Masters Degree in Forest Engineering).¹

The objectives of the presents study were to analyse the genetic divergence in clone populations of *Eucalyptus* spp. by means of RAPD markers; to investigate the discriminating capacity of RAPD markers for the formation of different genotype groups and for pointing out preferable crossings (Chapter II); to evaluate the wood physical and mechanical properties of such clones in different radial sampling positions; and to estimate genetic parameters as well as direct and indirect gains in the selective processes (Chapter III). The experiment was carried out at "Fazenda Riacho", located in Paracatu municipality, Northwest of Minas Gerais State. In Chapter I, the genetic material was composed of young leaves collected from nineteen clones. For the DNA extractions and RAPD reactions, the protocols of Nienhuis et al. (1995) were followed. The amplification products were separated by electrophoresis, in agarose gel, dyed and photographed. They were also analyzed as to the presence or absence of bands, forming a matrix, which was used for calculating the genetic distances and building a dendrogram grouping the genotypes according to the UPGMA method. The clones, which boosted the genetic variability, were identified within each pair of groups in order to be employed in preferential crossings in the genetic improvement program. According to the results, 174 DNA fragments were amplified, being 25 monomorphic (14,4%) and 149 polymorphic (85,6%), revealing the high genetic divergence of the material analyzed. The average genetic distance was 61%, ranging from 46 to 84%. The high genetic distances, detected by means of RAPD markers, indicate the low domestication state of this clones population, suggesting its use in the following stages of the genetic improvement program. The genetic distances were efficient for classifying clones showing different divergence levels, ranking them into five distinct groups at 90% dissimilarity levels. In Chapter III, 18 *Eucalyptus* spp. clones were analyzed. They were selected due to presenting good phytosanitary conditions, linear bole and volumetric productivity superior to 25 st/ha.year. The logs used were taken from the bole's portion between 3,3 and 6,3m height, obtained from 5 ramets per clone. From each log, a diametral board was taken for preparing the specimens. Three sampling positions along the medulla-bark direction were considered: peripheral (P1), intermediate (P2) and central (P3). The wood properties evaluated were: basic (BD) and dry (DD) densities; tangential (TC), radial (RC) and volumetric (VC) contractions, the wood being in its moisture equilibrium (ME) and in anhydrous condition (AC); elasticity module toward static flexion (Ef) as well as toward parallel fiber

compression (Ec). Group variance analyses were carried out for all characteristics. For those analyses showing significant effect of the interaction position per clone, ANOVAS and estimates of genetic parameters, direct and indirect gains for the three sampling positions and their averages were carried out. The clones presenting the highest average values for density and elasticity module and the lowest averages for contraction were selected. Except for the rupture module, the clones showed significant variations for all evaluated characteristics, what suggests the genetic material potential to be used in genetic improvement programs including such characteristics. The clones presented significant statistical differences for peripheral and intermediate positions, as well as for their average, concerning all the evaluated characteristics. As to the central position, the analyses showed a low level or absence of genetic variation, related to insufficient sampling of this position for most wood characteristics. All characteristics showed high heredability coefficients, confirming that their expressions are under strong genetic control, thus enabling selection toward the desired direction. Direct genetic gains, predicted for average values of basic density and elasticity module toward compression, were lower than indirect gains, suggesting the indirect selection of such characteristics by means of dry density and elasticity module toward flexion, respectively. Indirect gains expected for wood tangential, radial and volumetric contractions at its moisture equilibrium, were lower than those obtained through direct selection. However, indirect selection should be considered, as its use will reflect positively on the reduction of the selection time, financial resources, physical space and labor, as well as on the optimization of laboratory operation, allowing a greater number of trees to be evaluated and stricter selection procedures.

¹ Advising Committee: Dulcinéia de Carvalho – UFLA (Adviser),
Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Co-adviser).

1 INTRODUÇÃO GERAL

De ocorrência natural da Austrália, o *Eucalyptus* engloba cerca de 600 espécies adaptadas a diversas condições de solo e clima. Dessa grande maioria, algumas poucas são nativas das ilhas de Java, Filipinas, Timor e outras (Pryor, 1976).

A disseminação de sementes de eucaliptos no mundo começou no início do século XIX (Mora e Garcia, 2000). Hoje, as espécies mais utilizadas no mundo são o *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. saligna*, *E. citriodora*, *E. globulus*, *E. viminalis* e *E. tereticornis*, direcionadas para fins bastante diversificados como celulose, papel, lenha e carvão vegetal.

No Brasil, este gênero tem sido extensivamente utilizado em plantios florestais, graças à sua grande capacidade de adaptação, somada às características de rápido crescimento, produtividade, ampla diversidade de espécies e por ter aplicação para diferentes finalidades. O país mantém 21% de sua área com plantações de eucaliptos, cerca de 2.900.000 ha (Mora e Garcia, 2000). Deste total, mais de 1.500.000 ha estão localizados em Minas Gerais, destinados em grande maioria ao setor siderúrgico, visto que aquele Estado destaca-se como o maior consumidor nacional de carvão vegetal.

Seguindo uma tendência mundial, as empresas florestais buscam novas alternativas para agregar maior valor a seus produtos. Associada a isto, a madeira continua sendo a matéria-prima principal para um número enorme de produtos, tornando-se necessária a adequação de espécies de rápido crescimento para suprir a demanda que recai sobre as florestas nativas. Dessa forma, o eucalipto surge como opção potencial para usos mais nobres, como sólidos de madeira, o que inclui madeira serrada, madeira processada para a produção de aglomerados, chapas de fibra, lâminas e outros. Características da madeira para

essa finalidade, consideradas de extrema importância, são a densidade, a retratibilidade e propriedades de resistência mecânica.

No entanto, é essencial que haja uma conscientização de que tais madeiras são, na maioria das vezes, “novas madeiras” (Oliveira, 1997). Em outras palavras, é preciso aperfeiçoar os processos de conversão no sentido de adequação destas madeiras, que possuem algumas características tecnológicas diferentes daquelas formadas em madeiras com longos ciclos de crescimento, apresentando, assim, propriedades mais estáveis e adequadas para serem utilizadas pelos métodos convencionais de trabalhar tais matérias-primas.

Nos últimos anos, as empresas florestais têm apostado na adequação de tratos silviculturais e em programas de melhoramento genético. Entretanto, o grande potencial de ganho econômico e técnico gerado pelo melhoramento genético do eucalipto não deve ser restrito apenas às características de crescimento, mas também ampliado às características da madeira que são necessárias ao atendimento de usos mais diversificados e de maior retorno econômico.

Neste contexto, a seleção de árvores matrizes dentro dos programas de melhoramento foi, por muito tempo, baseada nos valores fenotípicos das características de crescimento. Isto, contudo, não assegurou a qualidade da árvore selecionada para usos múltiplos. Com efeito, torna-se necessário incluir em tais programas outros valores, como propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas, a fim de se obterem genótipos superiores para atender utilizações diversificadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Marcadores moleculares RAPD

Os efeitos ambientais mascaram os efeitos genotípicos, de modo que o fenótipo fornece uma medida imprecisa do genótipo da planta. Para corrigir essa deficiência, foram desenvolvidas metodologias que utilizam a análise direta do DNA por meio de marcadores. A palavra marcadores tem sido utilizada para designar fatores morfológicos, fisiológicos, bioquímicos ou genéticos passíveis de serem identificados e que permitem o estudo comparativo de genótipos e de suas progênes (Sakiyama, 1993).

A utilização de marcadores moleculares na análise genética e no melhoramento de plantas aumentou exponencialmente desde a concepção da tecnologia da reação de polimerase em cadeia (Polymerase Chain Reaction-PCR) desenvolvida por Kary Mullis (Mullis e Faloona, 1987). A reação de PCR fundamenta-se no anelamento e extensão enzimática de um par de oligonucleotídeos utilizados como iniciadores, que delimitam a seqüência de DNA da fita dupla alvo da amplificação. Estes iniciadores são sintetizados de maneira que suas seqüências de nucleotídeos sejam complementares às seqüências que flanqueiam a região alvo (Ferreira e Grattapaglia, 1998). O principal avanço trazido pela técnica PCR foi a possibilidade de sintetizar *in vitro* milhões de cópias de um segmento específico de DNA na presença da enzima DNA polimerase.

A PCR vislumbrou novos caminhos para a biologia molecular. Entretanto, no início, sua aplicação se limitou a poucas espécies, devido à necessidade de se conhecerem as seqüências de nucleotídeos que flanqueiam a região de DNA de interesse. Dessa forma, somente a partir do seqüenciamento era possível construir os oligonucleotídeos utilizados na reação de amplificação.

A grande mudança aconteceu em 1990, com o desenvolvimento de uma técnica derivada da PCR, com característica distinta, ou seja, que utiliza um iniciador único, formado por dez nucleotídeos de seqüência arbitrária, com o mínimo de 50% de bases G + C (Williams *et al.*, 1990). A aleatorização da seqüência de bases eliminou a necessidade do conhecimento prévio da seqüência flanqueadora, democratizando a análise do polimorfismo genético. Esta técnica foi denominada de RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), AP-PCR (Arbitrarily Primed PCR's) e DAF (DNA Amplification Fingerprinting) e patenteada por três grupos independentes (Williams *et al.*, 1990; Welsh e McClelland, 1990; Caetano-Anollés *et al.*, 1991). Além de facilitar e acelerar estudos que já ocorriam com espécies tradicionais como feijão, milho, arroz, a técnica RAPD permitiu a realização de estudos de análise genética em espécies anteriormente não contempladas (Ferreira e Grattapaglia, 1998), como as essências florestais.

Sakiyama (1993) relata que a tecnologia de marcadores RAPD consiste basicamente na extração de DNA de indivíduos, na amplificação ou não amplificação de fragmentos de comprimentos diferentes por eletroforese em gel de agarose e na visualização de bandas correspondentes a regiões amplificadas do genoma por meio de coloração dos fragmentos de DNA com brometo de etídio, diretamente no gel.

Os marcadores RAPD possuem comportamento dominante. Um segmento que é homocigoto para a presença da banda não pode ser distinguido de um heterocigoto e a presença do fragmento é dominante em relação à ausência. Isto significa que, ao se observar a presença de uma banda no gel, não é possível determinar se ela se originou a partir de uma ou de duas cópias da seqüência amplificada. Vários locos podem ser avaliados simultaneamente, porém pouca informação a respeito de cada loco é obtida, uma vez que a técnica RAPD obtém apenas um alelo em cada loco (Ferreira e Grattapaglia, 1998). Se

por um lado genótipos heterozigotos não podem ser discriminados dos homozigotos, por outro esta limitação pode ser vista como uma característica adequada para automatizar o processo de aquisição de dados binários (presença ou ausência da banda) por softwares específicos. Em relação a outros marcadores moleculares, o RAPD possui inúmeras vantagens: a simplicidade da técnica, baixo custo por dado genotípico, utilização de pequena quantidade de DNA genômico, acessibilidade a não especialistas, geração de grande quantidade de polimorfismo amostrando grande parte do genoma (Ferreira e Grattapaglia, 1998). Todas essas características credenciam os marcadores RAPD como os de maior potencialidade na utilização em melhoramento de plantas, caracterizando-os como uma ferramenta valiosa e de vasta aplicabilidade.

Marcadores moleculares RAPD têm sido largamente utilizados em culturas agrônômicas, como em seleção de genitores de feijão (Machado, 1999); mapeamento de QTLs em feijoeiro (Melo, 2000); localização de gene ligado à resistência à doença no feijoeiro (Rezende, 2000); estudos de diversidade genética em mandioca (Muhlen, 1999). Lanza *et al.* (1997) utilizaram a metodologia de RAPD para analisar a divergência genética entre 18 linhagens endogâmicas de milho a fim de avaliar o poder de discriminação destes marcadores e estimar correlações entre distâncias genéticas obtidas entre estes progenitores e a produção de grão de seus híbridos. A análise de agrupamento separou as amostras em três grupos distintos. Detectaram-se correlações significativas entre os grupos G1xG2 e G1xG3 e a produção de grãos de seus respectivos híbridos. Os marcadores RAPD mostraram-se eficientes na discriminação de grupos e na indicação de cruzamentos preferenciais.

Arnholdt-Schmitt (2000) utilizou a técnica de RAPD fingerprints (impressões digitais) para elucidar aspectos da biologia reprodutiva de acessos de *Hypericum perforatum*, planta de grande valor medicinal. Os resultados

obtidos indicaram um modo idêntico de reprodução entre as espécies, evidentemente devido à apomixia, embora tenha sido identificada, em menor efeito, reprodução diferenciada em progênies de um acesso.

Na área florestal, os marcadores RAPD têm sido aplicados em diversos estudos. Ferreira e Grattapaglia (1998) apontam a construção de mapas genéticos como uma das aplicações de maior impacto da tecnologia de marcadores moleculares, pois estes possibilitam a cobertura e análise completa de genomas e a canalização dessas informações para uso em programas de melhoramento. O mapeamento do genoma de *Populus* (Bradshaw Jr. *et al.*, 1994) foi realizado combinando marcadores RAPD, RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) e STS (Sequence Tagged Site). Binelli e Bucci (1994) desenvolveram o primeiro mapa de ligação de *Picea abies*, uma das espécies de grande importância econômica das florestas européias, o que possibilitou esclarecer questões relacionadas à sua ecologia e genética. Grattapaglia e Sederoff (1994) aplicaram os marcadores RAPD para construir mapas de ligação utilizando 62 indivíduos da população F₁, proveniente do cruzamento de *Eucalyptus urophylla* (genitor paterno) e *E. grandis* (genitor materno). Os autores partiram da premissa de que indivíduos de espécies arbóreas apresentam alto nível de heterozigose e, por isso, a geração F₁ mostrará segregação mendeliana para os marcadores. Esta estratégia foi denominada “pseudo-testcross” devido à configuração de cruzamento não ser planejada *a priori* como em um teste tradicional, e sim inferida *a posteriori*, ou seja, após a análise da segregação dos marcadores nas progênies.

Outra aplicação dos mapas genéticos gerados por marcadores moleculares é a localização de genes de importância econômica. Grattapaglia, Bertolucci, Sederoff (1995) identificaram QTLs (locos relacionados a características quantitativas) que controlam a propagação vegetativa em *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla*. Verhaegen *et al.* (1997) detectaram genes

controladores da densidade da madeira, forma e crescimento do fuste em *E. urophylla* e *E. grandis* e observaram que algumas regiões do genoma exerceram efeitos sobre mais de uma característica. Os autores concluíram que as informações geradas pelos marcadores RAPD poderão ser utilizadas na seleção precoce de híbridos para a produção de variedades clonais. Realizando estudo semelhante em *Pinus radiata*, Kumar *et al.* (2000) identificaram dois marcadores fortemente associados com a densidade da madeira em diferentes idades.

Marcadores RAPD permitem gerar grande quantidade de informação sobre a diversidade genética e relacionamentos filogenéticos no germoplasma utilizado pelo melhorista. Reis (1999) estudou a distribuição da variabilidade genética em um banco de germoplasma de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), utilizando marcadores RAPD e seqüenciamento de cpDNA, e concluiu que tanto para o estudo de reservas genéticas *in situ* ou coletas para a conservação *ex situ*, os esforços devem ser direcionados à coleta ou conservação de um maior número de indivíduos, em um número reduzido de áreas distantes entre si.

A caracterização molecular da diversidade genética, combinada com características fenotípicas, fornece um quadro mais completo para o agrupamento de genótipos e o planejamento de cruzamentos (Ferreira e Grattapaglia, 1998). Nesbitt *et al.* (1995) utilizaram marcadores RAPD para estudar a variação genética de *Eucalyptus globulus* de uma amostra de 37 populações naturais. Os resultados obtidos estavam de acordo com as informações morfológicas e de diversidade locais utilizadas em análises paralelas e apresentaram dados que permitiram melhor entendimento quanto às relações das populações estudadas, como o nível de diversidade, que foi maior dentro de populações que entre, como tem sido verificado em diversos estudos de populações florestais.

Esbrisse (1998) aplicou marcadores moleculares RAPD no estudo da diversidade genética entre sete árvores matrizes de *Eucalyptus urophylla* e oito de *E. pellita*, procurando avaliar o poder de discriminação destes marcadores, bem como associar as distâncias genéticas obtidas entre estes progenitores a características fenotípicas (DAP, altura e volume). A análise de agrupamento dividiu os genótipos em dois grupos distintos, o primeiro formado apenas por progenitores de *E. urophylla* e outro por *E. pellita*, com uma distância genética média de 45% entre eles. Porém, a variação obtida entre os genitores analisados não refletiu a invariância das progênies originadas de suas combinações para as três características avaliadas, visto que estas são originárias de vários genes e sofrem forte influência do ambiente. O autor sugere o uso de marcadores específicos que estejam correlacionados com as características a serem avaliadas, para fins de divergência genética.

Câncio (1999) determinou a divergência genética com base em dados silviculturais (altura, DAP, IMA e características de sobrevivência) e marcadores RAPD, entre dezesseis progênies meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* de diferentes procedências, das ilhas de Alor, Wetar e Pantar. Foram discriminados sete grupos diferentes pelo agrupamento baseado nas características silviculturais. A análise de agrupamento com base nos marcadores RAPD possibilitou a identificação de dois grupos distintos separando as progênies procedentes das regiões áridas da ilha de Wetar das demais. A divergência genética por características silviculturais e por marcadores RAPD apresentou pouca concordância entre si.

As informações moleculares de diversidade e distância genética podem auxiliar o melhorista no direcionamento do enriquecimento da base genética e na seleção dos progenitores de populações básicas ao estabelecer programas de melhoramento. Ferreira & Grattapaglia (1998) afirmam que tais populações são estabelecidas pelo cruzamento de materiais superiores, objetivando-se,

freqüentemente, a maximização da distância genética com a finalidade de recombinar genes ou complexos gênicos em novas combinações gênicas favoráveis. Caixeta (2000) aplicou a metodologia de RAPD no estudo de divergência genética de 44 matrizes de *Eucalyptus* ssp.. O nível de diversidade encontrado permitiu ao autor identificar as combinações que potencializam as distâncias genéticas entre os grupos, a fim de utilizá-las em cruzamentos preferenciais na geração de híbridos com ampla base genética.

2.2 Densidade da madeira

A densidade é, sem dúvida, uma das propriedades mais importantes da madeira, por se tratar de um parâmetro de qualidade muito utilizado nos diversos setores florestais. Fornece muitas informações a respeito das demais características, uma vez que, em sua maioria, as propriedades e as características tecnológicas importantes, tanto na produção quanto na utilização dos produtos florestais, são por ela afetadas (Shimoyama, 1990).

Além de indicadora de qualidade, a densidade básica pode ser um indicativo do uso final da madeira. Oliveira (1988) comenta que as madeiras muito leves são freqüentemente difíceis de serem trabalhadas, apresentando superfícies lanosas ao serem aplainadas. As de alta densidade apresentam problemas, quando trabalhadas, por provocarem desgaste nas ferramentas. A maior densidade corresponde, quase sempre, à maior retratibilidade, à maior dificuldade de trabalhabilidade (Stewart & Polak, 1985) e secagem, e à maior resistência mecânica.

A densidade pode ser expressa de várias formas, geralmente relacionando a massa com um determinado volume de madeira. A densidade básica, conhecida como "specific gravity" na literatura internacional, é a mais usada como índice de qualidade. Esta procura relacionar a massa da madeira

completamente seca em estufa com o seu respectivo volume saturado, sendo expressa em g/cm^3 ou kg/m^3 .

A densidade pode variar entre gêneros, entre espécies do mesmo gênero, entre árvores, dentro de uma mesma espécie e também entre diferentes partes de uma árvore (Panshin e De Zeeuw, 1980). Tais variações ocorrem, segundo Kollmann & Coté (1968), em razão das diferenças na estrutura e da presença de extrativos. A estrutura é caracterizada pela proporção dos diferentes tipos de células, como fibras, traqueídeos, vasos, parênquima axial e radial, e pelas suas dimensões, principalmente a espessura das paredes celulares. Fatores como herança genética, condições fisiológicas e fatores do meio (solo, temperatura, precipitação e ventos) afetam a estrutura da madeira e, conseqüentemente, a sua densidade. Estes fatores não permitem que a densidade seja considerada isoladamente, visto que ela é a consequência, e não a causa, da distribuição, tipos e composição dos elementos anatômicos que compõem a madeira (Foelkel, 1992).

A madeira das espécies mais conhecidas do gênero *Eucalyptus* apresenta, em seu país de origem, densidades básicas que variam de 0,27 a 0,99 g/cm^3 (Hillis e Brown, 1988). De acordo com um estudo do IPT (1956), no Brasil as densidades (peso e volume a 15% de umidade) destas espécies variam de 0,60 a 1,05 g/cm^3 . Isto corresponde a uma faixa de 0,47 a 0,83 g/cm^3 em valores de densidade básica.

Esta variabilidade tem importância tecnológica e, por isso, sempre foi muito estudada. As variações da densidade no sentido longitudinal são menos pronunciadas e não seguem um padrão definido, podendo assumir diversos comportamentos no sentido base topo: i) não variar (Vital, 1984; Sturion *et al.*, 1987); ii) crescer (Ferreira, 1968, 1970, 1972; Purnell, 1988; Brasil *et al.*, 1977); iii) decrescer (Sturion *et al.*, 1987, Shimoyama, 1990; Barrichelo *et al.*, 1983); iv) decrescer até 25% da altura e depois aumentar (Sturion *et al.*, 1987); v)

decrecer até 25% da altura, depois aumentar, decrescendo novamente no topo (Shimoyama, 1990) e vi) outros modelos de variação, menos freqüentes. Lima (1996) acredita que o modelo de variação mais comum para a densidade no gênero *Eucalyptus* é decrescente até o meio do tronco e crescente deste ponto até o topo.

