

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

**ESTUDO DA ESTRUTURA ANATÔMICA
E DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE**
Corymbia (Eucalyptus) citriodora e Eucalyptus grandis

CLÁUDIA ASSUMPÇÃO BENJAMIN

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor
em Agronomia – Área de Concentração em
Energia na Agricultura

BOTUCATU – SP
Dezembro - 2006

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

**ESTUDO DA ESTRUTURA ANATÔMICA
E DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE**
Corymbia (Eucalyptus) citriodora e Eucalyptus grandis

CLÁUDIA ASSUMPÇÃO BENJAMIN

Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor
em Agronomia – Área de Concentração em
Energia na Agricultura

BOTUCATU – SP
Dezembro – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B468e Benjamin, Cláudia Assumpção, 1965-
Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis* / Cláudia Assumpção Benjamin. - Botucatu : [s.n.], 2006.
xi, 158 f. : il. color., gráfs, tabs.

Facul- Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista,
dade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006
Orientador : Adriano Wagner Ballarin
Inclui bibliografia

1. Madeira - Tecnologia. 2. *Eucalyptus grandis*. 3. Densitometria. 4. Madeira - Propriedades mecânicas. 5. *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. I. Ballarin, Adriano Wagner. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

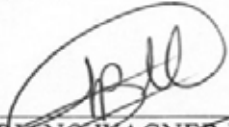
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ESTUDO DA ESTRUTURA ANATÔMICA E DAS PROPRIEDADES
FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Corymbia* (*Eucalyptus*)
Citriodora e *Eucalyptus Grandis*"

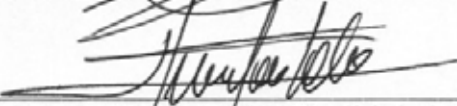
ALUNA: CLÁUDIA ASSUMPÇÃO BENJAMIN

ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

Aprovado pela Comissão Examinadora



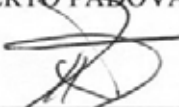
PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN



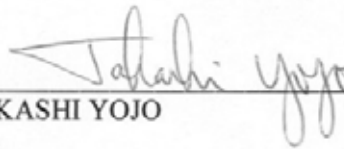
PROF. DR. HERNANDO ALFONSO LARA PALMA



PROF. DR. CARLOS ROBERTO PADOVANI



PROF. DR. MÁRIO TOMAZELLO FILHO



DR. TAKASHI YOJO

Data da Realização: 20 de dezembro de 2006.

“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”

Antoine de Saint-Exupéry

MENÇÃO ESPECIAL

Certamente eu não teria concluído este trabalho sem a ajuda de vocês. Carregaram-me no colo quando eu precisei, me reergueram na hora certa e me deram força e confiança para acreditar e continuar. Cada um a seu modo.

Minha família, meu bem precioso que eu amo tanto. Faço questão de citar o nome de todos vocês, pois quero deixar registrado aqui que, maior do que a alegria desta importante conquista é a felicidade de tê-los ao meu lado sempre: Beto, Sylvia, Lena, Zéo, Mariana, Michel, Cadu, Guto, Jorge, Rodrigo, Arnaldo, Maria Lúcia, Paulo, Suzana, Cristiana e Maurício.

Meus amigos da eternidade: Adriana, Ana Beatriz, Carlos, Edna, Elaine, Neli, Márcia, Maria Claudina, Milena e Terumi. Um beijo no coração de vocês,

Cláudia

Ajudar não é impor. É amparar, substancialmente, sem pruridos de personalismo, para que o beneficiado cresça, se ilumine e seja feliz por si mesmo.

André Luiz

AGRADECIMENTOS

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural e do Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Campus de Botucatu, em especial ao técnico de laboratório Ailton de Lima Lucas e à Engenheira Florestal Msc. Maria Silvia Chiaradia Gabriel pela ajuda na realização dos ensaios de propriedades físicas e mecânicas.

Ao professor Dr. Hernando Alfonso Lara Palma por participar de minha banca de qualificação e defesa de tese enriquecendo este trabalho.

Aos professores do IBB/Unesp, Dr. Carlos Roberto Padovani que sempre me atendeu com presteza e participou da banca examinadora de minha defesa de tese, e Msc. Luciano Barbosa que prestou um importante auxílio na execução das análises estatísticas, sempre com muita atenção.