As variações mais importantes são as que ocorrem no sentido radial. Para este tipo de variação, encontram-se muitos trabalhos na literatura que verificam, predominantemente, o aumento da densidade da medula em direção à casca (Souza *et al.*, 1979; Panshin e De Zeeuw, 1980; Foelkel *et al.*, 1983; Tomazello Filho, 1985; Carmo, 1996; Lima, 1996).

2.3 Retratibilidade

A retratibilidade é o fenômeno da variação dimensional da madeira quando há uma alteração no seu teor de umidade (IPT, 1985). As variações nas dimensões das peças de madeira começam a ocorrer quando esta perde ou ganha umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras.

Oliveira (1997) relata que o princípio da retratibilidade se deve ao fato das moléculas de água estarem ligadas, por pontes de hidrogênio, às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando, portanto, uma contração da madeira como um todo. O fenômeno da expansão é o inverso, e ocorre quando a água adsorvida pela madeira tende a penetrar entre as microfibrilas, causando o afastamento delas e conseqüente inchaço da peça de madeira como um todo.

A contração e a expansão da madeira são dois dos mais importantes problemas práticos que aparecem durante o seu uso, sendo resultantes da

mudança de umidade (Skaar, 1972), e podem ser seguidos pelo aparecimento de defeitos como empenamentos, fendas e rachaduras.

Dessa forma, mais importante do que avaliar a retratibilidade volumétrica total é ter conhecimento a respeito das contrações nas direções transversal e longitudinal (Oliveira, 1997). Os valores de contração longitudinal são muito pequenos e, por isso, são desprezados para a grande maioria dos usos finais da madeira.

Por ser anisotrópica, a madeira apresenta alterações dimensionais desiguais ao longo da direção transversal, podendo ser observada contração na direção tangencial até duas vezes maior do que na direção radial. A maior extensão das paredes tangenciais, o menor ângulo de inclinação das microfibrilas e outros fatores justificam as maiores variações na direção tangencial, em relação à radial (Tomazello Filho, 1994). A relação entre as contrações tangencial e radial (T/R) é considerada um índice de qualidade, comumente chamado de fator de anisotropia. A utilização da madeira para a produção de produtos finais de alta estabilidade dimensional requer um fator de anisotropia baixo (Panshin e De Zeeuw, 1980) e o mais próximo de uma unidade. Os valores variam de 1,3 a 1,4, para madeiras muito estáveis, a mais de 3,0 para espécies extremamente instáveis dimensionalmente, como no caso das madeiras de muitas espécies de *Eucalyptus* (Oliveira, 1997). Para os eucaliptos de importância econômica plantados no Brasil, as contrações tangencial, radial e volumétrica variam de 3,5 a 8,6 %, 7,8 a 21,9% e 13,2 a 35,7%, respectivamente (IPT, 1956).

As retrações da madeira variam em relação à posição da árvore. De forma geral, ela é maior na madeira juvenil, ou seja, mais próxima à medula, decrescendo rapidamente da medula para a casca, estando essa mudança relacionada com a rápida redução do ângulo microfibrilar na parede celular, com

o aumento do comprimento da célula e do teor de celulose (Panshin e De Zeeuw, 1980).

2.4 Propriedades mecânicas

A determinação das características mecânicas da madeira torna-se fundamental quando se deseja sua utilização como material de construção.

As magnitudes das propriedades mecânicas variam com a espécie da madeira, com a direção da força à qual é submetida a madeira e também com sua umidade. Aumentando-se os teores de extrativos da madeira, geralmente aumentam os valores de propriedades mecânicas, tais como compressão paralela às fibras, módulo de ruptura à flexão estática e resistência ao choque (Arganbright, 1971, citado por Rocha, 1994). As propriedades mecânicas variam inversamente com o teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. De acordo com Rocha (1994), este comportamento é compreensível, pois as variações na umidade produzem diferenças no peso específico da madeira e, conseqüentemente, resultam em variações na resistência (Panshin e De Zeeuw, 1970).

Lima (1999) afirma que a densidade básica é um bom preditor para explicar características mecânicas da madeira de *Eucalyptus*, e tem maior influência nas características de resistência do que nas características elásticas.

Cruz (2000), avaliando clones de *Eucalyptus* de 5,5 e 10,5 anos de idade, concluiu que as características mecânicas apresentam maior correlação com o comprimento de fibra e com o número de vasos/mm², entre as características anatômicas, e com a densidade básica, entre as características físicas.

A elasticidade é a medida da propriedade de um material que, ao sofrer a ação de uma força que nele provoca uma deformação, tende a voltar ao seu estado original após a retirada de tal força. Esta deformação pode ser recuperada

até um certo limite, chamado de limite de proporcionalidade. Deste ponto em diante, o material sofrerá alguma deformação, podendo até se romper. O módulo de elasticidade é de grande importância para o dimensionamento de peças que serão sujeitas a esforços de flexão ou de compressão.

A resistência à flexão é uma das mais importantes propriedades mecânicas na utilização da madeira como material de construção, sendo fundamental para o dimensionamento de vigas, pontes, telhados e outras construções de madeira.

Um estudo feito por Moura (2000) em dez clones de *Eucalyptus* spp. verificou que houve diferenças significativas para as propriedades mecânicas avaliadas (módulo de ruptura, compressão paralela às fibras e módulos de elasticidade) ao longo do fuste, sendo que, de modo geral, maiores valores foram observados nas toras superiores do tronco.

2.5 Parâmetros genéticos

Para a compreensão do melhoramento de plantas, Allard (1971) comenta que dois preceitos da seleção devem ser considerados: a seleção só pode atuar efetivamente se recair sobre diferenças herdáveis e; a seleção não cria variabilidade, apenas atua sobre a que já existe. Com efeito, a existência de variabilidade é fundamental para o sucesso de um processo de seleção.

Os estudos de variabilidade genética das características de interesse do melhorista são extremamente importantes, principalmente para a área florestal, devido a grande responsabilidade da seleção em espécies florestais e a impossibilidade de se pensar, a curto prazo, em muitos ciclos recorrentes de seleção.

Dentre os meios de avaliação desta variabilidade, destacam-se as estimativas de parâmetros genéticos, como: variância genotípica e seus

componentes aditivos e não aditivos, o coeficiente de herdabilidade, as interações genótipo x ambiente e as correlações entre características (Robinson e Cockerham, 1965; Kageyama, 1980).

Vencovsky (1969) aponta as possibilidades de emprego dos parâmetros genéticos: i) obtenção de informações sobre o tipo de ação dos genes em caracteres quantitativos, ii) orientação sobre o esquema mais adequado de seleção a ser adotado e iii) estimativa do progresso esperado na seleção.

Falconer (1987) cita que a genética de um caráter métrico centraliza-se no estudo de sua variação, sendo medida e expressa em termos de variância. Assim, a variância genética é a variância dos valores genotípicos. A variância ocasionada pelo ambiente é a variância dos desvios atribuídos ao ambiente e a variância total é a variância dos valores fenotípicos, sendo esta a soma dos componentes isolados.

A herdabilidade se define como o quociente da variância genética aditiva e a variância fenotípica (Kageyama, 1980), e expressa a proporção da variação na população que é atribuída a diferenças genéticas entre os indivíduos (Zobel e Talbert, 1984). A estimativa da herdabilidade é de fundamental importância por seu papel preditivo, expressando a confiabilidade do valor fenotípico como indicação do seu valor reprodutivo. Nos programas de melhoramento que envolvem seleção, o valor deste parâmetro contribui no julgamento sobre quais características merecem mais atenção, facilitando, assim, a tomada de decisões (Kageyama, 1980).

Outro parâmetro genético muito utilizado diz respeito à correlação entre características. O coeficiente de correlação expressa o grau em que dois caracteres quantitativos estão associados, em uma determinada população (Stell e Torrie, 1985). Este parâmetro é muito empregado na seleção precoce em programas de melhoramento, no zoneamento de ambientes e na seleção indireta de características afins (Paula, 1995), desde que sua magnitude seja elevada.

Para as características que apresentam baixa herdabilidade, ou até mesmo para uma mesma propriedade que possa ser expressa em duas diferentes condições, a eficiência da seleção pode ser aumentada pelo uso de correlações, que indicam o quanto uma propriedade está associada a outra que possua alta herdabilidade. Dessa forma, é possível conseguir êxito pela seleção indireta de uma característica ou de uma condição para uma única propriedade de baixa herdabilidade, a partir de outra que possua herdabilidade maior.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas.** São Paulo: Edgard Blucher, 1971. 381p.
- ARNHOLDT SCHMITT, B. **RAPD analysis: a method to investigate aspects of the reproductive biology of *Hypericum perforatum* L.** *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v.100, p. 906-911, 2000.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A.J. **Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp.** *Silvicultura*, São Paulo, v.8, n.28, p. 726-731, 1983.
- BINELLI, G.; BUCCI, G. **A genetic linkage map of *Picea abies* Karst., based on RAPD markers, as a tool in population genetics.** *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v.88, p. 283-288, 1994.
- BRADSHAW JUNIOR, H.D.; VILLAR, M.; WATSON, B.D.; OTTO, K.G.; STEWART, S.; STETTLER, R.F. **Molecular genetics of growth and development in *Populus*. III. A genetic linkage map of a hybrid poplar composed of RFLP, STS, and RAPD markers.** *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v.89, p. 167-178, 1994.
- BRASIL, M.A.M.; VEIGA, R.A. de A.; MELLO, H. do A. **Densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, aos 3 anos de idade.** *IPEF*, Piracicaba, v.19, p. 63-76, 1979.
- CAETANO-ANÓLLES, G.; BASSAN, B.J.; GRESSHOSS, P.M. **DNA amplification singerprioting: a strategy for genome analysis.** *Plant Molecular Biology Reporter*, New Brunswick, v.4, p. 294-307, 1991.
- CAIXETA, R.P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus*: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada.** Lavras: UFLA, 2000. 89p. (Dissertação - Mestrado em Produção Florestal).
- CÂNCIO, O.N. **Diversidade genética de progênes de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake por meio de metodologia quantitativa e marcadores moleculares RAPD.** Viçosa: UFV, 1999. 52p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

- CARMO, A.P.T. do. Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto. Viçosa: UFV, 1996. 74p. (Dissertação - Mestrado em Tecnologia da Madeira).
- CRUZ, C.R. Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira. Curitiba: UFPR, 2000. 64p. (Dissertação - Mestrado em Tecnologia da Madeira).
- ESBRISSE, E.J. Associação entre distâncias genéticas, determinadas com marcadores moleculares RAPD e características fenotípicas em *Eucalyptus* spp. Viçosa: UFV, 1998. 51p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- FALCONER, D.S. Introdução à genética quantitativa. Viçosa: UFV, 1987. 279p.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *E. saligna* Smith. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1., Curitiba, 1968. Anais... Curitiba: Faculdade de Florestas, 1968. p. 22.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* nas idades 11, 12, 13, 14 e 16 anos. IPEF, Piracicaba, v.4, p. 65-89, 1972.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba: ESALQ, 1970. 62p.
- FERREIRA, M.E.; GRATTAPLAGIA, D. Introdução ao uso de marcadores RAPD e RFPL em análise genética. Brasília: EMBRAPA/CENARGEN, 1998. 220p.
- FOELKEL, C. et al. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. Silvicultura, São Paulo, v.8, n.28, p. 728-791, 1983.
- FOELKEL, C; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. O Papel, São Paulo, v.53, n.5, p. 35-40, maio 1992.
- GRATTAPLAGIA, D.; BERTOLUCCI, F.L.; SEDEROF, R.R. Genetic mapping of QTLs controlling vegetative propagation in *Eucalyptus grandis*

- and *E. urophylla* using a pseudo-testcross strategy and RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v.90, p. 933-947, 1995.
- GRATTAPLAGIA, D.; SEDEROF, R.R. Genetic linkage maps of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* using a pseudo-testcross: mapping strategy and RAPD markers. *Genetics*, Baltimore, v.137, p. 1121-1137, Aug. 1994.
- HILLIS, W.E.; BROWM, A.G. *Eucalyptus* for wood production. Sidney: CSIRO, 1988. 434p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. São Paulo: IPT, 1985. 189p. (Boletim ABPM, 36).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Métodos de ensaios adotados no IPT para o estudo de madeiras nacionais. Tabelas de resultados obtidos para madeiras nacionais. Nomenclatura das madeiras nacionais. 2.ed. São Paulo, IPT, 1956. 62p. (Boletim Técnico, 31).
- KAGEYAMA, P.Y. Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. Piracicaba: ESALQ, 1980. 125p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. Principles of wood science and technology. New York: Springer-Verlag, 1968. 592p.
- KUMAR, S.; SPELMAN, R.J.; GARRICK, D.J.; RICHARDSON, T.E.; LAUSBERG, M.; WILCOX, P.L. Multiple-marker mapping of wood density *loci* in na outbred pedigree of radiata pine. *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v.100, p. 926-933, 2000.
- LANZA, L.L.B.; SOUZA JUNIOR, C.L. de; OTTOBONI, L.M.M.; VIEIRA, M.L.C.; SOUZA, A.P. de Genetic distance of inbred lines and prediction of maize single-cross performance using RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v.94, p. 1023-1030, 1997.
- LIMA, J.T. Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus*. Bangor: University of Wales, 1999. 276p. (Tese - Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

- LIMA, T.G. de. **Variações nos sentidos radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell. e *Eucalyptus pilularis* Sm.** Viçosa: UFV, 1996. 106p. (Dissertação - Mestrado em Tecnologia da Madeira).
- MACHADO, C.F. **Procedimentos para escolha de genitores do feijão.** Lavras: UFLA, 1999. 118p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- MELO, L.C. **Mapeamento de QTLs em feijoeiro, por meio de marcadores RAPD, em diferentes ambientes.** Lavras: UFLA, 2000. 148p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** São Paulo: FBS, 2000. 111p.
- MOURA, M.C. de O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*.** Lavras: UFLA, 2000. 63p. (Dissertação - Mestrado em Produção Florestal).
- MUHLEN, G.S. **Avaliação da diversidade genética de etnovarietades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) com marcadores de DNA: RAPD, AFLP e microssatélites.** Piracicaba: ESALQ, 1999. 176p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- MULLIS, K.; FALOONA, F. **Specific synthesis of DNA *in vitro* path a polimerase catalysed chain reaction.** *Methods in Enzymology*, New York, v.55, p. 335-350, 1987.
- NESBITT, K.A.; POTTS, B.M.; VAILLANCOURT, R.E.; WEST, A.K.; REID, J.B. **RAPD variation in *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae).** In: IUFRO, 1995, Hobart. *Anais...* [S.l.]: IUFRO, 1995. p.445-450.
- OLIVEIRA, J.T. da S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** São Paulo: Escola Politécnica/USP, 1997. 2v. (Tese - Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).
- OLIVEIRA, J.T. da S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba (*Xylopia sericea* St. Hill.).** Viçosa: UFV, 1988. 106p. (Dissertação - Mestrado em Tecnologia da Madeira).

- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4.ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. 722p.
- PAULA, R.D. de. **Variabilidade genética para densidade básica da madeira e para características de crescimento e de eficiência nutricional em famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.** Viçosa: UFV, 1995. 126p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- PRYOR, L.D. **The biology of *Eucalyptus***. London: The Institute of Biology's, 1976. 82p. (Studies in Biology, 61).
- PURNELL, R.C. **Variation in wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on the eastern transvaal highveld in South Africa.** South African Forestry Journal, Pretoria, n.144, p. 10-22, 1988.
- REIS, A.M.M. **Distribuição da variabilidade genética em aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Anacardiaceae) por marcadores RAPD e polimorfismo de seqüências de cp DNA.** Piracicaba: ESALQ, 1999. 123p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).
- REZENDE, V.F. **Caracteres agronômicos e marcadores RAPD associados ao gene de reação ao agente causal do oídio no feijoeiro.** Lavras: UFLA, 2000. 60p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- ROBINSON, H.F.; COCKERHAM, C.C. **Estimación y significación de los parámetros genéticos.** Fitotecnia latinoamericana, Caracas, v.2, p. 23-38, 1965.
- ROCHA, J. de S. **A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas.** Piracicaba: ESALQ, 1994. 141p. (Dissertação - Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira).
- SAKIYANA, N.S. **Marcadores moleculares e as hortaliças.** Horticultura Brasileira, Brasília, v.11, n.2, p. 204-206. 1993.
- SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** Piracicaba: ESALQ, 1990. 93p. (Dissertação - Mestrado em Tecnologia da Madeira).

- SKAAR, C. *Water in wood*. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. 218p.
- SOUZA, A.P. de; DELLA LUCIA, R.M.; RESENDE, G.C. de. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcory* F. Muell., cultivado na região de Dionízio, MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v.3, n.1, p. 16-27, 1979.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. *Bioestatística: princípios y procedimientos*. 2.ed. Bogotá: McGraw-Hill, 1985. 622p.
- STEWART, H.A.; POLAK, D.J. Relating specific gravity and mechanical properties of hardwoods to machining defects. *Forest Products Journal*, Madison, v.35, n.10, p. 69-72, 1985.
- STURJON, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; ALBINO, J.C. MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. *Boletim de Pesquisa Florestal/EMBRAPA*, Curitiba, n.17. p. 28-38, 1987.
- TOMAZELLO FILHO, M. *Notas de aula de formação, anatomia, propriedades e identificação de madeiras*. Piracicaba: ESALQ, 1994. não paginado.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. *IPEF*, Piracicaba, v.29, p. 37-45, 1985.
- VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: KERR, W.E. (coord.). *Melhoramento e genética*. São Paulo: Melhoramentos, 1969. p. 17-37.
- VERHAEGEN, D.; PLOMION, C.; GION, J.M.; POITEL, M.; COSTA, P.; KREMER, A. Quantitative trait dissection analysis in *Eucalyptus* using RAPD markers. 1. Detection of QTL in interspecific hybrid progeny, stability of QTL expression across different ages. *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v.95, p. 597-608, 1997.
- VITAL, B.R. *Métodos de determinação da densidade da madeira*. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1)
- WELSH, J.; McCLELLAND, M. Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. *Nucleic Acids Research*, Oxford, v.18, p. 7213-7218, 1990.

WILLIAMS, J.G.; KUBELIK, A.R.; LIVAK, K.J.; RAFALSKI, L.A.; TINGEY, S.V. DNA polymorphism amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*, Oxford, v.18, p. 6531-6535, 1990.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. *Applied forest tree improvement*. New York: John Wiley & Sons, 1984. 505p.

CAPÍTULO II

DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM CLONES DE *Eucalyptus* AVALIADA POR MARCADORES RAPD

RESUMO

XAVIER, K.G. Divergência genética em clones de *Eucalyptus* avaliada por marcadores RAPD. Lavras: UFLA, 2001. Cap. II, 107p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)¹.

Este estudo teve como objetivos: i) analisar a divergência genética em populações de clones de *Eucalyptus* spp. por meio de marcadores RAPD; e ii) investigar o poder de discriminação destes marcadores para a formação de diferentes grupos de genótipos e para a indicação de cruzamentos preferenciais. Foi realizado na Fazenda Riacho, de propriedade da Votorantin-Agro, localizada a 17°36'09"S e 46° 42'42"W, a 550 metros de altitude, no município de Paracatu, noroeste de Minas Gerais. O material genético constou de folhas jovens coletadas de dezenove clones. Para a extração do DNA e reações RAPD, seguiu-se os protocolos de Nienhuis *et al.* (1995). Os produtos da amplificação foram separados por eletroforese, em gel de agarose, corados e fotografados. Estes foram analisados quanto a presença ou ausência das bandas, formando uma matriz, que foi utilizada para o cálculo das distâncias genéticas e para a construção de um dendrograma, que agrupou os genótipos segundo o método UPGMA. Entre cada par de grupos foram identificados os clones que potencializaram a variabilidade genética, a fim de serem utilizados em cruzamentos preferenciais no programa de melhoramento. De acordo com os resultados, foram amplificados 174 fragmentos de DNA, sendo 25 monomórficos (14,4%) e 149 polimórficos (85,6%), revelando a alta divergência genética do material analisado. A distância genética média foi de 61%, com amplitude de 46 a 84%. As elevadas distâncias genéticas, detectadas por marcadores RAPD, indicam o estágio de pouca domesticação desta população de clones, sugerindo sua utilização nas próximas etapas do programa de melhoramento. Estas foram eficientes para classificar os clones com diferentes níveis de divergência, separando-os em cinco grupos distintos em nível de 90% de dissimilaridade.

¹Comitê Orientador: Dulcinéia de Carvalho - UFLA (Orientadora),
Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Co-Orientador).

CHAPTER II

GENETIC DIVERGENCES IN CLONES OF *EUCALYPTUS* DETERMINED BY MEANS OF RAPD MARKERS

ABSTRACT

XAVIER, K.G. Genetic divergences in clones of *Eucalyptus* determined by means of RAPD markers. Lavras: UFLA, 2001. Chapter II, 107p. (Dissertation - Masters Degree in Forest Engineering).¹

The objectives of the present study were to analyze the genetic divergence in clone populations of *Eucalyptus* spp. by means of RAPD markers; and to investigate the discriminating capacity of RAPD markers for the formation of different genotype groups and for pointing out preferable crossings. The experiment was carried out at "Fazenda Riacho", located in Paracatu municipality, Northwest of Minas Gerais State. The genetic material was composed of young leaves collected from nineteen clones. For the DNA extractions and RAPD reactions, the protocols of Nienhuis *et al.* (1995) were followed. The amplification products were separated by electrophoresis, in agarose gel, dyed and photographed. They were also analyzed as to the presence or absence of bands, forming a matrix, which was used for calculating the genetic distances and building a dendrogram grouping the genotypes according to the UPGMA method. The clones, which boosted the genetic variability, were identified within each pair of groups in order to be employed in preferential crossings in the genetic improvement program. According to the results, 174 DNA fragments were amplified, being 25 monomorphic (14,4%) and 149 polymorphic (85,6%), revealing the high genetic divergence of the material analyzed. The average genetic distance was 61%, ranging from 46 to 84%. The high genetic distances, detected by means of RAPD markers, indicate the low domestication state of this clones population, suggesting its use in the following stages of the genetic improvement program. The genetic distances were efficient for classifying clones showing different divergence levels, ranking them into five distinct groups at 90% dissimilarity levels.

¹ Advising Committee: Dulcinéia de Carvalho - UFLA (Adviser),
Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Co-adviser).

1 INTRODUÇÃO

Os programas de melhoramento florestal no Brasil devem incorporar características da madeira que permitam a sua utilização em diversos setores da indústria, principalmente a moveleira e da construção civil.

Para que isto se torne uma realidade, é necessário o conhecimento da variabilidade genética existente entre e dentro de populações, com interesse de definir novos programas de melhoramento geradores de múltiplos produtos como: sólidos de madeira (madeira serrada, madeira processada para a produção de aglomerados, compensados, chapas de fibras e outros), carvão vegetal, pasta celulósica, papel, etc.

Dentre as várias estratégias de melhoramento florestal, destaca-se a seleção de genótipos superiores por meio de estudos biométricos (testes de procedência, progênie, clonal), que demandam um período de tempo relativamente longo e amplo espaço físico para sua implantação.

Diante disto, a utilização de técnicas atuais de biologia molecular constituem importante ferramenta, pois permitem a redução do tempo de melhoramento e a indicação de populações com maior variabilidade para, assim, proporcionar o alcance de maiores ganhos genéticos.

Entre as técnicas de biologia molecular, os marcadores RAPD destacam-se por detectar grande polimorfismo, não serem afetados por condições ambientais e possibilitarem a extração em qualquer idade da planta (Ferreira e Grattapaglia, 1998). Além disso, esse tipo de marcador permite um grande número de informações em curto tempo e por um custo acessível, possibilitando sua utilização na maioria dos programas de melhoramento.

Neste contexto, os objetivos deste estudo foram:

- i. Analisar a divergência genética em populações de clones de *Eucalyptus* spp. por meio de marcadores RAPD; e

- ii. Investigar o poder de discriminação destes marcadores para a formação de diferentes grupos de genótipos e para a indicação de genitores em cruzamentos preferenciais nos pomares clonais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Biológico

O estudo foi realizado no Laboratório de Melhoramento Florestal do Departamento de Ciências Florestais, na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram analisados 19 clones de *Eucalyptus* spp. com 63 meses de idade, plantados no espaçamento 10 m x 4 m, provenientes da Fazenda Riacho, de propriedade da Companhia Mineira de Metais (CMM-AGRO), localizada no município de Paracatu, região noroeste de Minas Gerais. A área está situada a 17°36'09" S de latitude, longitude de 46°42'42" oeste de Greenwich e altitude de 550 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 24° C e a precipitação média anual é de 1450 mm.

O material genético constou de folhas coletadas de 2 rametes de cada clone de eucalipto. Estas foram devidamente identificadas, mantidas a $\pm 4^{\circ}$ C e conduzidas ao laboratório para a realização do estudo.

Os procedimentos para extração do DNA e reação de RAPD foram feitos conforme os protocolos desenvolvidos por Nienhuis *et al.* (1995), com algumas alterações para que os ensaios fossem otimizados, a fim de se obterem produtos de amplificação de melhor qualidade.

2.2 Extração de DNA

Cerca de dois gramas de folhas jovens foram trituradas em 10 ml de tampão de extração a 65°C, areia lavada e PVP (polivinilpirrolidone), em um almofariz. O tampão de extração constituiu de 2% de CTAB, 100 mM de Tris (pH = 8,0), 20 mM de EDTA (pH = 8,0), 1,4 M de NaCl e 1% PVP. O material

macerado foi colocado em tubos de ensaio, juntamente com 20 µl de β-mercaptoetanol, e incubado por 60 minutos em banho-maria, a 65°C. Depois de resfriado, foi realizada a primeira extração dos ácidos nucleicos com clorofórmio: álcool isoamil (24:1). Durante essa extração, as fases orgânica e aquosa foram separadas por centrifugação a 7.000 rpm, por 30 minutos, e coletado o sobrenadante.

Em seguida, os ácidos nucleicos foram precipitados pela adição de 30 ml da mistura etanol 95% e acetato de amônio 7,5M (6:1) e a solução foi mantida a -18° C, por 24 horas. Após a precipitação, os ácidos nucleicos foram transferidos para tubos de microcentrifuga tipo “ependorf”, centrifugados por 5 minutos a 4.000 rpm, colocados para secar e rehidratados em tampão TE (1 mM Tris e 0,1 mM EDTA).

A segunda extração foi realizada com 300 µl de clorofórmio-álcool isoamil (24:1). Após a centrifugação do material a 13.000 rpm por 5 minutos, o sobrenadante foi precipitado e transferido para um tubo eppendorf novo. A este adicionou-se uma mistura de acetato de sódio 3 M: etanol 95% (1:20), em quantidade pelo menos três vezes o volume de DNA. A solução foi mantida a -20°C por pelo menos 1 hora para promover a precipitação dos ácidos nucleicos. Logo após, os tubos foram novamente centrifugados a 12.000 rpm, por 5 minutos. Uma nova lavagem do material foi realizada com 100 µl de etanol 70%, mantendo-o por 10 minutos em temperatura ambiente, seguida de uma centrifugação a 12.000 rpm, por 10 minutos. Finalmente, os ácidos nucleicos foram rehidratados em tampão TE e quantificados pelo fluorímetro Hoeffler DQ 200.

Para igualar as diferentes concentrações de DNA a 10 ng/ml, foram feitas, para todos os genótipos, diluições em tampão TE de acordo com a expressão: Vol TE em ml = (média das concentrações de DNA * 5) – 50. A

partir de então, as amostras se apresentaram totalmente adequadas para as reações PCR-RAPD.

2.3 Amplificação do DNA

Cada reação de RADP foi preparada em volume de 10 µl com a seguinte composição: 40ng de DNA genômico, 100 µM de cada um dos desoxirribonucleotídeos (dATP, dCTP, dGTP, dTTP), 0,4 µM de um oligonucleotídeo iniciador, 0,6 unidades da enzima Taq DNA-polimerase, 50 mM de Tris pH 8,3, 20 mM de KCl, 2 mM de MgCl₂, 5 µg. µl⁻¹ de BSA, 0,25% de Ficol 400, 10 mM de tartrazina e água pura. As reações foram feitas em tubos de 0,2 ml, em um termociclador GeneAmp PCR System 9700 programado para 45 ciclos, nas seguintes condições: uma etapa de 2 minutos, a 94°C, para a desnaturação inicial; 15 segundos para desnaturação a 94°C; 30 segundos para anelamento do iniciador a 42°C, e 30 segundos para extensão a 72°C. Por fim uma etapa de 2 minutos, a 72°C, para extensão final. Para a geração do polimorfismo foram utilizados 28 oligonucleotídeos, adquiridos junto a “Operon Technologies”, Califórnia - Estados Unidos (Tabela 2.1).

TABELA 2.1 - Relação dos oligonucleotídeos utilizados com as respectivas seqüências de bases.

Oligonucleotídeo	Seqüência 5'→ 3'
OPA-11	CAATCGCCGT
OPA-18	AGGTGACCGT
OPB-01	GTTTCGCTCC
OPB-04	GGA CTGGAGT
OPB-17	AGGGAACGAG
OPD-05	TGAGCGGACA
OPD-08	GTGTGCCCA

“... continua ...”

“TABELA 2.1, Cont.”

OPD-11	AGCGCCATTG
OPJ-09	TGAGCCTCAC
OPJ-13	CCACACTACC
OPJ-17	ACGCCAGTTC
OPJ-18	TGGTCGCAGA
OPJ-19	GGACACCACT
OPJ-20	AAGCGGCCTC
OPM-14	AGGGTCGTTC
OPM-17	TCAGTCCGGG
OPM-20	AGGTCTTGGG
OPN-01	CTCACGTTGG
OPN-02	ACCAGGGGCA
OPN-03	GGTACTCCCC
OPN-05	ACTGAACGCC
OPN-07	CAGCCCAGAG
OPN-09	TGCCGGCTTG
OPN-20	GGTGCTCCGT
OPX-02	TTCCGCCACC
OPX-07	GAGCGAGGCT
OPX-09	GGTCTGGTTG
OPX-14	ACAGGTGCTG

2.4 Eletroforese

Os produtos da amplificação foram separados por eletroforese, em gel de agarose 1,0%, em tampão TBE (0,045 M Tris-Borato e 0,001M EDTA), a 50V por 150 minutos. Posteriormente foram corados com brometo de etídio à concentração de 0,5 μ l/ml, visualizados em transiluminador de luz ultravioleta Bio-Rad e fotografados por máquina Polaroid.

2.5 Análise dos produtos da amplificação

As fotografias foram analisadas por meio da seleção dos fragmentos amplificados de DNA de boa resolução. As bandas foram tabuladas formando

uma matriz de 0 e 1, codificando 0 para ausência e 1 para presença de uma determinada banda nos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.. A presença ou ausência de determinada banda em mais de um genótipo foi considerado similaridade entre si. A presença da banda em um genótipo e a ausência em outro caracterizou dissimilaridade. Essas observações acumuladas permitiram a quantificação do nível de polimorfismo genético entre os genótipos analisados.

2.6 Análise estatística dos dados moleculares

Os dados gerados pela metodologia RADP foram analisados no programa NTSYS - PC 2.0 (Rohlf, 1992). A distância genética foi calculada aos pares, utilizando-se o complemento do coeficiente de Jaccard (Jaccard, 1908), segundo a expressão:

$$D_{ij} = (1 - S_{ij}) \times 100$$

Em que:

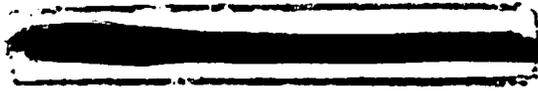
- D_{ij} - distância genética entre o par de genótipos i e j;
- S_{ij} - coeficiente de similaridade de jaccard

Sendo:

$$S_{ij} = \frac{a}{(a + b + c)}$$

Em que:

- a - nº de bandas presentes nos genótipos i e j;
- b - nº de bandas presentes apenas no genótipo i;
- c - nº de bandas presentes apenas no genótipo j.



Uma matriz quadrada foi gerada, contendo as distâncias genéticas entre os genótipos analisados. Esta foi utilizada para construir um dendrograma, utilizando-se o programa STATISTICA (Slice, Kin e Walker, 1994), que agrupou os genótipos segundo o método da média aritmética entre pares não ponderados (UPGMA - Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Average), desenvolvido por Sokal e Michener (1958).

A partir dos grupos discriminados pelo dendrograma, foi elaborada uma matriz de distâncias genéticas entre e dentro dos grupos para identificar os pares de genótipos que potencializam a variabilidade entre os grupos aos quais pertencem, a fim de serem utilizados em cruzamentos preferenciais, no programa de melhoramento da empresa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Marcadores RAPD

A análise da variabilidade genética entre os clones de *Eucalyptus* spp. foi realizada utilizando 28 oligonucleotídeos, os quais estão relacionados na Tabela 2.1. Foram amplificados 174 fragmentos de DNA, sendo 25 monomórficos (14,4%) e 149 polimórficos (85,6%). Este total proporcionou um número médio de 6,2 bandas amplificadas por oligonucleotídeo.

O número de bandas polimórficas variou de acordo com o oligonucleotídeo utilizado (Tabela 2.2). Os iniciadores OPN-01, OPN-03, OPN-20 e OPM-20 mostraram-se pouco eficientes na detecção do polimorfismo, propiciando, cada um, a amplificação de apenas 2 fragmentos de DNA. Este fato não coincide com observações sobre o desempenho dos demais oligonucleotídeos, que se revelaram poderosos na geração de 6 fragmentos (OPX-09, OPJ-13), 8 (OPJ-19, OPN-07) e até 9 fragmentos polimórficos (OPB-04).

TABELA 2.2 - Relação do número de produtos amplificados por cada oligonucleotídeo, com suas respectivas porcentagens de polimorfismo.

Oligonucleotídeo	Nº de produtos amplificados	Nº de bandas polimórficas	Porcentagem de polimorfismo
OPA-11	7	6	85,7
OPA-18	4	4	100
OPB-01	5	5	100
OPB-04	9	9	100
OPB-17	7	6	85,7
OPD-05	5	3	60
OPD-08	7	7	100
OPD-11	7	6	85,7

“... continua ...”

“TABELA 2.2, Cont.”

OPJ-09	6	6	100
OPJ-13	8	6	75
OPJ-17	8	8	100
OPJ-18	6	6	100
OPJ-19	8	8	100
OPJ-20	5	3	60
OPM-14	4	3	75
OPM-17	8	7	87,5
OPM-20	4	2	50
OPN-01	4	2	50
OPN-02	5	5	100
OPN-03	4	2	50
OPN-05	7	7	100
OPN-07	8	8	100
OPN-09	8	7	87,5
OPN-20	4	2	50
OPX-02	5	4	80
OPX-07	5	4	80
OPX-09	7	6	85,7
OPX-14	9	7	77,8

A ocorrência de polimorfismo entre os clones pode ser observada, por exemplo, ao se amplificarem as preparações de DNA com o oligonucleotídeo OPX-14 (Figura 2.1).

A alta diversidade genética verificada indica que a população de clones estudada encontra-se num estágio de pouca domesticação, uma vez que o gênero *Eucalyptus* vem sendo geneticamente melhorado há poucos anos, para alguns segmentos do setor florestal e em pequena escala. Dessa forma, uma cultura pouco manipulada pode ter seu polimorfismo facilmente acessado, pois, para isso, é necessário um pequeno número de oligonucleotídeos. Esbribe (1998), estudando a divergência genética entre genitores de *E. urophylla* e *E. pellita*, utilizou 14 oligonucleotídeos para amplificar 129 fragmentos de DNA, uma média de 7,6 bandas por iniciador. Deste total, 86% foram polimórficos e 14% monomórficos, proporções equivalentes às detectadas no presente estudo. Pode-

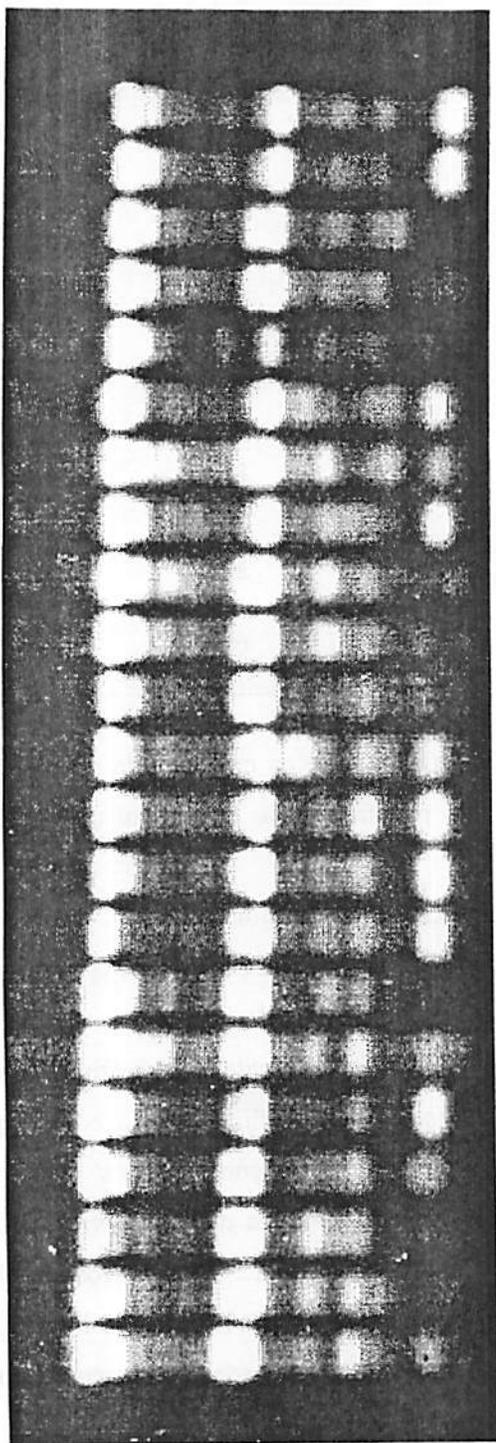


FIGURA 2.1 - Eletroforese, em gel de agarose, de fragmentos de DNA de genótipos de *Eucalyptus* spp., amplificados com o uso do oligonucleotídeo OPX-14.

se perceber que o material dispõe de um enorme potencial para ser utilizado em programas de melhoramento visando ganhos genéticos significativos, desde que este polimorfismo molecular revelado corresponda a regiões do genoma que possam vir a ser expressadas, conforme observações de Cândia (1999).

Em contrapartida, culturas já muito melhoradas e trabalhadas pelo homem, especialmente as anuais, geralmente apresentam baixo grau de polimorfismo genético; por isso, demandam um grande número de oligonucleotídeos para disponibilizar sua variabilidade genética. Isto pode ser exemplificado com o trabalho de Machado (1999), que estimou a divergência genética entre doze cultivares de feijão. A autora utilizou 85 iniciadores, que geraram 528 produtos de amplificação, dos quais apenas 137 foram polimórficos, ou seja, 26% do total.

3.2 Análise da divergência genética

Uma matriz de zero e um foi construída a partir da análise das 149 bandas polimórficas e serviu de base para o cálculo das distâncias genéticas entre todos os clones (Tabela 2.3). A distância genética média das 171 estimativas obtidas foi de 61%, com amplitude de 46 a 84%. Estes resultados ultrapassam os encontrados em trabalhos semelhantes com *Eucalyptus* spp.. Caixeta (2000) encontrou uma distância média de 54%, Cândia (1999) verificou divergência de 31% e Esbrisse (1998) observou 60% de dissimilaridade média, confirmando o grande potencial do material como amplificador da base genética através de cruzamentos dos genótipos mais divergentes.

As menores distâncias foram obtidas entre os pares mais próximos: 58 e 74 (46%), 7 e 67 (46%), 42 e 44 (47%). Os pares mais distantes apresentaram as maiores distâncias: 26 e 64 (82%), 39 e 64 (82%), 16 e 64 (84%). As menores distâncias estão associadas aos genótipos geneticamente mais semelhantes e as

TABELA 2.3 - Matriz de distâncias genéticas (%) entre dezenove clones de *Eucalyptus* spp., obtidas a partir de dados de marcadores RAPD e expressas pelo complemento aritmético do coeficiente de Jaccard.

	16	39	44	41	74	26	42	19	13	67	18	7	65	36	64	66	57	58	55	
16	0																			
39	54	0																		
44	54	51	0																	
41	55	46	55	0																
74	57	60	59	55	0															
26	62	60	66	66	68	0														
42	52	51	47	50	50	67	0													
19	59	53	62	54	53	60	56	0												
13	78	72	72	63	67	78	70	70	0											
67	62	52	55	62	58	64	58	52	64	0										
18	61	55	59	58	58	68	55	57	70	60	0									
7	61	56	65	61	58	58	54	49	68	46	51	0								
65	58	60	62	58	57	63	59	57	69	51	57	50	0							
36	58	56	61	50	60	64	57	54	73	59	57	48	54	0						
64	84	82	74	78	70	82	70	76	66	81	73	72	80	73	0					
66	69	61	67	57	63	71	67	65	52	60	60	62	54	61	76	0				
57	62	56	60	62	59	57	62	61	71	57	65	58	58	54	73	63	0			
58	68	66	66	62	46	70	62	57	73	64	60	58	59	56	64	64	55	0		
55	73	65	63	63	60	69	63	69	76	67	65	62	67	63	67	68	59	48	0	

maiores, aos mais divergentes. A seleção dos genótipos mais divergentes é de grande importância para a ampliação da base genética do material. Esta seleção é fundamental para o sucesso de qualquer programa de melhoramento, pois com ela multiplicam-se as chances de encontrar genótipos mais adequados aos objetivos do trabalho. Dessa forma, os três pares que apresentaram as maiores distâncias são indicados para serem utilizados como genitores em programas de hibridização, sendo divergentes entre si em mais de 80%. Nota-se claramente que o clone 64 está envolvido em todos eles, mostrando-se altamente divergente dos demais. Isto significa que ele poderá ser combinado com todos os outros genótipos, pois mantém uma distância genética relativa muito grande. Assim, os híbridos gerados desses cruzamentos apresentarão, via de regra, ampla variabilidade genética, condição ideal para o trabalho do melhorista.

Excetuando o caso excepcional do clone 64, observa-se, pela matriz das distâncias genéticas, que são muitos os pares de genótipos que se mostraram promissores para a geração de populações com ampla variabilidade genética. Por exemplo, os pares 13 e 16, 44 e 64, 26 e 66, 13 e 36, 57 e 64 apresentaram distâncias entre si superiores a 70%, consideradas elevadas para culturas pouco domesticadas, como o eucalipto.

O agrupamento dos clones, com base na matriz das distâncias genéticas pelo método UPGMA, é apresentado na Figura 2.2. Considerando a separação do agrupamento em nível de 90% (0,9) de dissimilaridade genética, obtiveram-se cinco grupos distintos. A Tabela 2.4 apresenta os genótipos que compõem cada um dos grupos. O grupo I é o maior, formado por doze clones. O grupo II contempla três genótipos, o grupo IV é formado por dois, seguido pelos grupos III e V, com apenas um genótipo cada. A respeito do grupo I, percebe-se a formação de 2 subgrupos. O subgrupo IA inclui os clones 16, 39, 41, 42 e 44, enquanto o subgrupo IB é formado pelos clones 7, 18, 19, 36, 57, 65, 67.