Ao professor Dr. Mário Tomazello Filho que muito me orientou com sua larga experiência e cuja contribuição foi essencial para a realização deste trabalho. Agradeço também a sua presença na banca examinadora de minha qualificação e defesa de tese.

A todos os funcionários da Estação Experimental de Ciências Florestais – LCF/ESALQ-USP, em especial ao professor Dr. Fernando Seixas, chefe do LCF-ESALQ-USP, ao Engenheiro Florestal Msc. João Carlos Teixeira Mendes e ao técnico operacional da Estação Experimental de Anhembi Carlos Eduardo Costa Maria por viabilizarem a coleta de todo o material utilizado neste trabalho.

Aos Engenheiros Florestais e alunos de pós-graduação da ESALQ-USP Matheus Peres Chagas e Carlos Roberto Sette Jr. pela realização dos trabalhos laboratoriais de anatomia da madeira.

Ao professor Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias da ESALQ-USP – Piracicaba, que me forneceu uma ajuda inicial muito importante na parte estatística deste trabalho, me atendendo sempre com prontidão.

Ao projetista Alexandre Ferraz Castro pela execução das ilustrações deste trabalho.

Mais uma vez, de maneira especial agradeço de coração ao meu orientador, o professor Dr. Adriano Wagner Ballarin. Caminhamos sempre juntos desde o mestrado e jamais você me deixou sem uma resposta, uma explicação, uma ajuda, uma atenção. Levo destes anos como aluna de pós-graduação da UNESP a alegria de ter encontrado muitas pessoas que fizeram a diferença em meu aprendizado, mas levo acima de tudo a felicidade de ter conhecido um grande amigo.

"O amor é a força mais sutil do mundo."

Mahatma Gandhi

DEDICO ESTE TRABALHO

Aos meus pais Jacy e Marilena, ao meu marido José Mário e às minhas filhas Ana Cristina e Ana Beatriz. Mil trabalhos eu fizesse, mil vezes dedicaria a vocês: meus pais que simplesmente são o início de minha existência e responsáveis por minha formação. Zé Mário, que um dia jurei amor eterno... não era necessário, pois nosso amor é eterno. Cris, grande amiga e filha querida, nossa cumplicidade é tão grande que nos entendemos com “meias palavras” e simples olhares. Bia, meu amorzinho, filha tão meiga e carinhosa. Você é o espelho que me permite enxergar minha alma e graças a sua doçura e simplicidade, tantas coisas consegui descobrir em mim mesma e crescer.

Vocês são igualmente importantes em minha vida. Cada um com uma particularidade. Um beijo no coração.

Cláudia

SUMÁRIO

	Página
LISTA E QUADROS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 OBJETIVOS.....	8
5 REVISÃO DE LITERATURA.....	9
5.1 Propriedades físicas da madeira de Eucalipto.....	9
5.1.1 Densidade básica e densidade aparente.....	10
5.1.2 Retratibilidade da madeira.....	11
5.2 Caracterização do lenho de folhosas.....	13
5.2.1 Anéis de crescimento.....	13
5.2.2 Madeira juvenil e madeira adulta.....	15
5.2.3 Cerne e alburno.....	17
5.3 Propriedades mecânicas da madeira de <i>Eucalyptus</i>	19
5.3.1 Variação das propriedades mecânicas no sentido medula-casca.....	20
5.4 Variação das características do lenho no sentido medula-casca.....	22
5.5 Variação da densidade no sentido medula-casca.....	27
5.6 Compilação da revisão bibliográfica.....	32
6 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
6.1 Descrição do local de amostragem e espécies de madeira.....	34
6.2 Coleta e preparo inicial do material.....	35
6.3 Dados gerais das árvores.....	38
6.4 Características anatômicas da madeira.....	38
6.4.1 Árvores selecionadas.....	39
6.4.2 Preparo das amostras do lenho.....	39
6.4.3 Avaliação dos elementos do vaso.....	40
6.4.4 Avaliação das fibras.....	42
6.5 Propriedades físicas.....	44