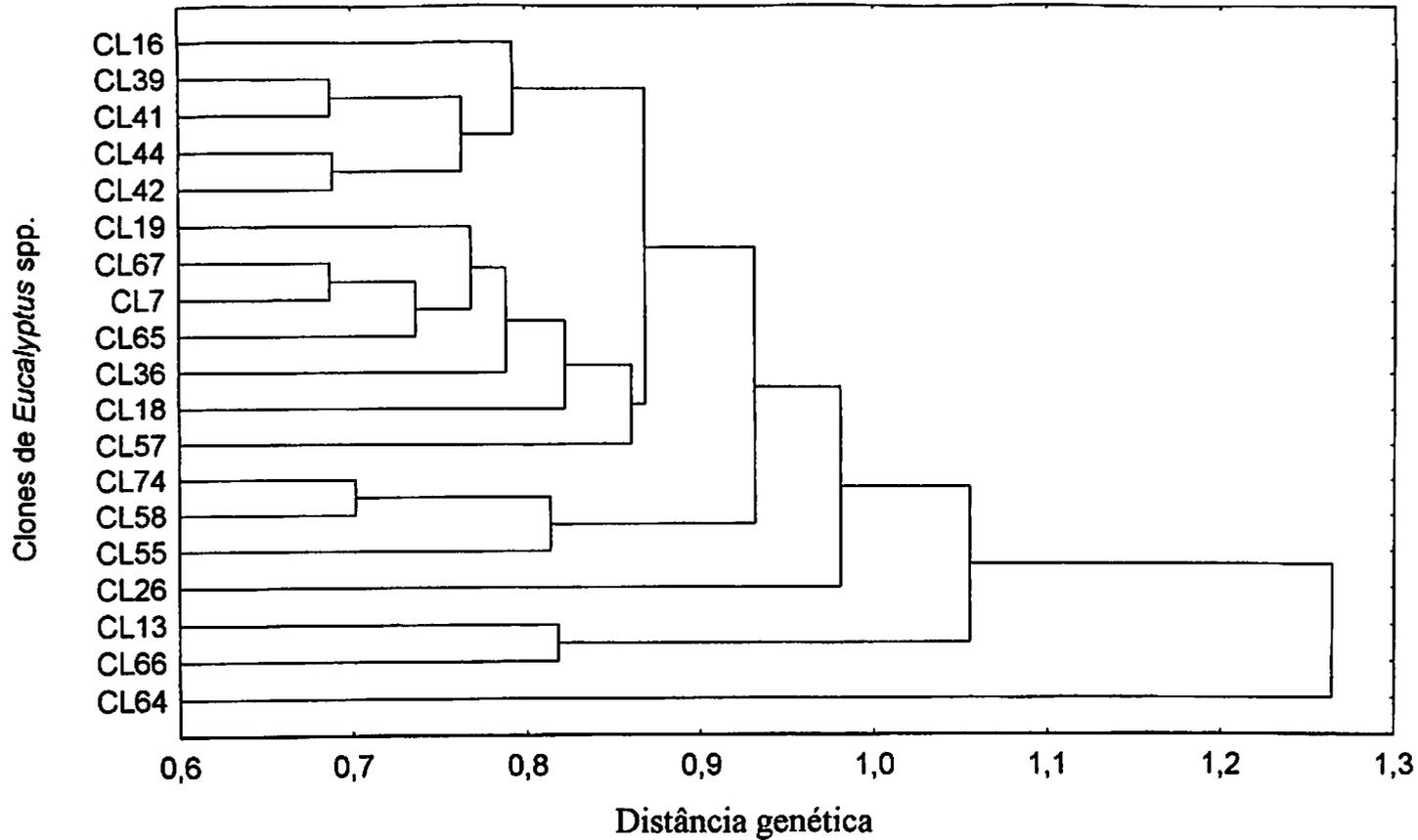


FIGURA 2.2 - Análise de agrupamento de dezenove clones de *Eucalyptus* spp., com base na matriz de distâncias genéticas obtidas com marcadores RAPD, utilizando-se o método UPGMA.

TABELA 2.4 - Agrupamento de genótipos de *Eucalyptus* spp., discriminados ao nível de 90% de dissimilaridade genética por dendrograma obtido pelo método UPGMA.

Grupos	Clones
I	IA: 16 39 41 42 44 // IB: 7 18 19 36 57 65 67
II	55 58 74
III	26
IV	13 66
V	64

A análise de agrupamento foi realizada com o objetivo de verificar o poder de discriminação dos marcadores RAPD. Os resultados sugerem que tal discriminação foi bastante diferenciada, uma vez que os grupos incluíram números distintos de genótipos.

O clone 64 foi o mais divergente entre os estudados, confirmando o resultado anterior. Seu grau de dissimilaridade em relação aos demais foi tão elevado que, para se integrar ao grupo mais próximo, seria necessário adotar um corte de 105% (1,05) de distância genética, ponto em que nenhum grupo é diferenciado. Também as populações provenientes dos clones 13, 26 e 66 são esperadas como potenciais de ampla variabilidade por apresentarem alto grau de divergência.

A partir do conhecimento dos cinco grupos discriminados pelo dendrograma, com seus respectivos genótipos, foi elaborada uma matriz de distâncias genéticas entre e dentro dos grupos.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 2.5, verifica-se que as distâncias intragrupos foram menores que as intergrupos, sugerindo que cruzamentos feitos dentro de um mesmo grupo levarão a híbridos geneticamente muito semelhantes, acarretando na redução da base genética do material, o que não é desejável para o melhoramento.

TABELA 2.5 - Distâncias genéticas entre os grupos discriminados pelo dendrograma, obtido pelo método UPGMA.

	G I	G II	G III	G IV	G V
G I	56				
G II	61	51			
G III	63	69	-		
G IV	66	69	75	52	
G V	76	65	82	71	-

As formações que apresentaram distâncias genéticas superiores a 70% (0,7) foram os grupos III e IV e os grupos V com I, III e IV. A maior divergência foi observada entre os grupos III e V, com 82% (0,82) de distância genética, justamente os formados pelos genótipos 26 e 64, respectivamente. Estes foram os genótipos mais diferentes e, por isso, serão os mais eficientes em quaisquer cruzamentos com os demais clones avaliados.

A combinação 26 x 64 representa a potencialização da variabilidade genética entre os grupos aos quais ests genótipos pertencem. Dessa forma, entre cada par de grupos foram selecionados os genótipos que promoverão a maximização da divergência genética em uma próxima geração. A partir daí foi elaborada uma planilha (Tabela 2.6) apresentando claramente os cruzamentos preferenciais que o melhorista deverá adotar na próxima etapa de seu programa de melhoramento.

TABELA 2.6 - Combinações de genótipos de *Eucalyptus* spp. que promoveram a maximização da variabilidade genética entre os grupos.

	G I	G II	G III	G IV	G V
G I	7 x 44				
G II	16 x 55	55 x 74			
G III	18 x 26	26 x 58	-		
G IV	13 x 16	13 x 55	13 x 26	13 x 66	
G V	16 x 64	55 x 64	26 x 64	64 x 66	-

Por exemplo, o clone 64, constituinte do grupo V, poderá ser utilizado em cruzamentos específicos com todos os genótipos do grupo I, pois a divergência entre eles é considerada elevada. Porém, o par 64 x 16 atinge a variabilidade máxima entre aqueles grupos, com 84% (0,84) de distância genética. Pensando em usos específicos da madeira de eucalipto, deve-se selecionar os clones que apresentam propriedades físicas e mecânicas apropriadas para tal.

A Tabela 2.6 constitui o resultado prático e direto deste trabalho. Mais do que isso, ela ressalta a importância da utilização deste tipo de estudo por parte de empresas florestais, visando à economia de tempo e recursos a médio e longo prazo. Para que esta pesquisa fosse realizada há alguns anos, seria necessário implantar um teste clonal para acomodar os 171 cruzamentos possíveis entre os dezenove clones, o que demandaria uma área enorme da empresa florestal, principalmente quando se utiliza o sistema agroflorestal, implementado no espaçamento 10 x 4 m.

Com efeito, como qualquer plantio florestal, o teste clonal requer todos os cuidados silviculturais, como capinas, controle de formigas e pragas e manutenção, além de mão-de-obra para a execução destas tarefas, implicando em gastos consideráveis para a empresa por um determinado período. Também existe a necessidade dos cruzamentos prévios dos clones, o que não é tarefa fácil, devido à demanda de mão-de-obra e laboratório especializados. Outro ponto desfavorável é a demora para alcançar os resultados. Levam-se anos até que as árvores atinjam porte ideal para a análise. Além disso, a seleção dos melhores híbridos é feita com base em suas características fenotípicas, podendo gerar muitos equívocos, pois o desempenho do melhor híbrido pode não se repetir em outros sítios, devido à forte interação genótipo x ambiente.

A técnica RAPD revolucionou pesquisas em biotecnologia de vários segmentos, inclusive nas áreas agrícola e florestal, revelando-se uma ferramenta

poderosa e útil. A utilização desta tecnologia, neste estudo, dispensou a instalação de experimentos no campo e os cruzamentos prévios, pois todo o trabalho foi realizado em laboratório, implicando em economia de espaço físico e de recursos para a empresa florestal. Outra vantagem foi a rapidez a que se chegou aos resultados. Vale ressaltar, também, que os resultados gerados pelo RAPD são muito confiáveis, pois os genótipos foram analisados em nível molecular. Isto significa que toda a variação detectada é de causa genética, anulando a influência do ambiente. Enfim, a aplicação desta técnica permitiu partir de um total de 171 opções de cruzamentos, cujos desempenhos são desconhecidos, e selecionar 13 combinações classificadas como preferenciais, pois estas certamente vão gerar populações com ampla variabilidade genética a ser liberada, traduzindo em altos ganhos com a seleção.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e discutidos neste capítulo, conclui-se que:

- a) Os marcadores RAPD foram eficientes no estudo da divergência genética entre os clones de *Eucalyptus* spp., detectando 85,6% de polimorfismo;
- b) A elevada divergência genética detectada por marcadores RAPD indica o estágio de pouca domesticação do material, sugerindo sua utilização na próxima etapa do melhoramento, a qual envolverá programas de hibridização dos genótipos mais divergentes;
- c) As distâncias genéticas obtidas por marcadores RAPD foram eficientes para classificar os clones com diferentes níveis de divergência, separando-os em cinco grupos distintos;
- d) Os genótipos 26 e 64 revelaram-se como materiais promissores a serem utilizados em cruzamentos preferenciais, combinando-se com os demais clones, a fim de enriquecer a base genética e obter ganhos elevados com a seleção durante o andamento do programa de melhoramento.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAIXETA, R.P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus*: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada.** Lavras: UFLA, 2000. 89p. (Dissertação - Mestrado em Produção Florestal).
- CÂNCIO, O.N. **Diversidade genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake por meio de metodologia quantitativa de marcadores moleculares RAPD.** Viçosa: UFV, 1999. 52p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- ESBRISSE, E.J. **Associação entre distâncias genéticas, determinadas com marcadores moleculares RAPD e características fenotípicas em *Eucalyptus* spp.** Viçosa: UFV, 1998. 51p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores RAPD e RFPL em análise genética.** Brasília: EMBRAPA/CENARGEN, 1998. 220p.
- JACCARD, P. **Nouvelles recherches sur la distribution florale.** *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, Lausanne, v.44, p. 223-270, 1908.
- MACHADO, C.F. **Procedimentos para a escolha de genitores de feijão.** Lavras: UFLA, 1999. 118p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- NIENHUIS, J.; TIVANG, J.; SCKROCH, P.; SANTOS, J.B. dos **Genetic relationships among cultivars and lines of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) as measured by RAPD markers.** *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v.120, n.2, p. 300-306, Mar. 1995.
- ROHLF, F.J. **Numerical taxonomy and multivariate analysis sistem.** New York: [W.H. Freeman], 1992. 470p.
- SLICE, D.E.; KIM, J.; WALKER, J. **Ntsys: numerical taxonomy and multivariate analyses system: versão 1.80.** [s.l. : s.n.], 1994. não paginado.

SOKAL, R.R.; MICHENER, C.D. A statistical methods for evaluating systematic relationships. [University Science Bulletin], Kansas, v.38, p. 1409-1438, 1958.

CAPÍTULO III

VARIAÇÕES GENÉTICAS DE PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus*

RESUMO

XAVIER, K.G. Variações genéticas de propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* Lavras: UFLA, 2001. Cap. III, 107p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)¹.

Este estudo teve como objetivos: i) avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., em diferentes posições de amostragem radiais; e ii) estimar parâmetros genéticos e os ganhos diretos e indiretos nos processos de seleção. Foi realizado na Fazenda Riacho, de propriedade da Votorantin-Agro, localizada a 17°36'09"S e 46° 42'42"W, a 550 metros de altitude, no município de Paracatu, noroeste de Minas Gerais. Foram analisados 18 clones de *Eucalyptus* spp., selecionados por apresentarem boas condições fitossanitárias, fuste linear e produtividade volumétrica superior a 25 st/ha.ano. Utilizou-se as toras retiradas entre 3,3 e 6,3 m de altura do fuste, obtidas de 5 rametes por clone. De cada tora extraiu-se uma prancha diametral para a confecção dos corpos de prova, considerando-se três posições de amostragem no sentido medula-casca: periférica (P1), intermediária (P2) e central (P3). As propriedades da madeira avaliadas foram: densidades básica (DB) e seca (DS); contrações tangencial (CT), radial (CR) e volumétrica (CV) estando a madeira na sua umidade de equilíbrio (CUE) e na condição anidra (CA); módulo de elasticidade à flexão estática (Ef) e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (Ec). Procedeu-se as análises de variância conjuntas para todas as características. Somente nas quais o efeito da interação posição por clone foi significativo, efetuou-se ANAVA's e estimativas dos parâmetros genéticos, dos ganhos diretos e indiretos para as três posições de amostragem e para a média destas. Foram selecionados os clones que apresentaram os maiores valores médios para densidade e módulo de elasticidade e menores médias para as contrações. Exceto para módulo de ruptura, os clones apresentaram variações significativas para todas as características avaliadas, o que indica o potencial do material genético avaliado para ser utilizado em programas de melhoramento que incluam tais características. Os clones apresentaram diferenças estatísticas significativas para as posições periférica, intermediária e na média de ambas, em todas as características avaliadas. Para a posição central, as análises mostraram baixo nível ou inexistência de variação genética, associado à insuficiência amostral desta posição para a maioria das características da madeira. Todas as

características apresentaram elevados coeficientes de herdabilidade, confirmando que suas expressões estão sob forte controle genético, possibilitando, assim, a seleção para a direção desejada. Os ganhos genéticos diretos, previstos para os valores médios da densidade básica e do módulo de elasticidade à compressão, foram inferiores aos ganhos indiretos, sugerindo a realização da seleção destas características indiretamente pela densidade seca e módulo de elasticidade à flexão, respectivamente. Os ganhos indiretos, previstos para as contrações tangencial, radial e volumétrica da madeira na sua umidade de equilíbrio, foram menores que aqueles obtidos pela seleção direta. No entanto, a seleção indireta deve ser considerada, pois sua realização se refletirá na redução do tempo de trabalho, na economia de recursos financeiros, espaço físico e mão-de-obra, e na maior operacionalidade do laboratório, permitindo avaliar um maior número de árvores e proceder seleções mais rigorosas.

¹Comitê Orientador: Dulcinéia de Carvalho - UFLA (Orientadora),
Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Co-Orientador).

CHAPTER III

GENETIC VARIATION OF WOOD PROPERTIES OF *Eucalyptus* CLONES.

ABSTRACT

XAVIER, K.G Genetic variation of wood properties of *Eucalyptus* clones. Lavras: UFLA, 2001. Chapter III, 107p. (Dissertation - Masters Degree in Forest Engineering).¹

The objectives of the present study were to evaluate the wood physical and mechanical properties of *Eucalyptus* clones, in different radial sampling positions; and to estimate genetic parameters as well as direct and indirect gains in the selective processes. The experiment was carried out at "Fazenda Riacho", belonging to Votorantin-Agro, located in Paracatu municipality, northwest of Minas Gerais State. Eighteen *Eucalyptus* spp. clones were analyzed. They were selected due to presenting good phytosanitary conditions, linear bole and volumetric productivity superior to 25 st/ha.year. The logs used were taken from the bole's portion between 3,3 and 6,3m height, obtained from 5 ramets per clone. From each log, a diametral board was taken for preparing the specimens. Three sampling positions along the medulla-bark direction were considered: peripheral (P1), intermediate (P2) and central (P3). The wood properties evaluated were: basic (BD) and dry (DD) densities; tangential (TC), radial (RC) and volumetric (VC) contractions, the wood being in its moisture equilibrium (ME) and in anhydrous condition (AC); elasticity module toward static flexion (Ef) as well as toward parallel fiber compression (Ec). Group variance analyses were carried out for all characteristics. For those analyses showing significant effect of the interaction position per clone, ANOVAS and estimates of genetic parameters, direct and indirect gains for the three sampling positions and their averages were carried out. The clones presenting the highest average values for density and elasticity module and the lowest averages for contraction were selected. Except for the rupture module, the clones showed significant variations for all evaluated characteristics, what suggests the genetic material potential to be used in genetic improvement programs including such characteristics. The clones presented significant statistical differences for peripheral and intermediate positions, as well as for their average, concerning all the evaluated characteristics. As to the central position, the analyses showed a low level or absence of genetic variation, related to insufficient sampling of this position for most wood characteristics. All characteristics showed high heredability coefficients, confirming that their expressions are under strong genetic control,

thus enabling selection toward the desired direction. Direct genetic gains, predicted for average values of basic density and elasticity module toward compression, were lower than indirect gains, suggesting the indirect selection of such characteristics by means of dry density and elasticity module toward flexion, respectively. Indirect gains expected for wood tangential, radial and volumetric contractions at its moisture equilibrium, were lower than those obtained through direct selection. However, indirect selection should be considered, as its use will reflect positively on the reduction of the selection time, financial resources, physical space and labor, as well as on the optimization of laboratory operation, allowing a greater number of trees to be evaluated and stricter selection procedures.

¹ Advising Committee: Dulcinéia de Carvalho - UFLA (Adviser),
Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Co-adviser).

1 INTRODUÇÃO

Recente estudo, conduzido por Oliveira (2000), mostrou que a implantação de um sistema agroflorestal em área de cerrado, utilizando o plantio de *Eucalyptus* no espaçamento de 10 m x 4 m e intercalando-o com arroz no primeiro ano, soja no segundo ano e pastagem/pecuária de corte nos anos seguintes, é uma opção viável economicamente, desde que a produtividade média do eucalipto atinja pelo menos 25 st/ha.ano, e que no mínimo 5% da madeira produzida seja usada para serraria, podendo a madeira restante ser usada para energia ou para outro fim que alcance valor igual ou mais alto no mercado.

Após a realização de pesquisas no campo do melhoramento genético, foi possível identificar 18 clones, em um total de 250 considerados potenciais para o alcance dessa meta. Dentre esses, destacou-se o clone 58, um híbrido natural com produtividade média de 58 st/ha/ano, avaliada aos 5 anos e 3 meses de idade.

Nesta condição específica, verificaram-se três pontos muito importantes: i) a meta definida para a produtividade das florestas cultivadas no sistema agroflorestal foi alcançada em dobro e em apenas 250 árvores/ha; ii) os custos decorrentes de todo o processo produtivo foram drasticamente reduzidos devido à menor densidade de plantio, o que também refletiu no aumento do DAP das árvores, melhorando, assim, a competitividade da empresa e; iii) a qualidade ambiental nas unidades agrosilviculturais foi significativamente melhorada, principalmente com relação à economia do uso da água e de insumos agrícolas, quando comparadas ao processo tradicional de reflorestamento monocultural.

Com efeito, tornou-se necessária a implementação de novas pesquisas para permitir a agregação de maior valor econômico a esta atividade agroflorestal. Dentre estas, destacam-se aquelas relacionadas à genética e ao melhoramento, que possibilitam uma eficiente seleção de clones que, além

produtivos, sejam possuidores de sólidos com qualidade apropriada para exportação e usos na indústria nacional, principalmente na movelaria e na construção civil.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram:

- i. Avaliar as propriedades físicas (densidades básica e seca; contrações tangencial, radial e volumétrica) e mecânicas (módulo de ruptura, resistência à compressão paralela às fibras e módulos de elasticidade obtidos pelos ensaios de flexão e compressão) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes posições radiais;
- ii. Estimar os parâmetros fenotípicos e genéticos para estas propriedades da madeira; e
- iii. Avaliar as correlações genotípicas entre as propriedades da madeira e prever ganhos genéticos diretos e indiretos no processo de seleção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Biológico

Neste estudo, utilizaram-se 18 clones de *Eucalyptus* spp., híbridos naturais, com 63 meses de idade, plantados no espaçamento 10 m x 4 m. O material é proveniente de um teste clonal, implementado com o objetivo de acompanhar o desenvolvimento e o comportamento dos clones e selecionar fenotipicamente aqueles considerados superiores por apresentarem maior produtividade volumétrica (Tabela 3.1), fuste mais linear possível e boas condições fitossanitárias.

TABELA 3.1 - Clones selecionados para o estudo tecnológico, listados por ordem crescente de produtividade volumétrica (st/ha.ano).

Clone	Volume	Clone	Volume
65	26,8	7	42,1
67	32,5	64	42,3
57	34,2	55	43,2
42	35,3	36	43,8
41	35,4	16	47,5
74	38,1	66	51,6
44	40,5	39	51,8
26	40,9	18	53,2
13	40,9	58	58,1

2.2 Local de Experimentação

O experimento foi instalado na Fazenda Riacho, de propriedade da Votorantin Metais (VM-AGRO), localizada no município de Paracatu, região noroeste de Minas Gerais. A área está situada a 17°36'09" S de latitude, longitude de 46°42'42" oeste de Greenwich e altitude de 550 metros.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 24° C e a precipitação média anual é de 1450 mm.

2.3 Amostragem

Foram utilizadas amostras obtidas de 5 rametes por clone (Figura 3.1). Após o abate, o fuste, considerado até a inserção dos primeiros galhos da copa, foi subdividido em toras com comprimento de 3 metros, as quais foram identificadas e submetidas à cubagem rigorosa pelo método de Smalian, para o cálculo do volume (Tabela 3.1).

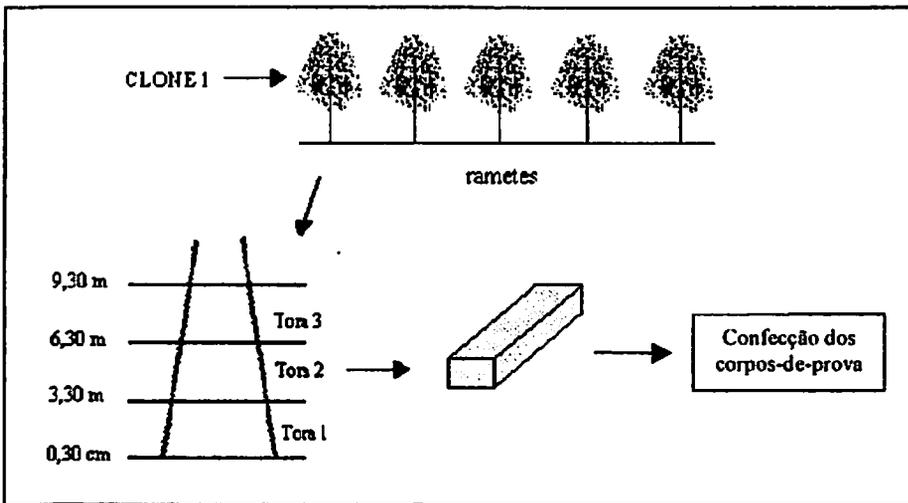


FIGURA 3.1 - Amostragem dos clones de *Eucalyptus* spp.

Para o presente estudo, utilizou-se apenas a tora número 2, retirada entre 3,30 e 6,30 m de altura. Esta decisão foi tomada a partir do estudo de Moura (2000), o qual verificou que a classificação dos clones não é alterada pela posição de amostragem longitudinal do fuste para as características densidade

básica, compressão paralela às fibras e flexão estática, exceto para retratibilidade da madeira. Em outras palavras, a autora concluiu que qualquer um dos clones poderia ser avaliado, para essas propriedades, por qualquer uma das três toras. Somente para o estudo das contrações mostrou-se a possibilidade de se obter uma tora que ofereça melhor estimativa das contrações que ocorrem em todo o fuste.

De cada tora número 2, extraiu-se uma prancha diametral de 12 a 15 cm de espessura (Figura 3.2). Após a devida identificação, as pranchas foram transportadas para a Serraria da Universidade Federal de Lavras para a retirada das costaneiras. Em seguida, estas foram remanejadas para o Laboratório de Usinagem da Madeira - DCF, para a preparação dos corpos-de-prova específicos para cada característica, considerando-se três posições de amostragem no sentido medula-casca: periférica (P1), intermediária (P2) e central (P3).

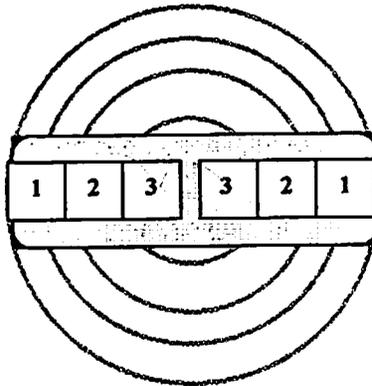


FIGURA 3.2 - Esquema ilustrando a prancha diametral, utilizada para a confecção dos corpos de prova nas posições de amostragem periférica (P1), intermediária(P2) e central (P3).

2.4 Propriedades avaliadas na madeira

2.4.1 Propriedades físicas

2.4.1.1 Densidades básica e seca

Foi utilizado o método proposto por Vital (1984) para determinar a densidade básica da madeira.

Os corpos-de-prova foram confeccionados com as dimensões 2,5 x 2,5 x 2,5 cm e numerados para que identificassem o clone, o ramete e a posição medula-casca de onde foram retirados. Estes foram imersos em água até atingirem completa saturação. Na determinação dos volumes nas condições saturada e completamente seca (cm^3), aplicou-se o método de imersão em mercúrio. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa de circulação de ar a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem peso constante e então determinou-se o peso seco (gramas) utilizando-se uma balança digital com precisão de uma casa decimal.

A densidade básica foi, assim, obtida pela divisão da massa seca da amostra pelo seu volume saturado. A densidade seca foi calculada pela relação entre a massa seca e o volume seco.

2.4.1.2 Retratibilidade

Para o estudo da retratibilidade da madeira, aplicou-se a norma ASTM D143 - 94 (ASTM, 1997) nos mesmos corpos-de-prova utilizados para a determinação da densidade básica.

As medições das dimensões tangenciais e radiais foram realizadas com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, diretamente nas amostras, em locais previamente estabelecidos e marcados. A determinação dos volumes das

amostras foi realizada pelo método de imersão, com a utilização do mercúrio como meio de deslocamento. Periodicamente fez-se a tomada da temperatura do líquido, a fim de fazer as devidas correções de valores de sua densidade ao longo do ensaio.

As medidas (mm) e os volumes (cm³) foram registrados em três faixas de umidade: (a) acima do ponto de saturação das fibras; (b) equilíbrio higroscópico; (c) completamente seca em estufa até 0 % de umidade.

As contrações tangencial, radial e volumétrica foram calculadas para a madeira na condição de umidade de equilíbrio (CUE), que é de aproximadamente 12%, e na condição anídrica (CA), usando como base da porcentagem a dimensão inicial da madeira, ou seja, na condição de saturação completa, conforme as equações:

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

Onde:

- CT - contração tangencial;
- T_I - dimensão inicial no plano tangencial;
- T_F - dimensão final no plano tangencial.

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

Onde:

- CR - contração radial;
- R_I - dimensão inicial no plano radial;
- R_F - dimensão final no plano radial.

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

Onde:

- CV - contração volumétrica;
- V_I - volume inicial, com umidade acima do PSF;
- V_F - volume final, com 0% de umidade.

2.4.2 Propriedades mecânicas

Os ensaios mecânicos determinados neste estudo foram os de flexão estática e compressão paralela às fibras.

Os testes foram realizados na Máquina Universal de Ensaio, modelo Emic DL - 30.000, disponível no Laboratório 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 ensaios mecânicos estão sumariadas na Tabela 3.2.

Em fase posterior à preparação das amostras, estas foram acondicionadas em uma sala de climatização sob temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$ e umidade relativa de 60%, por aproximadamente 8 meses, até atingirem peso constante. Dessa forma, os testes foram realizados estando a madeira em seu equilíbrio higroscópico, cerca de 12% de umidade.

TABELA 3.2 - Condições dos testes mecânicos realizados seguindo a norma D 143 - 94 (ASTM, 1997).

Teste	Propriedades	Dimensões do corpo-de-prova (mm)	Velocidade do teste (mm/min)
Flexão estática	- Módulo de ruptura (MDR)	410 x 25 x 25	1,3
	- Módulo de elasticidade (E_F)		
Compressão paralela às fibras	- Resistência à compressão paralela às fibras (C)	200 x 25 x 25	0,566
	- Módulo de elasticidade (E_C)		

2.5 Análises estatísticas

Para qualificar os clones avaliados, procederam-se as análises de variância utilizando o software SuperANOVA, específico para computadores Apple-Macintosh, para as propriedades da madeira descritas a seguir:

- Densidade básica (DB);
- Densidade seca (DS);
- Resistência à compressão paralela às fibras (C);
- Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_C);
- Módulo de ruptura (MDR);
- Módulo de elasticidade à flexão estática (E_F).
- Contração tangencial na umidade de equilíbrio (CT_{CUE})
- Contração radial na umidade de equilíbrio (CR_{CUE});

- Contração volumétrica na unidade de equilíbrio (CV_{CUE});
- Contração tangencial na condição anidra (CT_{CA});
- Contração radial na condição anidra (CR_{CA});
- Contração volumétrica na condição anidra (CT_{CA}).

As análises de variância para estas características seguiram o esquema de parcelas subdivididas, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + e_{ij} + P_k + CP_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

- Y_{ijk} - observação do clone i , na posição k , na repetição j ;
- μ - média geral;
- C_i - efeito do i -ésimo clone ($i = 1, 2, \dots, 18$), efeito aleatório;
- e_{ij} - erro a;
- P_k - efeito da k -ésima posição ($k = 1, 2, 3$), efeito fixo;
- CP_{ik} - efeito da interação do i -ésimo clone com a k -ésima posição, efeito aleatório;
- ε_{ijk} - erro b (erro experimental).

O esquema da análise de variância, seguindo esse modelo estatístico, é apresentado na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 - Estrutura da análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Fonte de variação	GL	E(Q.M.)	Q.M	F
Clone (C)	(c-1)	$\sigma_e^2 + r\sigma_c^2 + t\sigma_a^2$	Q ₁	Q ₁ ÷ Q ₂
Erro a	(c-1)r	$\sigma_e^2 + t\sigma_a^2$	Q ₂	
Posição (P)	(p-1)	$\sigma_e^2 + r\sigma_{CP}^2 + cr\phi_P$	Q ₃	Q ₃ ÷ Q ₄
C x P	(c-1)(p-1)	$\sigma_e^2 + r\sigma_{CP}^2$	Q ₄	Q ₄ ÷ Q ₅
Erro b		σ_e^2	Q ₅	

c: número de clones

r: número de repetições

p: número de posições

Pela esperança dos quadrados médios da análise de variância, estimaram-se os seguintes parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais:

a) Variância Fenotípica

$$\sigma_f^2 = \frac{\text{Quadrado Médio do Clone (Q}_1\text{)}}{\text{repetição x posição (rp)}}$$

b) Variância Genética

$$\sigma_c^2 = \frac{\text{Quadrado Médio do Clone (Q}_1\text{)} - \text{Quadrado Médio do Erro a (Q}_2\text{)}}{\text{repetição x posição (rp)}}$$

c) Variância Ambiental

$$\sigma_{ca}^2 = Q_2 \text{ (Quadrado Médio do erro a)}$$

$$\sigma_{cb}^2 = Q_5 \text{ (Quadrado Médio do erro b)}$$

d) Coeficiente de Herdabilidade

$$h_c^2 (\%) = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2} \times 100$$

e) Coeficiente de Variação Genética

$$CV_c (\%) = \frac{\sigma_c^2}{\text{Média}} \times 100$$

f) Coeficiente de Variação Fenotípica

$$CV_f (\%) = \frac{\sigma_f^2}{\text{Média}} \times 100$$

g) Coeficiente de Variação Ambiental

$$CV_{ea} (\%) = \frac{Q_2}{\text{Média}} \times 100$$

$$CV_{eb} (\%) = \frac{Q_5}{\text{Média}} \times 100$$

Para as características nas quais os testes de F foram significativos ($p \leq 0,05$) para os efeitos de clone e da interação clone por posição, procederam-se as análises de variância separadas por posição de amostragem e também para a média, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

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

Em que:

- Y_{ij} - observação do i-ésimo clone, na repetição j;
- μ - média geral;
- C_i - efeito do i-ésimo clone ($i = 1, 2, \dots, 18$);
- ε_{ij} - erro experimental associado à observação Y_{ij} .

O esquema de análise de variância por posição de amostragem, seguindo o modelo estatístico acima, é apresentado na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 - Estrutura da análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas da madeira por posição de amostragem radial.

Fonte de variação	GL	E(Q.M.)	Q.M	F
Clone	(c-1)	$r\sigma_c^2 + \sigma_e^2$	Q_1	$Q_1 \div Q_2$
Erro	(c-1)r	σ_e^2	Q_2	

Foram estimados os parâmetros genéticos e fenotípicos específicos para cada posição, conforme as equações:

a) Variância Fenotípica

$$\sigma_f^2 = \frac{\text{Quadrado Médio do Clone (Q}_1\text{)}}{\text{repetição (r)}}$$

b) Variância Genética

$$\sigma_c^2 = \frac{\text{Quadrado Médio do Clone (Q}_1\text{)} - \text{Quadrado Médio do Erro (Q}_2\text{)}}{\text{repetição (r)}}$$

c) Variância Ambiental

$$\sigma_c^2 = Q_2 \text{ (Quadrado Médio do Erro)}$$

d) Coeficiente de Herdabilidade

$$h_c^2(\%) = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2} \times 100$$

e) Coeficiente de Variação Genética

$$CV_c(\%) = \frac{\sigma_c^2}{\text{Média}} \times 100$$

f) Coeficiente de Variação Fenotípica

$$CV_f(\%) = \frac{\sigma_f^2}{\text{Média}} \times 100$$

g) Coeficiente de Variação Ambiental

$$CV_e(\%) = \frac{Q_2}{\text{Média}} \times 100$$

Os valores de herdabilidade e de variância genética permitiram estimar ganhos diretos (GD) para as características avaliadas, pela equação:

$$GD(\%) = i \times \sqrt{\sigma_c^2} + \sqrt{h_c^2} \times 100$$

Em que:

- i - índice de seleção;
- σ_c^2 - variância genotípica;
- h_c^2 - coeficiente de herdabilidade.

Estes ganhos foram previstos pela seleção de 1 clone em 5 avaliados (seleção de 20%), padronizando o índice de seleção em 1,4 (Cotteril e Dean, 1990).

Efetuiu-se a análise de covariância genotípica entre as características x e y descritas a seguir, de acordo com a equação:

X	DB	Ec	CT _{CUE}	CR _{CUE}	CV _{CUE}
Y	DS	Ef	CT _{CA}	CR _{CA}	CV _{CA}

$$COV_{xy} = \frac{1}{2} (\sigma_{(x+y)}^2 - \sigma_x^2 - \sigma_y^2)$$

Em que:

- σ_x^2 - Variância genotípica da característica x;
- σ_y^2 - Variância genotípica da característica y;
- $\sigma_{(x+y)}^2$ - Variância genotípica da soma das características x e y.

A covariância foi utilizada no cálculo do coeficiente de correlação genotípica (r_{gxy}), segundo a equação:

$$r_{g(xy)} = \frac{COV_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \times \sigma_y^2}}$$

Em que:

- COV_{xy} - covariância entre as características x e y;
- σ_x^2 - variância genotípica da característica x;
- σ_y^2 - variância genotípica da característica y.

As correlações genotípicas permitiram estimar os ganhos indiretos (GI) das características x pela seleção indireta das características y, de acordo com a seguinte equação:

$$GI(\%) = i \times \sqrt{h_{c(x)}^2} + r_{g(xy)} \times \sqrt{\sigma_{c(y)}^2} \times 100$$

Em que:

- $h_{c(x)}^2$ - coeficiente de herdabilidade da característica x;
- $r_{g(xy)}$ - coeficiente de correlação genotípica entre as características x e y
- $\sigma_{c(y)}^2$ - variância genotípica da característica y.

Para as características densidade e módulo de elasticidade, foram selecionados os quatro clones que apresentaram os maiores valores médios, enquanto, para as contrações, selecionaram-se aqueles que mostraram as menores médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A divergência genética dos clones constituintes deste estudo foi previamente estudada por meio da técnica molecular RAPD (polimorfismo do DNA amplificado ao acaso), a qual revelou que estes apresentam grande distância genética entre si, indicando, desta forma, que esta população de clones apresenta níveis de variação apropriados para a realização de estudos genéticos quantitativos e, possivelmente, para a realização de seleção.

As análises prévias de normalidade e de homogeneidade das variâncias conduzidas para todas as características descritas no presente estudo mostraram que os dados apresentaram, pelo teste de Shapiro-Wilke ($p \leq 0,01$), distribuição normal, e que as variâncias são homogêneas pelo teste de Bartlett ($p \leq 0,01$).

Diante destas considerações iniciais, procederam-se os estudos para cada propriedade da madeira.

3.1 Retratabilidade da madeira

As avaliações processadas para 17 clones, na condição de umidade de equilíbrio (CUE), forneceram valores médios de 4,25%, 2,35% e 7,40 % para as contrações tangencial, radial e volumétrica, respectivamente. Os valores médios destas contrações na condição anidra (CA) foram 8,05%, 5,26% e 13,94%. Portanto, observa-se que o coeficiente de anisotropia (CT/CR) médio foi de 1,81 na CUE e de 1,53 na CA. Estes resultados foram inferiores aos obtidos em *Eucalyptus* spp. por Moura (2000) e encontram-se próximos do limite inferior da faixa 1,5 a 2,0, que é considerada normal segundo a classificação da madeira quanto à anisotropia apresentada por Durlo e Marchiori (1992). Espécies consideradas adequadas para o processamento mecânico da madeira, como ipê, *Pinus*, peroba rosa, araucária e teca, estão incluídas nesta faixa.

A Tabela 3.5 apresenta os resultados das análises de variâncias para as contrações tangencial, radial e volumétrica da madeira, avaliadas nas condições de equilíbrio higroscópico (CUE) e anidra (CA), bem como as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos.

TABELA 3.5 - Resumo da análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as contrações tangencial (CT), radial (CR) e volumétrica (CV) da madeira em condição de umidade de equilíbrio (CUE) e em condição anidrica (CA), em clones de *Eucalyptus* spp. avaliados aos 63 meses de idade.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		CT		CR		CV	
		CUE	CA	CUE	CA	CUE	CA
Clone (C)	16	1,83**	3,10**	1,72**	4,23**	7,64**	11,83**
Erro a	60	0,55	0,90	0,48	0,86	1,08	1,09
Posição (P)	2	3,25**	7,31**	0,39 ^{NS}	5,50**	8,44**	0,71 ^{NS}
C x P	29	1,37**	2,02**	0,44**	1,09**	1,96**	2,39**
Erro b	85	0,40	0,62	0,22	0,39	0,54	0,57
Média		4,15	7,85	2,36	5,00	7,34	13,83
C _{Vea} (%)		17,92	12,11	29,29	18,54	9,55	2,93
C _{Veb} (%)		15,24	10,06	20,02	12,41	6,21	6,07
C _{Vc} (%)		7,61	5,29	13,65	10,27	10,07	6,63
σ^2_f		0,14	0,24	0,14	0,33	0,60	0,93
σ^2_c		0,10	0,17	0,10	0,26	0,55	0,84
h^2_c (%)		0,6972	0,7087	0,7640	0,7966	0,9127	0,9076

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

C_{Vea}: coeficiente de variação de experimental (erro a), C_{Veb}: coeficiente de variação experimental (erro b), C_{Vc}: coeficiente de variação genética, σ^2_f : variância fenotípica, σ^2_c : variância genotípica, h^2_c : coeficiente de herdabilidade.

Observa-se, nesta tabela, que os coeficientes de variação experimental (C_{Vea} e C_{Veb}) assumiram valores em uma amplitude de 6,21% (contração volumétrica) a 29,29% (contração radial) nas avaliações em condição de umidade de equilíbrio, enquanto, na condição anidra, esta amplitude foi de 2,93% (contração volumétrica) a 18,54% (contração radial), indicando, de

acordo com Gomes (1990), que o delineamento experimental utilizado e/ou a coleta de dados foram mais adequados na condição anidra. Este fato permite, nesta condição, maior precisão nos testes dos efeitos descritos no modelo estatístico, bem como nas estimativas dos componentes de variância, herdabilidade e ganhos de seleção. Os valores de CV, na condição anidra, encontram-se próximos daqueles obtidos por Moura (2000).

Os testes de F mostraram que, em ambas as condições de umidade da madeira, existem diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,01$) para os efeitos de clones, posições de amostragem e respectivas interações, exceto para o efeito de posição para as características: contração radial na umidade de equilíbrio e contração volumétrica na condição anidra. Também pode ser observado que em ambas as condições de umidade da madeira, os valores dos coeficientes de variação genética e de herdabilidade são semelhantes, e que tanto as variâncias fenotípicas quanto as genéticas são maiores na condição anidra.

Tendo em vista que a interação entre clones e posições de amostragem foram significativas para todas as contrações e condições de umidade estudadas, procederam-se as análises de variância separadas por posição, cujos resultados são apresentadas nas Tabelas 3.6 (contração tangencial), 3.7 (contração radial) e 3.8 (contração volumétrica). As ANAVA's permitiram obter informações genéticas específicas para cada posição de amostragem. Ressalta-se, novamente, que esta discriminação não visa selecionar clones por posição, tal como normalmente ocorre nos estudos de interação entre clones e ambientes, e sim pelas médias das posições em que os ganhos são mais elevados.

Os coeficientes de variação na condição de equilíbrio tiveram uma amplitude de 25,71% (contração volumétrica) a 47,5% (contração radial), enquanto, na condição anidra, esta amplitude foi de 17,15% (contração volumétrica) a 34,25% (contração radial), indicando, novamente, que o

TABELA 3.6 - Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as contrações tangenciais da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., amostrada nas posições radiais P1(periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média, na condição de equilíbrio higroscópico (CUE) e na condição anidra (CA).