6.5.1	Determinação da densidade básica média da madeira.....	44
6.5.2	Ensaio de retratibilidade.....	44
6.5.3	Variação radial da densidade aparente da madeira por densitometria de raios X.....	44
6.5.3.a	Preparo das amostras.....	44
6.5.3.b	Obtenção dos filmes radiográficos.....	45
6.5.3.c	Análise dos filmes radiográficos.....	46
6.5.3.d	Montagem do perfil radial de densidade aparente do lenho.....	46
6.5.3.e	Parâmetros de densidade aparente do lenho.....	46
6.6	Propriedades mecânicas.....	47
6.6.1	Ensaio de dureza Janka paralela às fibras.....	47
6.6.2	Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras.....	47
6.7	Análises dos resultados obtidos.....	47
6.7.1	Variação da densidade aparente e da resistência à compressão paralela às fibras.....	48
6.7.2	Variação da densidade aparente e da resistência à dureza paralela às fibras.....	48
6.7.3	Análises estatísticas.....	49
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
7.1	Dados gerais das árvores.....	51
7.2	Densidade básica da madeira dos discos das árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	53
7.3	Variação radial da densidade aparente da madeira das árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i> , com uso de densitometria de raios X....	53
7.4	Características Anatômicas da madeira das árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	70
7.4.1	Avaliação dos elementos dos vasos.....	70
7.4.2	Avaliação das fibras.....	75
7.4.3	Associações entre as características anatômicas.....	80
7.4.4	Efeitos dos fatores sobre as características anatômicas.....	81
7.5	Propriedades físicas da madeira das árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	84
7.5.1	Densidade básica e densidade aparente dos corpos-de-prova.....	84
7.5.2	Retratibilidades.....	84

7.5.3	Associações entre as propriedades físicas.....	90
7.5.4	Efeitos dos fatores sobre as propriedades físicas.....	93
7.6	Propriedades mecânicas.....	98
7.6.1	Resistência à compressão paralela às fibras.....	98
7.6.1.a	Comparações entre a variação radial da densidade aparente e da resistência à compressão paralela às fibras (condição saturada) da madeira no sentido medula-casca.....	99
7.6.1.b	Comparações entre a variação radial da densidade aparente e da resistência à compressão paralela às fibras (a 12% de umidade) da madeira no sentido medula-casca.....	103
7.6.2	Resistência à dureza paralela às fibras.....	106
7.6.2.a	Comparações entre a variação radial da densidade aparente e da resistência à dureza paralela às fibras (condição verde) da madeira no sentido medula-casca.....	107
7.6.2.b	Comparações entre a variação radial da densidade aparente e da resistência à dureza paralela às fibras (a 12% de umidade) da madeira no sentido medula-casca.....	110
7.6.3	Associações entre as propriedades mecânicas.....	113
7.6.4	Efeitos dos fatores sobre as propriedades mecânicas.....	114
7.7	Associações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas.....	117
7.8	Compilação dos resultados.....	121
8	CONCLUSÕES.....	125
9	BIBLIOGRAFIA.....	127
ANEXO A	-Resultados obtidos na microscopia.....	137
ANEXO B	-Resultados dos testes de comparação de médias.....	138
ANEXO C	Variação da retratibilidade volumétrica da madeira no sentido medula-casca.....	140
ANEXO D	-Valores de p-valor para o teste de variância – modelo hierárquico – significância de 5%.....	141
ANEXO E	-Variação da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras (condição saturada) da madeira no sentido medula-casca.....	143
ANEXO F	-Variação da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras (12% de umidade) da madeira no sentido medula-casca.....	147

ANEXO G	-Variação da densidade aparente média – medida na região correspondente ao ensaio de dureza – e da resistência à dureza paralela às fibras (condição verde) da madeira no sentido medula-casca.....	151
ANEXO H	-Variação da densidade aparente média – medida na região correspondente ao ensaio de dureza – e da resistência à dureza paralela às fibras (12% de umidade) da madeira no sentido medula-casca.....	155