Fonte de Variação	Quadrados Médios							
	CT _{CUE}				CT _{0%}			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
Clone	1,52** (16)	2,39** (16)	1,21 ^{NS} (13)	1,20** (16)	2,42** (16)	3,54** (16)	2,25 ^{NS} (13)	1,86** (16)
Resíduo	0,31 (60) ^Δ	0,54 (59)	0,64 (26)	0,24 (59)	0,43 (60)	0,96 (59)	0,95 (26)	0,42 (59)
Média	4,10	4,40	3,80	4,25	8,20	7,90	7,10	8,05
σ^2_f	0,34	0,51		0,27	0,54	0,75		0,64
σ^2_c	0,27	0,39		0,21	0,44	0,55		0,50
σ^2_e	0,31	0,54	0,64	0,24	0,43	0,96	0,95	0,42
h^2_c	0,79	0,77		0,80	0,82	0,73		0,77
CV _e (%)	30,04	35,13	21,11	25,76	18,98	23,83	21,13	16,94
CV _c (%)	12,62	14,27		10,88	8,11	9,38		8,74
CV _f (%)	14,16	16,21		12,14	8,95	10,99		9,95
CV _f /CV _e	2,12	2,17		2,12	2,12	2,17		1,70
GD (%)	0,65	0,77		0,58	0,84	0,89		0,87
GD (%) ⁺	15,76	17,58		13,66	10,30	11,21		10,75
r_g ⁺	0,49							
GI (%)	0,44							
GI (%) ⁺	10,28							

σ^2_f : variância fenotípica, σ^2_c : variância genotípica, σ^2_e : variância ambiental, h^2_c : coeficiente de herdabilidade, CV_e: coeficiente de variação experimental, CV_c: coeficiente de variação genética, CV_f: coeficiente de variação fenotípica, r_g : correlação genotípica entre DB e DS, GD: ganho direto, GI: ganho indireto obtido em DB pela realização da seleção em DS.

Δ. Os graus de liberdade estão apresentados entre parênteses, ⁺ GD e GI: em porcentagem da média.

TABELA 3.7 - Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as contrações radiais da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., amostrada nas posições radiais P1(periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média, na condição de equilíbrio higroscópico (CUE) e na condição anidra (CA).

Fonte de Variação	Quadrados Médios							
	CR _{CUE}				CR _{0%}			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
Clone	1,15** (16)	1,30** (16)	0,67 ^{NS} (13)	0,97** (16)	3,21** (16)	2,93** (16)	1,41 ^{NS} (13)	2,56** (16)
Resíduo	0,19 (60) ^Δ	0,37 (59)	0,56 (26)	0,19 (59)	0,29 (60)	0,86 (59)	0,62 (26)	0,40 (59)
Média	2,30	2,40	2,30	2,35	5,30	5,00	4,53	5,26
σ^2_f	0,26	0,28		0,22	0,71	0,62		0,88
σ^2_c	0,21	0,20		0,17	0,65	0,44		0,75
σ^2_a	0,19	0,37	0,56	0,19	0,29	0,86	0,62	0,40
h^2_c	0,84	0,72		0,81	0,91	0,71		0,84
CV _c (%)	46,69	47,50	32,46	41,99	33,79	34,25	26,21	30,44
CV _c (%)	20,13	18,54		17,79	15,19	13,27		16,42
CV _f (%)	22,01	21,91		19,79	15,93	15,80		17,87
CV _c /CV _c	2,12	2,17		2,12	2,12	2,17		1,70
GD (%)	0,59	0,53		0,53	1,08	0,78		1,11
GD (%) ⁺	25,76	21,95		22,38	20,29	15,61		21,11
r_g ⁺	0,43							
GI (%)	0,46							
GI (%) ⁺	19,70							

σ^2_f : variância fenotípica, σ^2_c : variância genotípica, σ^2_a : variância ambiental, h^2_c : coeficiente de herdabilidade, CV_c: coeficiente de variação experimental, CV_c: coeficiente de variação genética, CV_f: coeficiente de variação fenotípica, r_g : correlação genotípica entre DB e DS, GD: ganho direto, GI: ganho indireto obtido em DB pela realização da seleção em DS.

Δ. Os graus de liberdade estão apresentados entre parênteses, ⁺ GD e GI: em porcentagem da média.

TABELA 3.8 - Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as contrações volumétricas da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., amostrada nas posições radiais P1(periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média, na condição de equilíbrio higroscópico (CUE) e na condição anidra (CA).

Fonte de Variação	Quadrados Médios							
	CV _{CUE}				CV _{0%}			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
Clone	3,33** (16)	6,30** (16)	5,83 ^{NS} (13)	3,73** (16)	7,37** (16)	8,06** (16)	5,29* (13)	6,37** (16)
Resíduo	0,43 (60) ^Δ	0,64 (59)	1,82 (26)	0,34 (59)	0,55 (60)	0,74 (59)	1,41 (26)	0,44 (59)
Média	7,10	7,70	7,20	7,40	14,00	13,88	13,40	13,94
σ_f^2	0,74	1,34		0,83	1,64	1,71	1,82	2,20
σ_c^2	0,65	1,20		0,75	1,51	1,56	1,34	2,05
σ_o^2	0,43	0,64	1,82	0,34	0,55	0,74	1,41	0,44
h_c^2	0,87	0,90		0,91	0,92	0,91	0,73	0,93
CV _e (%)	25,71	32,59	33,54	26,11	19,39	20,45	17,15	18,11
CV _c (%)	11,32	14,25		11,73	8,79	8,99	8,63	10,26
CV _f (%)	12,12	15,03		12,31	9,14	9,43	10,07	10,63
CV _e /CV _e	2,12	2,17		2,12	2,12	2,17	1,70	1,70
GD (%)	1,05	1,46		1,16	1,66	1,66	1,39	1,93
GD (%) ⁺	14,79	18,90		15,64	11,83	11,99	10,34	13,86
r_g^+	0,43							
GI (%)	0,82							
GI (%) ⁺	11,2							

σ_f^2 : variância fenotípica, σ_c^2 : variância genotípica, σ_o^2 : variância ambiental, h_c^2 : coeficiente de herdabilidade, CV_e: coeficiente de variação experimental, CV_c: coeficiente de variação genética, CV_f: coeficiente de variação fenotípica, r_g : correlação genotípica entre DB e DS, GD: ganho direto, GI: ganho indireto obtido em DB pela realização da seleção em DS.

Δ. Os graus de liberdade estão apresentados entre parênteses, ⁺ GD e GI: em porcentagem da média.

delineamento experimental e, ou a coleta de dados foram mais adequados na CA.

O teste de F, considerando todas as contrações estudadas, constatou que o efeito de clones é estatisticamente variável nas posições P1 e P2, sendo altamente significativo para CT, CR e CV avaliadas nas condições CUE e CA ($p \leq 0,01$) e significativo na posição 3 ($p \leq 0,05$), somente para a contração volumétrica. Um alto nível de significância também foi observado na análise dos valores médios destas contrações, obtidos nas posições P1 e P2. A média dos valores de contrações foi gerada na madeira das posições P1 e P2 devido ao baixo nível ou inexistência de variação genética na posição de amostragem P3.

A respeito das contrações tangencial e radial, nota-se um discreto aumento da variância genética e do coeficiente de variação genotípico no sentido de P1 para P2, tanto na avaliação feita em CUE quanto em CA. Nota-se que os coeficientes de herdabilidade (h^2_c) para a contração radial, tanto na CUE quanto na CA, foram maiores na posição P1 (0,84; 0,91) do que na posição P2 (0,72; 0,71). O mesmo foi observado para a contração tangencial na CA, em que o h^2_c foi de 0,82 na P1 e de 0,73 na P2. Já os valores de h^2_c para contração tangencial na CUE foram semelhantes, sendo o mesmo verificado para a contração volumétrica em ambas as condições de umidade da madeira, sendo que, neste caso, os valores de h^2_c ficaram em torno de 0,90.

As estimativas dos valores de h^2_c feitas para as médias das posições P1 e P2 foram, na CUE, de 0,80 (contração tangencial), 0,81 (contração radial) e 0,91 (contração volumétrica). Na CA os valores de h^2_c foram respectivamente, 0,77, 0,84, 0,93. Esta sequência, na qual a h^2_c é maior para a contração volumétrica, também foi verificada por Silveira (1999) e Moura (2000), sendo a magnitude dos valores observados nestes estudos superior à dos aqui registrados.

Os valores dos coeficientes de herdabilidade e das variâncias genéticas permitiram estimar, na CUE, ganhos de -13,7%, -22,4% e -15,5% para as

contrações tangencial, radial e volumétricas, respectivamente. Na condição anidra (CA), estes ganhos foram de -10,8%, -21,1% e -13,9%. Os valores negativos indicam que os ganhos proporcionam uma redução nas médias destas características, visto que é desejável que a madeira apresente os menores valores possíveis de contrações tangencial, radial e volumétrica, o que irá refletir diretamente no aumento de sua estabilidade dimensional. Estes ganhos foram previstos pela seleção de 1 clone em cinco avaliados (seleção de 20%), padronizando um índice de seleção de 1,4, conforme tabela apresentada por Cotteril e Dean (1990).

A magnitude dos ganhos avaliados na média de P1 e P2 na condição anidra foi superior às relatadas por Moura (2000), segundo os quais a seleção foi na proporção de 1 em 10, e por Silveira (2000), segundo o qual a proporção de seleção foi de 1 em 6.

Com o objetivo de realizar seleção indireta em CUE pela seleção em CA, procedera-se as análises de covariância genotípica para as contrações na condição CA e na CUE, a fim de estimar o coeficiente de correlação genotípica (r_g). Observa-se que os valores destes coeficientes foram: 0,49 para contração tangencial; 0,43 para contração radial e 0,43 para contração volumétrica. Estes valores, associados a altos valores de herdabilidade das contrações em CUE e de variância genética em CA, permitiram a previsão de ganho indireto (GI) em CUE. Para CT, o ganho indireto foi 0,44%, refletindo em um aumento de 10,3% na sua média. Para CR, este ganho foi 0,46%, o que resulta em um acréscimo de 19,7% na sua média. No caso da CV, o ganho foi 0,82%, proporcionando um acréscimo de 11,2% na sua média.

Verifica-se que os ganhos indiretos foram inferiores aos previstos pelo ganho direto (GD), cujos valores foram 0,58%; 0,53% e 1,16%, refletindo em aumentos de 13,7%, 22,4 e 15,6 nas médias de CT, CR e CV.

Entretanto, visualiza-se que apesar da existência de valores regulares de r_B , os ganhos indiretos foram relativamente altos. Isto ocorreu devido aos elevados coeficientes de herdabilidades em CUE e aos maiores valores de variância genética em CA, que são de duas a quatro vezes maiores, resultando, dessa forma, numa compensação nas estimativas dos GI's, que foram obtidos pela equação: $GI = i * h_{(CUE)} * r_B * \sigma_{g(CA)}$.

Embora os ganhos indiretos sejam um pouco inferiores aos diretos, como mencionado anteriormente, deve-se considerar a viabilidade da realização da seleção indireta devido às seguintes vantagens: i) redução do tempo para a realização do estudo, pois a madeira necessita de um longo período para alcançar sua umidade de equilíbrio. No presente trabalho, esse período foi de cinco semanas, enquanto na condição de madeira completamente seca em estufa, é de apenas 72 horas; ii) independentemente das condições climáticas do local de destino da madeira ou de seus produtos, o ganho indiretamente previsto na CUE será satisfatório; iii) economia de recursos financeiros, espaço físico e mão-de-obra e iv) maior operacionalidade no laboratório, permitindo avaliar um maior número de árvores para, assim, realizar seleções mais rigorosas e alcançar maiores ganhos.

As médias dos clones, geradas a partir dos dados de contrações nas posições P1 e P2, estão apresentadas nas Tabelas 3A (CT), 3C (CR) e 3E (CV). As mesmas podem ser visualizadas graficamente pelas Figura 3.3, 3.4 e 3.5. Os clones que apresentaram maior contração tangencial média foram o 65, 26, 57 e 7. Para a contração radial média, os clones 42, 7, 65 e 39 apresentaram os maiores valores médios, ao passo que os clones 65, 42, 7 e 57 revelaram maior contração volumétrica média.

Nota-se que os clones 7 e 65 apresentaram as maiores médias para todas as contrações, revelando-se, por este ponto de vista, totalmente impróprios ao processamento mecânico. No entanto, estes também mostraram, conforme será

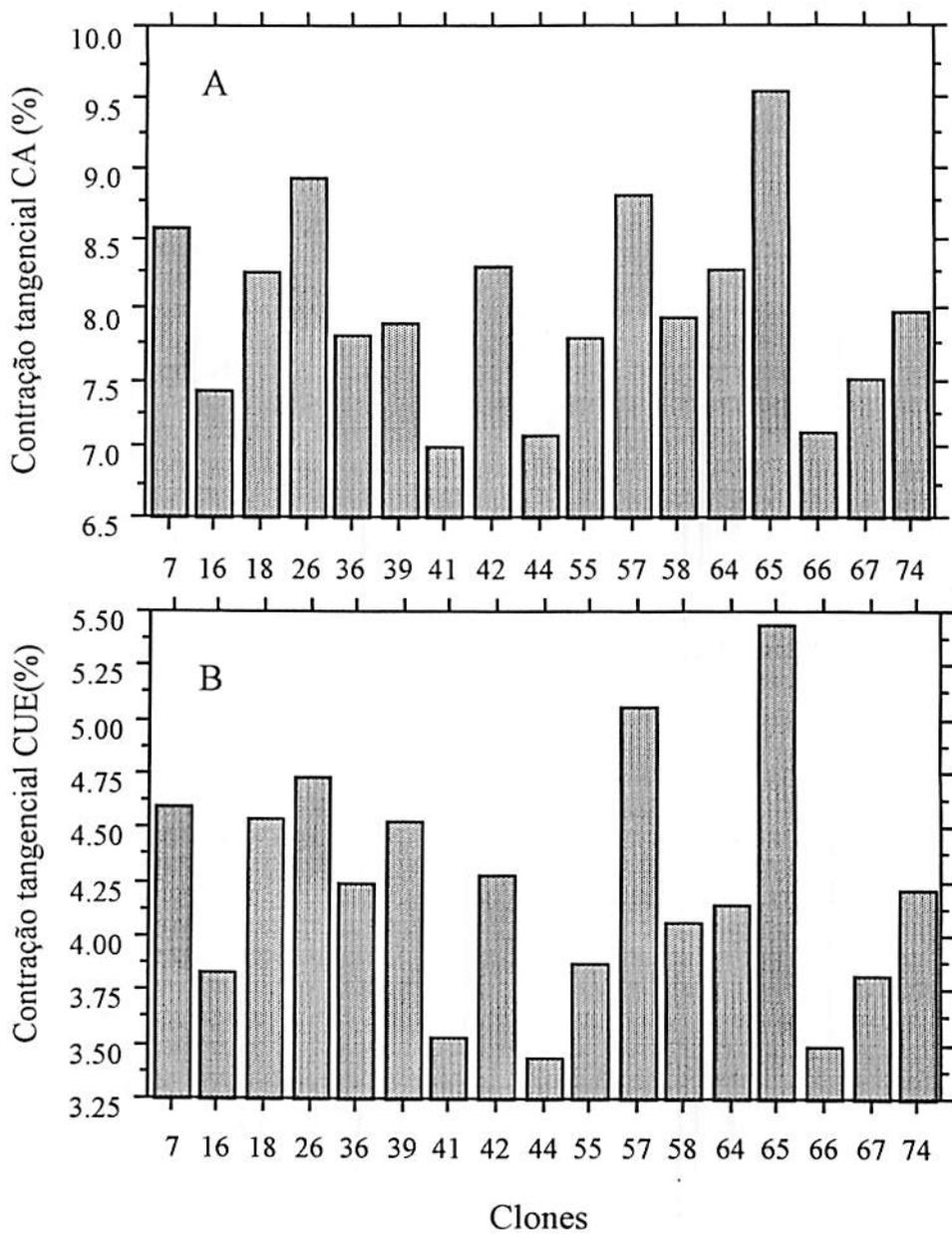
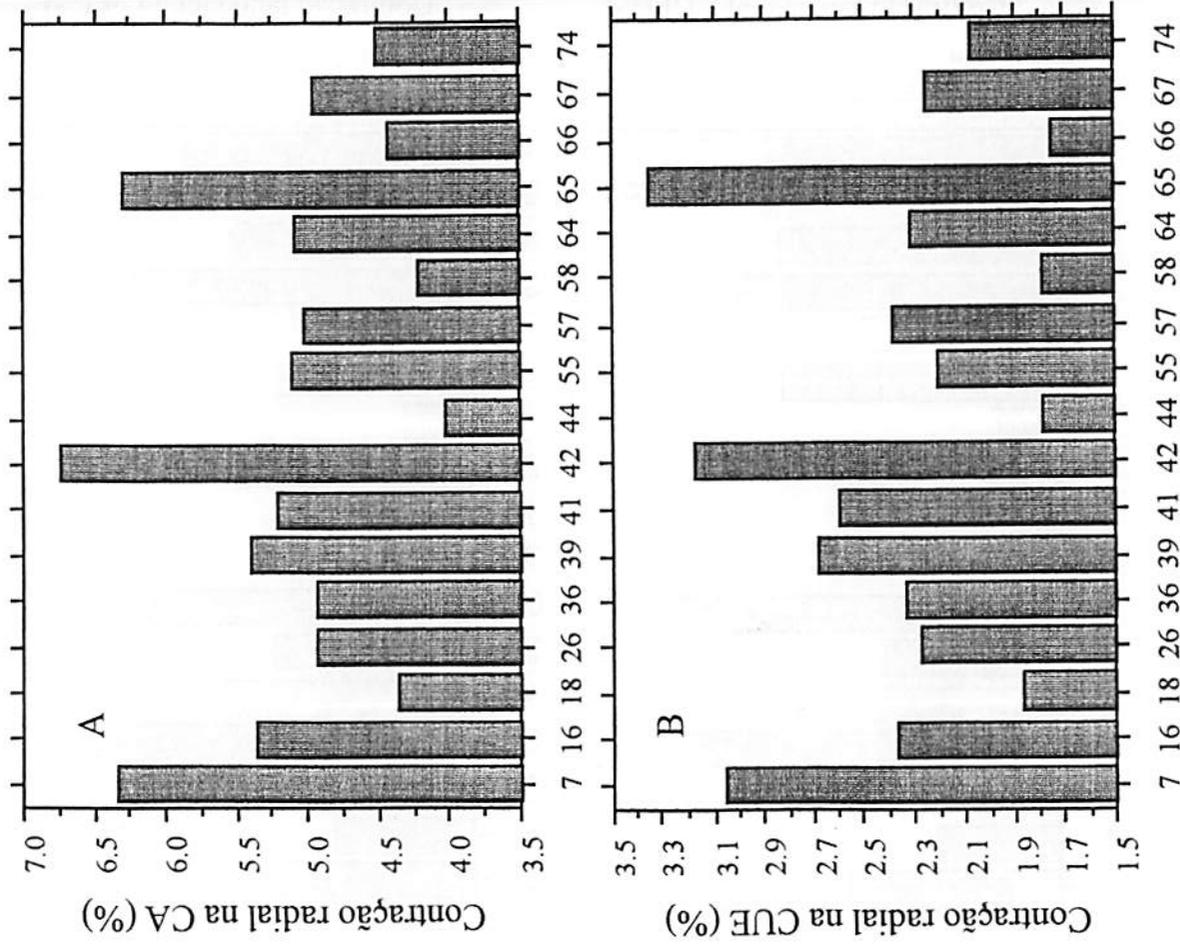


FIGURA 3.3 - Valores médios de contração tangencial da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliada na condição anidra (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE).



Clones

FIGURA 3.4 - Valores médios de contração radial da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliada na condição anidra (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE).

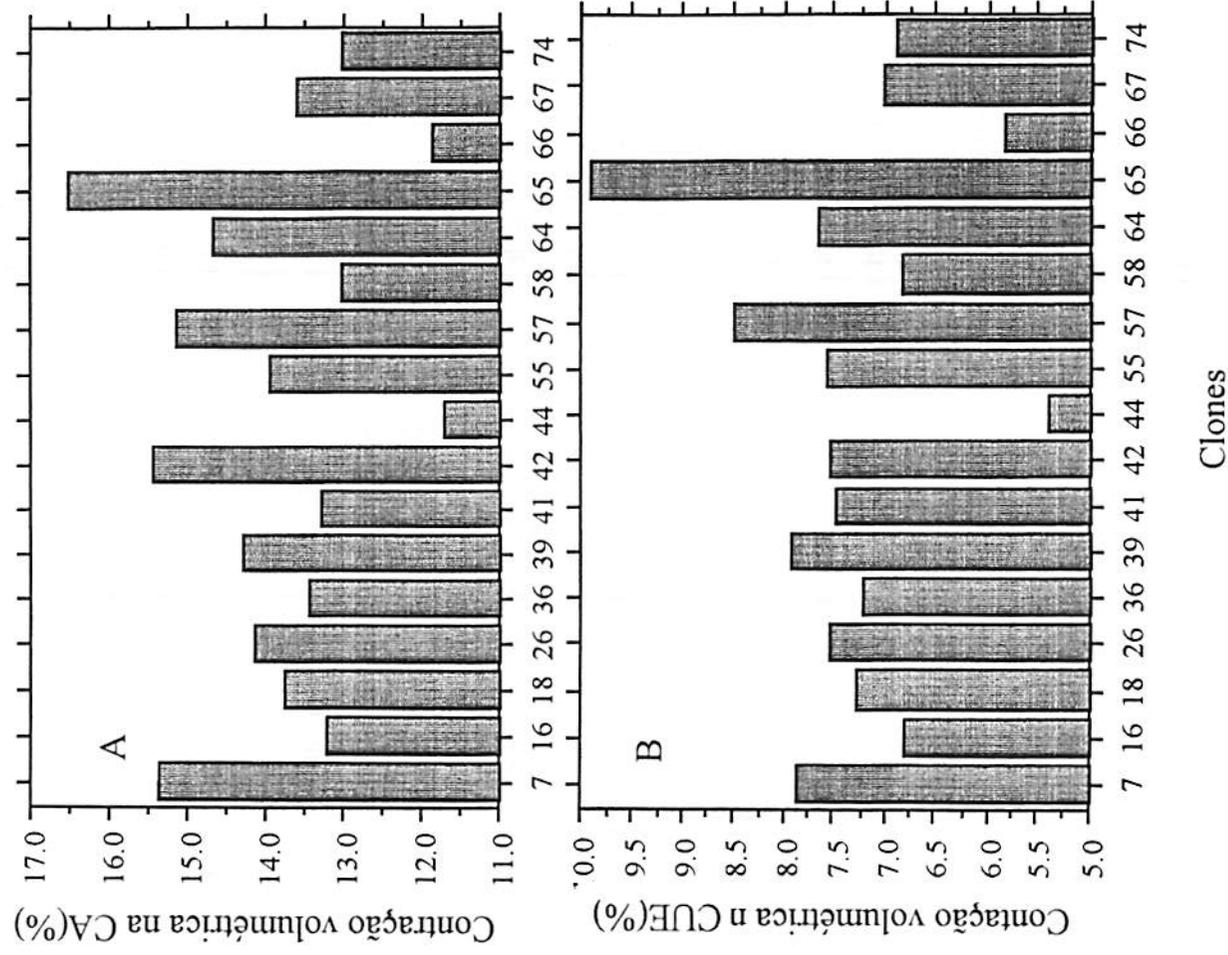


FIGURA 3.5 - Valores médios de contração volumétrica da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliada na condição anidra (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE).

apresentado a seguir, os mais altos valores para densidade básica e módulos de elasticidade (E_f e E_c) dentre o conjunto de clones avaliado.

Os clones indicados para a seleção indireta em CA são, certamente, aqueles que apresentaram os menores valores médios: 41, 44, 66 e 16 (contração tangencial); 44, 58, 18 e 66 (contração radial); 44, 66, 74 e 58 (contração volumétrica). Entretanto, a exemplo da seleção de clones por posição de amostragem, não é possível escolher o melhor clone para um único tipo de contração. Dessa forma, os clones 44 e 66 são os indicados para a seleção em CA, visto que apresentam baixos valores médios para todas as contrações.

Em seguida, deve-se considerar o clone 58, que apesar de ser o nono colocado no ranking da contração tangencial, apresenta as menores médias para as contrações radial e volumétrica, somadas à sua alta produção volumétrica. Estas características são altamente desejáveis quando se visa a utilização da madeira de eucalipto como sólidos.

As comparações entre as médias das contrações, pelo Teste de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$), avaliadas na madeira tanto na condição anidra (CA) quanto na umidade de equilíbrio (CUE), estão apresentadas nas Tabelas 1A, 2A, e 3A (anexo), para as respectivas contrações tangencial, radial e volumétrica.

3.2 Propriedades mecânicas

Os valores médios encontrados para as propriedades mecânicas da madeira aos 6 anos de idade foram 7828,90 MPa (módulo de elasticidade obtido pelo ensaio da compressão - E_c), 5600,50 MPa (módulo de elasticidade obtido pelo ensaio da flexão - E_f), 49,57 MPa (resistência à compressão paralela as fibras - C) e 93,06 MPa (módulo de ruptura - MDR), conforme Tabela 3.9. Estes valores podem ser classificados como sendo de média magnitude, conforme classificação definida por Lima (1999).

TABELA 3.9 - Resumo da análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as propriedades mecânicas da madeira clones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 63 meses de idade.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		MDR	Ef	C	Ec
Clone (C)	16	1200,32 ^{NS}	4569299**	124,63**	2,1713x10 ⁶ **
Erro a	60	851,79	364012	10,57	273732
Posição (P)	1	8511,03**	2,5085x10 ⁷ **	598,46**	2,6528x10 ⁷ **
C x P	16	814,04 ^{NS}	343685	22,82**	471914**
Erro b	50	975,24	134640	6,35	152496
Média		93,06	5600,50	49,57	7828,90
Cvea (%)		31,76	10,77	6,5587	6,68
Cveb (%)		33,56	6,55	5,0836	5,00
CVc (%)			11,58	6,8131	5,56
σ^2_f			456929,90	12,4630	217130,00
σ^2_c			420528,68	11,4060	189756,77
h^2_c (%)			0,9203	0,9152	0,8739

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

Cvea: coeficiente de variação de experimental (erro a), Cveb: coeficiente de variação experimental (erro b), CVc: coeficiente de variação genética, σ^2_f : variância fenotípica, σ^2_c : variância genotípica, h^2_c : coeficiente de herdabilidade

Moura (2000) avaliou clones de *Eucalyptus* spp. na idade de 9 anos e obteve as seguintes médias: 9159 MPa, 17582 MPa, 54,50 MPa e 102,61 MPa para módulos de elasticidade (Ec e Ef), resistência à compressão (C) e módulo de ruptura (MDR), respectivamente. Verifica-se que estes são valores superiores aos observados no presente estudo, o que pode ser atribuído a três fatores: i) os materiais genéticos avaliados são diferentes; ii) o espaçamento utilizado no plantio, que foi de 3 m x 3 m e de 10 m x 4 m, respectivamente e iii) a idade em que os clones foram avaliados, tendo em vista que o desempenho da madeira, como material de construção em geral, está diretamente ligado a seus constituintes químicos e também à organização e à composição dos principais tipos de células (Oliveira, 1997) que se modificam com a idade, conferindo,

dessa forma, um aumento significativo da resistência mecânica da madeira à medida que envelhece.

A Tabela 3.9 apresenta os resultados das análises de variância para módulo de ruptura (MDR), resistência à compressão paralela às fibras (C) e módulos de elasticidade (E_c e E_f), assim como as estimativas dos parâmetros genéticos. Os coeficientes de variação experimental (CVeb) assumiram valores de 6,55% (E_f), 5,08% (C), 6,68% (E_c) e 33,56% (MDR). Exceto para o MDR, esses foram inferiores aos obtidos por Moura (2000) e Lima (1999). Isto mostra maior adequação estatística para as avaliações dos parâmetros fenotípicos e genéticos das três primeiras propriedades em relação à última, que se revelou não significativa nos testes dos efeitos de clones e interação destes com as posições de amostragem, o que pode ser atribuído à dificuldade de obtenção de corpos-de-prova para este ensaio.

O teste de F constatou que os efeitos de clones, posições de amostragem e respectivas interações são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,01$) para as propriedades E_f , E_c e C. A significância da interação indica que a classificação dos clones se modifica em função da posição radial de amostragem. Para o módulo de ruptura (MDR), o efeito clone e a interação clone x posição não foi significativa, sugerindo que não há variação genética nesta propriedade, em nenhuma das posições de amostragem.

Este fato, associado ao de que o módulo de elasticidade (E_c) possui significância de efeitos e estimativas dos parâmetros genéticos semelhantes aos estimados para resistência paralela às fibras (C) e, ainda, que tanto E_c quanto C se referem ao mesmo ensaio (compressão), optou-se em analisar os clones discriminados por posição de amostragem somente para os módulos de elasticidade E_f e E_c , como apresentado na Tabela 3.10. Ressalta-se, novamente, que esta discriminação não permite selecionar os melhores clones por posição,

TABELA 3.10 - Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., amostrada nas posições radiais P1 (periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média de P1 e P2.

Fonte de Variação	Quadrados Médios							
	Ef				Ec			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
Clone	3,713x10 ^{7**} (16)	2,521x10 ^{7**} (16)	1,846x10 ^{7NS} (10)	3,059x10 ^{7**} (16)	1,728x10 ^{7**} (16)	1,278x10 ^{7**} (16)	1,560x10 ^{7NS} (12)	1,515x10 ^{6**} (16)
Resíduo	334079 (60) ^Δ	17216 (55)	928559 (12)	136576 (55)	294940 (58)	197956 (57)	328793 (20)	98332 (50)
Média	6117,1	5257,5	4984	5687,3	8429,5	7559,1	7068,8	7994,3
σ_f^2	825000	600119		728238	392750	290386		344318
σ_c^2	750760	559128		695720	325718	245396		321970
σ_e^2	334079	172161	928559	136576	294940	197956	328793	98332
h_c^2	0,91	0,93		0,96	0,83	0,85		0,94
CV _e (%)	31,50	30,20	19,33	30,75	15,59	14,95	17,67	15,40
CV _c (%)	14,16	14,22		14,67	6,77	6,55		7,10
CV _f (%)	14,85	14,73		15,00	7,43	7,12		7,34
CV _f /CV _e	2,12	2,05		2,05	2,10	2,10		2,10
GD (MPa)	1157,18	1010,46		1141,37	727,63	637,54		768,18
GD (%) ⁺	18,92	19,22		20,07	8,63	8,43		9,61
r_g^+	0,94				r_g^+	0,94		
GI (MPa)	1058				GI (MPa)	727,36		
GI (%) ⁺	13,23				GI (%) ⁺	12,79		

σ_f^2 : variância fenotípica, σ_c^2 : variância genotípica, σ_e^2 : variância ambiental, h_c^2 : coeficiente de herdabilidade, CV_e: coeficiente de variação experimental, CV_c: coeficiente de variação genética, CV_f: coeficiente de variação fenotípica, r_g : correlação genotípica entre DB e DS, GD: ganho direto, GI: ganho indireto obtido em DB pela realização da seleção em DS.

Δ. Os graus de liberdade estão apresentados entre parênteses, ⁺ GD e GI: em porcentagem da média.

tal como se processa nos estudos de interação de clones por ambiente, e sim pelas médias das posições em que os ganhos são maiores.

Os coeficientes de variação experimental (CVe) para Ef, nas posições de amostragem P1, P2 e P3, foram considerados aceitáveis de acordo com a classificação de Gomes (1990), indicando que a amostragem e a coleta de dados foram adequadas e que as estimativas dos componentes de variância, herdabilidade e ganho genético também são confiáveis. A amplitude do CVe estimado para Ef foi de 19,33% (P3) a 31,50% (P1). Estes valores, embora aceitáveis, foram muito elevados em relação aos estimados para Ec, cuja amplitude foi de 14,95% (P2) a 17,67% (P3). Assim, na amostragem para avaliar a propriedade Ef, deve-se adotar um maior rigor na amostragem, trabalhando com maior número de corpos-de-prova e/ou repetições para minimizar os erros decorrentes de nós, rachaduras e outros defeitos da madeira.

Ainda pela Tabela 3.10, verifica-se que o teste de F, para Ef e Ec, constatou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre clones nas posições P1 e intermediária P2. Como não foi constatada variação entre clones na posição P3, procederam-se a análise de variância para as médias de Ef e Ec, obtida nas posições P1 e P2, a qual também evidenciou diferenças significativas entre clones ($p \leq 0,01$).

Analisando somente as posições periférica (P1) e intermediária (P2), nota-se um decréscimo significativo da variância genética de P1 para P2. Já os coeficientes de herdabilidade (h^2_c) e de variação genética (CVc) permaneceram muito semelhantes nas duas posições de amostragem e na média destas.

Tanto para Ef quanto para Ec, os coeficientes de herdabilidade foram bastante elevados nas posições P1, P2 e na média destas. Para Ef e Ec, os valores médios de h^2_c foram 0,96 e 0,94, respectivamente. Altos valores de herdabilidade para as propriedades mecânicas da madeira também foram estimados por Moura (2000), confirmando que estas importantes propriedades

da madeira para usos estruturais têm forte controle genético e devem ser consideradas nos programas de melhoramento genético.

Os coeficientes de herdabilidade, juntamente com a variância genética, permitiram prever ganhos respectivos de 1141,4 MPa (20,07%) e 768,2 MPa (9,61%). Estes ganhos foram previstos pela seleção de 1 clone em cinco avaliados (seleção de 20%), padronizando um índice de seleção de 1,4, conforme tabela apresentada por Cotteril e Dean (1990).

Tendo em vista a necessidade do uso de grande quantidade de corpos-de-prova e a complexidade nas avaliações mecânicas da madeira, torna-se importante avaliar o quanto uma propriedade está geneticamente associada a outra. Estimativas desta natureza podem viabilizar a seleção de uma característica com reflexos positivos em outra, ou seja, a realização de ganho indireto. Isso pode promover uma grande economia de tempo e recursos.

Para tanto, procedeu-se a análise de covariância genotípica entre as propriedades Ef e Ec para estimar o coeficiente de correlação genotípica, que foi de 0,94 (Tabela 3.10). O elevado valor deste coeficiente, associado aos altos valores de herdabilidade e variância genética, permitiram a previsão de um ganho indireto (GI) da ordem de 1058 MPa em Ec, pela realização da seleção em Ef. Este GI corresponde a um aumento 13,25% na média de Ec dos clones estudados. Nota-se que este GI é superior ao ganho direto de 9,61%, conforme evidenciado na Tabela 3.9. Por outro lado, o ganho indireto em Ef, estimado pela seleção em Ec, foi de 727,3 MPa, ou seja, 12,8% superior à média de Ef. Entretanto, neste último caso, a seleção indireta em Ec não foi tão eficiente pois a seleção direta em Ef proporciona um ganho de 20,1%.

Isso indica que a seleção indireta deve ser realizada em Ef, selecionando os clones 7, 42, 65 e 26, os quais apresentaram as maiores médias nas posições P1 e P2. Estas médias, juntamente com as dos clones não selecionados,

encontram-se na Tabela 4A (anexo) e podem ser visualizadas graficamente pela Figura 3.6.

Comparando as médias, verifica-se pela Tabela 4A (anexo), que os clones 7 e 42 são bastante semelhantes entre si e diferentes da grande maioria, conforme teste de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$).

3.3 Densidade da madeira

Os valores médios (Tabela 3.11) dos dezoito clones utilizados neste estudo foram de $0,495 \text{ g.cm}^{-3}$ para densidade básica (DB) e de $0,580 \text{ g.cm}^{-3}$ para a densidade seca (DS). O valor de DB foi semelhante aos encontrados por Oliveira (1997) para *Eucalyptus grandis* com 16 anos de idade, e por Cruz (2000) para sete clones de *Eucalyptus* spp. com 5,5 e 10,5 anos de idade, que foram de $0,490$ e $0,505 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente. No entanto, a faixa de variação para DB foi de $0,462$ a $0,558 \text{ g.cm}^{-3}$, possibilitando, assim, a escolha de clones mais ou menos densos conforme o uso final da madeira.

A Tabela 3.11 apresenta os resultados das análises de variância para as densidades básica e seca da madeira e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos.

Observa-se, nesta tabela, que os coeficientes de variação experimental (CVeb) assumiram valores de 3,5% para a densidade básica (DB) e de 3,9% para a densidade seca (DS). Moura (2000) observou um CVeb de 4,31% ao estudar a DB de dez clones de eucalipto. Estes resultados indicam, de acordo com Gomes (1990), que o delineamento experimental utilizado e a coleta de dados foram adequados para testar os efeitos indicados na coluna fonte de variação, bem como no procedimento das estimativas dos componentes de variância e da herdabilidade.

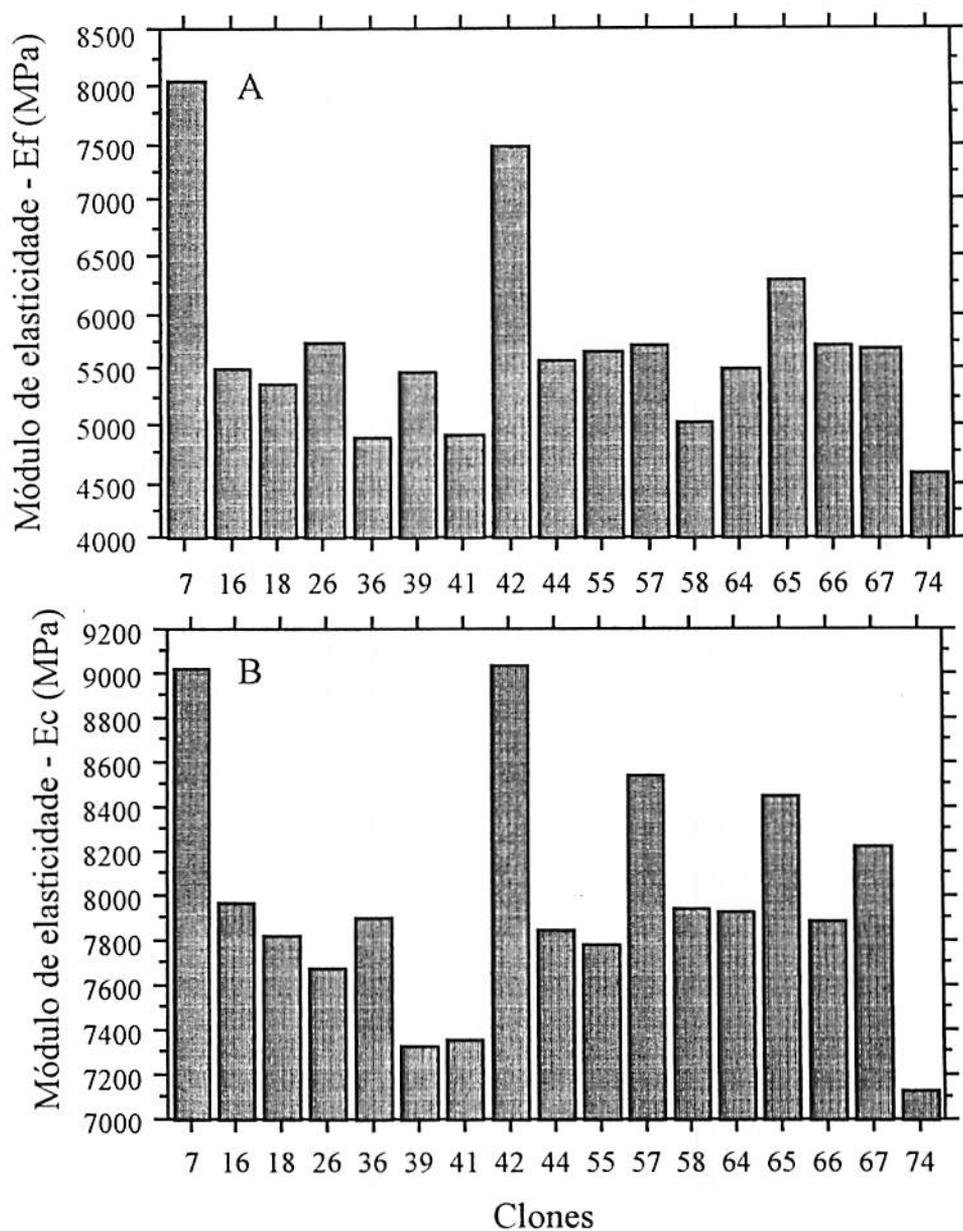


FIGURA 3.6 - Valores médios de módulos de elasticidade Ef e Ec da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 63 meses de idade.

TABELA 3.11 - Resumo da análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as densidades básica (DB) e seca (DS) da madeira declones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 63 meses de idade.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		DB	DS
Clone (C)	17	0,0020**	0,0041**
Erro a	63	0,0009	0,0015
Posição (P)	1	0,0555**	0,0771**
C x P	17	0,0011**	0,0005**
Erro b	64	0,003	0,0005
Média		0,4950	0,5800
CV _{ea} (%)		6,0606	6,7400
CV _{eb} (%)		3,4991	3,8900
CV _c (%)		1,8757	2,4800
σ^2_f		0,0002	0,0003
σ^2_c		0,0001	0,0002
H ² _c (%)		0,5500	0,6341

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

CV_{ea}: coeficiente de variação de experimental (erro a), CV_{eb}: coeficiente de variação experimental (erro b), CV_c: coeficiente de variação genética, σ^2_f : variância fenotípica, σ^2_c : variância genotípica, h²_c: coeficiente de herdabilidade.

Os testes de F, conduzidos para as densidades básica (DB) e seca (DS), mostraram que os efeitos de clones, posições de amostragem e respectivas interações foram estatisticamente diferentes ($p \leq 0,01$). Estes resultados sugerem que os clones avaliados constituem um material genético potencial para ser utilizado em programas de melhoramento que consideram estas características.

Como as interações entre clones e posições de amostragem foram significativas para as densidades básica e seca, procederam-se as análises de variância separadas para cada posição. Os resultados destas análises, apresentadas na Tabela 3.12, permitiram obter informações genéticas discriminadas por posição de amostragem.

TABELA 3.12 - Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para as densidades básica e seca da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., amostradas nas posições radiais P1 (periférica), P2 (intermediária), P3 (central) e na média de P1 e P2.

Fonte de Variação	Quadrados Médios							
	Densidade básica (DB)				Densidade seca (DS)			
	P1	P2	P3	Média	P1	P2	P3	Média
Clone	0,0045** (17)	0,0042** (17)	0,0015* (13)	0,0038** (17)	0,0093** (17)	0,0079** (17)	0,0025* (13)	0,0075** (17)
Resíduo	0,0006 (63) ^Δ	0,0004 (63)	0,0007 (26)	0,0004 (63)	0,0011 (63)	0,0008 (63)	0,0012 (26)	0,0007 (63)
Média	0,515	0,476	0,466	0,496	0,598	0,553	0,539	0,576
σ_f^2	0,001	0,0009	0,0005	0,0008	0,0021	0,0017	0,0009	0,0017
σ_c^2	0,0009	0,0008	0,0003	0,0008	0,0018	0,0015	0,0004	0,0015
σ_e^2	0,0006	0,0004	0,0007	0,0004	0,0011	0,0008	0,0012	0,0007
h_c^2	0,8667	0,9048	0,5333	0,8947	0,8817	0,8987	0,5200	0,9067
CV _e (%)	4,7563	4,2017	5,6776	4,0323	5,5462	5,1147	6,4269	4,5933
CV _c (%)	5,7164	5,9736	3,5642	5,5418	7,1384	7,0284	3,9281	6,7488
CV _f (%)	6,1403	6,2801	4,8805	5,8587	7,6021	7,4138	5,4473	7,0876
CV _f /CV _e	1,2019	1,4217	0,6278	1,3744	1,2871	1,3742	0,6112	1,4693
GD (g.cm ⁻³)	0,0384	0,0379	0,0170	0,0364	0,0561	0,0516	0,0213	0,0518
GD(%) ⁺	7,45	7,95	3,64	7,34	9,38	9,33	3,97	9,00
r_g^+	0,9879							
GI (g.cm ⁻³)	0,0509							
GI(%) ⁺	10,25							

σ_f^2 : variância fenotípica, σ_c^2 : variância genotípica, σ_e^2 : variância ambiental, h_c^2 : coeficiente de herdabilidade, CV_e: coeficiente de variação experimental, CV_c: coeficiente de variação genética, CV_f: coeficiente de variação fenotípica, r_g : correlação genotípica entre DB e DS, GD: ganho direto, GI: ganho indireto obtido em DB pela realização da seleção em DS.

Δ. Os graus de liberdade estão apresentados entre parênteses, ⁺ GD e GI: em porcentagem da média.

Aqui cabe um esclarecimento importante, que é válido para todas as propriedades da madeira avaliadas neste trabalho. As informações genéticas específicas não viabilizam a seleção de clones por posição de amostragem, pois a madeira é constituída por diferentes tipos e proporções de componentes anatômicos, distribuídos nas regiões periférica (P1), intermediária (P2) e central (P3) da árvore, conferindo características próprias a cada uma destas. Assim, não é possível selecionar o melhor clone somente para a posição periférica ou somente para a posição central da árvore. Ao selecionar o melhor clone em uma determinada posição, obviamente as outras duas estarão incluídas. Dessa forma, a seleção foi realizada com base nas médias das posições da característica para a qual os ganhos são maiores.

Os coeficientes de variação experimental (CVe) para as densidades básica e seca foram considerados baixos, assumindo amplitudes de 4,20% (P2) a 5,68% (P3) para DB e de 5,11% (P2) a 6,42% (P3) para DS. Estes valores indicam que a amostragem e a coleta de dados foram adequadas e que as estimativas dos componentes de variância, herdabilidades e ganhos genéticos são confiáveis.

O teste de F, considerando as duas densidades da madeira, constatou que o efeito de clone é estatisticamente variável nas três posições de amostragem, sendo altamente significativo nas posições 1 e 2 ($p \leq 0,01$) e significativo na posição 3 ($P \leq 0,05$). Alto nível de significância também foi observado na análise dos valores médios de densidades obtidos nas posições P1 e P2.

Ainda pela Tabela 3.12, percebe-se que a variância genética decresce de forma significativa no sentido da posição P1 e P2 para a posição P3. Na densidade básica, esta redução foi da ordem de 3,0 vezes, enquanto, na densidade seca, foi da ordem de 4,5. Decréscimos muito importantes também foram detectados no coeficiente de variação genética (CVc) e também na relação CVc/CVe, que é um indicador do potencial de obtenção de ganhos com a

seleção de clones superiores e na previsão de ganhos diretos conduzidos, seja na característica densidade básica ou na seca.

Considerando as duas densidades, a mesma tendência foi observada para os coeficientes de herdabilidade, cujos valores estimados nas posições P1 e P2 são superiores a 0,87. Estes valores permitem inferir sobre o forte controle genético na expressão desta característica, possibilitando a seleção para a direção desejada, como também foi verificado por Shimoyama e Barrichelo (1989).

Quando foram consideradas as médias destas características nas posições P1 e P2, observaram-se altos coeficientes de herdabilidade, assumindo valores de 0,89 e 0,91 para DB e DS, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Demuner e Bertolucci (1993), Silveira (1999) e Moura (2000). Os valores de herdabilidade e de variância genética permitiram estimar ganhos de 7,34 % para DB e 9,0% para DS. Estes ganhos foram previstos pela realização da seleção de 1 clone em cinco avaliados (seleção de 20%), padronizando um índice de seleção de 1,4, conforme tabela apresentada por Cotteril e Dean (1990).

A magnitude do ganho direto para DB, avaliado na média P1 e P2, foi inferior à dos estimados por Silveira (1999), segundo os quais a proporção de seleção foi de 1 em 6, em clones com idade de 5 anos. O GD também foi inferior ao encontrado por Moura (2000), segundo o qual a seleção foi na proporção de 1 em 10 em clones com 9 anos de idade.

A fim de realizar a seleção indireta em DB pela seleção em DS, procedeu-se a análise de covariância genotípica entre as características DB e DS, a qual permitiu estimar um coeficiente de correlação genotípica alto e significativo ($r_g = 0,989$). Este coeficiente, associado aos altos valores de herdabilidade, propiciaram a previsão de ganho indireto (GI) da ordem de 0,0509 g.cm⁻³ na DB, pela realização da seleção em DS. Este GI corresponde a

um aumento de 10,25% na média DB da população de clones estudada, sendo portanto, superior ao ganho direto $GD=7,34\%$ (Tabela 3.12).

O ganho indireto proporcionado pela seleção indireta também pode ser traduzido em outras vantagens: i) redução do tempo de realização do trabalho, uma vez que a determinação da densidade básica torna-se demorada devido à necessidade de deixar as amostras por longos períodos em dissecadores com água até atingirem a saturação, enquanto a densidade seca pode ser rapidamente determinada, em apenas 72 horas para as amostras utilizadas neste estudo; ii) economia de recursos financeiros, espaço físico e mão-de-obra e iii) maior operacionalidade no laboratório, permitindo avaliar um maior número de clones para, assim, realizar seleções mais rigorosas e alcançar maiores ganhos.

As médias de clones, obtidas a partir dos dados de DB e DS nas posições P1 e P2, são apresentadas nas Tabelas 6A a 10A (anexo) e na Figura 3.7, para comparações entre clones e indicação daqueles que são potenciais para a seleção. Verifica-se que os clones 7, 42, 64 e 65 apresentaram os maiores valores de densidades básica e seca, sendo, portanto, indicados para a seleção.

As comparações de médias mostraram que estes clones são bastante semelhantes entre si e diferentes dos demais pelo Teste de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$), como pode ser verificado na Tabela 5A (anexo).

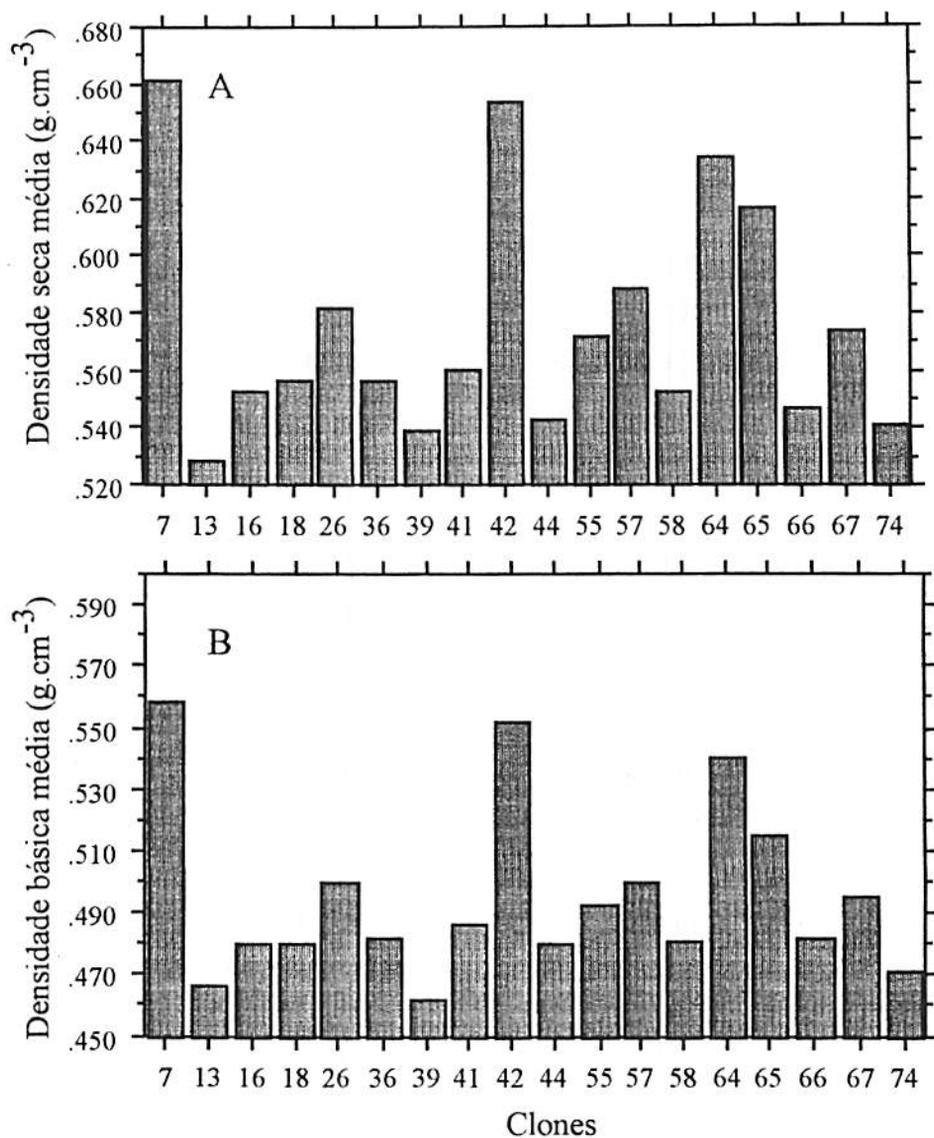


FIGURA 3.7 - Valores médios de densidade seca (A) e densidade básica (B) de clones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 63 meses de idade.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e discutidos neste capítulo, conclui-se que:

- a) Exceto para módulo de ruptura, os clones de *Eucalyptus* spp. apresentaram variações significativas para todas as características avaliadas, o que indica o potencial do material genético avaliado para ser utilizado em programas de melhoramento que incluam a melhoria de tais características;
- b) Os clones apresentaram diferenças estatísticas significativas para as posições de amostragem periférica, intermediária e na média de ambas, em todas as características avaliadas. Já para a posição central, as análises mostraram baixo nível ou inexistência de variação genética, associado à insuficiência amostral desta posição para a maioria das características da madeira;
- c) Todas as características apresentaram elevados coeficientes de herdabilidade, confirmando que suas expressões estão sob forte controle genético, possibilitando, assim, a seleção para a direção desejada;
- d) Os ganhos genéticos diretos, previstos para os valores médios da densidade básica e do módulo de elasticidade à compressão, foram inferiores aos ganhos indiretos, sugerindo a realização da seleção destas características indiretamente pela densidade seca e módulo de elasticidade à flexão, respectivamente;

- e) Os ganhos indiretos, previstos para as contrações tangencial, radial e volumétrica da madeira na sua umidade de equilíbrio, foram um pouco menores do que aqueles obtidos pela seleção direta. Neste caso, porém, a seleção indireta deve ser considerada, pois sua realização refletirá na redução do tempo de trabalho, na economia de recursos financeiros, espaço físico e mão-de-obra, e na maior operacionalidade do laboratório, permitindo avaliar um maior número de árvores e proceder seleções mais rigorosas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Annual book of ASTM standards**. Denvers: [s.n.], 1997. 679p. D143/94: standard methods of testing small clear specimens of timber, p. 23-53.
- COTTERIL, P.P.; DEAN, C.A. **Successful tree breeding with index selection**. [S.l.]: CSIRO, 1990. 80p.
- CRUZ, C.R. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira**. Curitiba: UFPR, 2000. 64p. (Dissertação - Mestrado em Tecnologia da Madeira).
- DEMUNER, B.J.; BERTOLUCCI, F.L.G. **Seleção florestal: uma nova abordagem a partir de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características de madeira e polpa de eucalipto**. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABICP, 26., 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: ABICP, 1993. p. 411.
- DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1992. 33p. (Série Técnica; 10).
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: USP, 1990. 466p.
- LIMA, J.T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. Bangor: University of Wales, 1999. 276p. (Tese - Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).
- MOURA, M.C. de O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. Lavras: UFLA, 2000. 63p. (Dissertação - Mestrado em Produção Florestal).
- OLIVEIRA, A.D.; SCOLFORO, J.R.; SILVEIRA, V. de P. **Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril com esucalipto implantado em região de cerrado**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.10, n.1, p. 1-19, 2000.
- OLIVEIRA, J.T. da S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo: Escola Politécnica/USP, 1997. 2v. (Tese - Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).

SHIMOYAMA, V.R. de S.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. IPEF, Piracicaba, v.6, n.20, p. 22, 1989.

SILVEIRA, V. Comportamento de clones de *Eucalyptus* em diversos ambientes definidos pela qualidade de sítio e espaçamento. Lavras: UFLA, 1999. 124p. (Dissertação - Produção Florestal).

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

ANEXO

Tabela 1A - Comparações entre médias de contração tangencial (CT) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 6 anos de idade, na condição anidrica (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE).

	41	44	66	16	67	55	36	39	58	74	18	64	42	7	57	26	65
41	-																
44	-	-															
66	-	-	-														
16	-	-	-	-													
67	-	-	-	-	-												
55	-	-	-	-	-	-											
36	-	-	-	-	-	-	-										
39	-	-	-	-	-	-	-	-									
58	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
57	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CT_{CA}

	44	66	41	67	16	55	58	64	74	36	42	39	18	7	26	57	65
44	-																
66	-	-															
41	-	-	-														
67	-	-	-	-													
16	-	-	-	-	-												
55	-	-	-	-	-	-											
58	-	-	-	-	-	-	-										
64	-	-	-	-	-	-	-	-									
74	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
26	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CT_{CUE}

*Pares de clones que diferem entre si, pelo teste de Tukey-Kramer (p≤0,05).

Tabela 2A - Comparações entre médias de contração radial (CR) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 6 anos de idade, na condição anídrica (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE).

	44	58	18	66	74	36	26	67	57	64	55	41	16	39	65	7	42
44	-																
58	-																
18	-	-															
66	-	-	-														
74	-	-	-	-													
36	-	-	-	-	-												
26	-	-	-	-	-	-											
67	-	-	-	-	-	-	-										
57	-	-	-	-	-	-	-	-									
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
65	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-

CR_{CA}

	66	44	58	18	74	55	67	26	64	36	16	57	41	39	7	42	65
66	-																
44	-																
58	-	-															
18	-	-	-														
74	-	-	-	-													
55	-	-	-	-	-												
67	-	-	-	-	-	-											
26	-	-	-	-	-	-	-										
64	-	-	-	-	-	-	-	-									
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
7	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-

CR_{CUE}

*Pares de clones que diferem entre si, pelo teste de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$).

Tabela 3A - Comparações entre médias de contração volumétrica (CV) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 6 anos de idade, na condição anídrica (CA) e na condição de umidade de equilíbrio (CUE).

	44	66	74	58	16	41	36	67	18	55	26	39	64	57	7	42	65
44	-																
66	-	-															
74	-	-	-														
58	-	-	-	-													
16	-	-	-	-	-												
41	-	-	-	-	-	-											
36	*	-	-	-	-	-	-										
67	*	*	-	-	-	-	-	-									
18	*	*	-	-	-	-	-	-	-								
55	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-							
26	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
39	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
64	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
57	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-			
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-		
42	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	
65	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-

CV_{CA}

	44	66	16	58	74	67	36	18	41	26	42	55	64	7	39	57	65
44	-																
66	-	-															
16	*	-	-														
58	*	-	-	-													
74	*	-	-	-	-												
67	*	-	-	-	-	-											
36	*	-	-	-	-	-	-										
18	*	*	-	-	-	-	-	-									
41	*	*	-	-	-	-	-	-	-								
26	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-							
42	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
55	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
64	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
7	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
39	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
57	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
65	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

CV_{CUE}

*Pares de clones que diferem entre si, pelo teste de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$).

Tabela 4A - Comparações entre médias de módulos de elasticidade (Ef e Ec) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 6 anos de idade.

	74	36	41	58	18	39	16	64	44	55	67	57	66	26	65	42	7
74	-	-															
36	-	-	-														
41	-	-	-	-													
58	-	-	-	-	-												
18	-	-	-	-	-	-											
39	*	-	-	-	-	-	-										
16	*	-	-	-	-	-	-	-									
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
44	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
55	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
67	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
57	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
66	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
26	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
65	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-

	74	39	41	26	55	18	44	66	36	64	58	16	67	65	57	7	42
74	-																
39	-	-															
41	-	-	-														
26	-	-	-	-													
55	-	-	-	-	-												
18	-	-	-	-	-	-											
44	-	-	-	-	-	-	-										
66	-	-	-	-	-	-	-	-									
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
65	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
57	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-
42	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-

*Pares de clones que diferem entre si, pelo teste de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$).

Tabela 5A - Comparações entre médias de densidades básica (DB) e seca (DS) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., avaliados aos 6 anos de idade.

	39	13	74	44	18	16	58	36	66	41	55	67	57	26	65	64	42	7	
39	-																		
13	-	-																	
74	-	-	-																
44	-	-	-	-															
18	-	-	-	-	-														
16	-	-	-	-	-	-													
58	-	-	-	-	-	-	-												
36	-	-	-	-	-	-	-	-											
66	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
64	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
42	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

	13	39	74	44	66	58	16	18	36	41	55	67	26	57	65	64	42	7	
13	-																		
39	-	-																	
74	-	-	-																
44	-	-	-	-															
66	-	-	-	-	-														
58	-	-	-	-	-	-													
16	-	-	-	-	-	-	-												
18	-	-	-	-	-	-	-	-											
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
65	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
64	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
42	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

*Pares de clones que diferem entre si, pelo teste de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$).

Tabela 6A - Valores médios de densidades básica (DB) e seca (DS) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., obtidos aos seis anos de idade, nas posições radiais periférica (P1) e intermediária (P2).

Clone	DB (g.cm ⁻³)	DS (g.cm ⁻³)
39	0,462	0,539
13	0,467	0,529
74	0,471	0,541
44	0,480	0,544
18	0,480	0,557
16	0,480	0,553
58	0,481	0,553
36	0,481	0,557
66	0,482	0,547
41	0,486	0,561
55	0,492	0,572
67	0,496	0,574
57	0,500	0,589
26	0,500	0,582
65	0,515	0,617*
64	0,541	0,635*
42	0,552	0,654*
7	0,558	0,662*

* Clones potenciais para a seleção indireta pela densidade seca (DS)

Tabela 7A - Valores médios de módulos de elasticidade (Ef e Ec) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., obtidos aos seis anos de idade, nas posições radiais periférica (P1) e intermediária (P2).

Clone	Ef (MPa)	Ec (MPa)
74	4568,60	7133,13
36	4904,63	7906,25
41	4937,17	7365,00
58	5033,60	7941,40
18	5350,00	7832,75
39	5485,60	7329,40
16	5496,20	7968,10
64	5500,00	7933,88
44	5575,63	7858,25
55	5663,10	7782,10
67	5684,00	8223,17
57	5712,80	8552,13
66	5725,00	7894,00
26	5758,40*	7682,50
65	6279,33*	8458,50
42	7489,00*	9036,90
7	8054,50*	9022,50

* Clones potenciais para a seleção indireta pelo Ef.

Tabela 8A - Valores médios de contração tangencial (CT) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., obtidos aos seis anos de idade, nas posições radiais periférica (P1) e intermediária (P2) na condição de umidade de equilíbrio (CUE) e na condição anídrica (CA).

Clone	CT _{CUE}	CT _{CA}
41	3,53	7,01*
44	3,44	7,10*
66	3,50	7,11*
16	3,84	7,40*
67	3,82	7,50
55	3,88	7,78
36	4,24	7,81
39	4,53	7,90
58	4,06	7,94
74	4,22	7,98
18	4,54	8,24
64	4,15	8,26
42	4,28	8,30
7	4,60	8,57
57	5,07	8,80
26	4,74	8,92
65	5,44	9,54

* Clones potenciais para a seleção indireta pelo CT_{CA}.

Tabela 9A - Valores médios de contração radial (CR) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., obtidos aos seis anos de idade, nas posições radiais periférica (P1) e intermediária (P2) na condição de umidade de equilíbrio (CUE) e na condição anídrica (CA).

Clone	CR _{CUE}	CR _{CA}
44	3,44	4,04*
58	4,06	4,23*
18	4,54	4,36*
66	3,50	4,44*
74	4,22	4,52
36	4,24	4,94
26	4,74	4,94
67	3,82	4,97
57	5,07	5,03
64	4,15	5,09
55	3,88	5,12
41	3,53	5,21
16	3,84	5,37
39	4,53	5,42
65	5,44	6,30
7	4,60	6,34
42	4,28	6,74

* Clones potenciais para a seleção indireta pelo CR_{CA}.

Tabela 10A - Valores médios de contração volumétrica (CV) da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., obtidos aos seis anos de idade, nas posições radiais periférica (P1) e intermediária (P2) na condição de umidade de equilíbrio (CUE) e na condição anídrica (CA).

Clone	CV _{CUE}	CV _{CA}
44	5,39	11,74*
66	5,85	11,88*
74	6,90	13,02*
58	6,84	13,03*
16	6,83	13,23
41	7,49	13,29
36	7,23	13,46
67	7,02	13,62
18	7,31	13,75
55	7,58	13,96
26	7,54	14,16
39	7,94	14,29
64	7,66	14,68
57	8,53	15,14
7	7,89	15,38
42	7,56	15,45
65	9,90	16,54

* Clones potenciais para a seleção indireta pelo CV_{CA}.