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Valores médios das principais propriedades físicas e mecânicas de algumas espécies de eucalipto.....	21
2 Bibliografia que indica o aumento do comprimento das fibras no sentido medula-casca para várias espécies de eucalipto.....	26
3 Bibliografia onde se reporta o aumento da densidade básica da madeira no sentido medula-casca.....	29
4 Referências bibliográficas nas quais foram verificados padrões diversos de variação da densidade aparente (ou densidade básica) no sentido medula-casca.....	30
5 Dados de altura, DAP, espessura da casca e volume total, com e sem casca, das árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e de <i>E. grandis</i>	52
6 Valores de densidade básica dos discos amostrados de cada árvore de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	53
7 Comprimento e relação entre comprimentos dos raios direito e esquerdo utilizados para avaliação da variação da densidade aparente por densitometria de raios X nas árvores.....	54
8 Valores característicos da densidade aparente obtidos na densitometria de raios X para cada um dos raios avaliados.....	55
9 Delimitação das regiões de cerne, alburno, madeira juvenil e madeira adulta dos corpos-de-prova das árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	65
10 Valores das densidades aparentes média, máxima e mínima, do desvio-padrão e coeficiente de variação de Pearson para cada corpo-de-prova extraído do lado direito da medula – <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	67
11 Valores das densidades aparentes média, máxima e mínima, do desvio-padrão e coeficiente de variação de Pearson para cada corpo-de-prova extraído do lado esquerdo da medula – <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	68
12 Valores de frequência e diâmetro dos vasos, obtidos nas análises microscópicas do lenho.....	71
13 Valores de fração parede e fração lume, obtidos nas análises microscópicas do lenho.....	76
14 Resultados da correlação linear de Pearson entre as características anatômicas para as espécies <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	80
15 Resultados obtidos na análise de variância com as variáveis “características anatômicas”.....	81
16 Valores médios das características anatômicas e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito da espécie.....	82

17	Resultados obtidos no teste de comparação de médias – Tukey – avaliando o efeito de cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta sobre as características anatômicas, dentro de cada lado (direito (D) e esquerdo (E)) e dentro de cada espécie (<i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> (C) e <i>E. grandis</i> (G)).....	83
18	Valores de retratibilidade linear e volumétrica para os corpos-de-prova de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i>	85
19	Valores de retratibilidade linear e volumétrica para os corpos-de-prova de <i>E. grandis</i>	86
20	Resultados das correlações entre as propriedades físicas das árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i>	91
21	Resultados das correlações entre as propriedades físicas das árvores de <i>E. grandis</i>	92
22	Resultados obtidos na análise de variância com as variáveis “propriedades físicas”.....	94
23	Valores médios de densidade e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito da espécie.....	95
24	Valores médios de retratibilidade e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito da espécie.....	95
25	Resultados obtidos no teste de comparação de médias – Tukey – avaliando o efeito de cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta sobre as propriedades físicas, dentro de cada lado (direito (D) e esquerdo (E)) e dentro de cada espécie (<i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> (C) e <i>E. grandis</i> (G)).....	97
26	Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras – <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	98
27	Resultados obtidos nos ensaios de resistência à dureza paralela às fibras – <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	106
28	Coeficientes de correlação entre as propriedades mecânicas para as duas espécies de <i>Eucalyptus</i>	113
29	Resultados obtidos na análise de variância com as variáveis “propriedades mecânicas”.....	114
30	Valores médios das propriedades mecânicas e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito da espécie.....	114
31	Resultados obtidos no teste de comparação de médias – Tukey – avaliando o efeito de cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta sobre as propriedades mecânicas, dentro de cada lado (direito (D) e esquerdo (E)) e dentro de cada espécie (<i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> (C) e <i>E. grandis</i> (G)).....	116
32	Resultados das correlações entre as características anatômicas e propriedades físicas para as espécies <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	118

- 33 Resultados das correlações entre as características anatômicas e propriedades mecânicas para as espécies *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*..... 119
- 34 Resultados das correlações entre as propriedades físicas e propriedades mecânicas para as espécies *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*..... 120

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Visualização dos anéis de crescimento de uma árvore de eucalipto – lenhos inicial e tardio.....	14
2	Demarcação das regiões de madeira juvenil, adulta e de transição. (i) madeira de <i>Pinus taeda</i> L. (ii) madeira de <i>E. grandis</i>	16
3	Corte de tronco de <i>Eucalyptus</i> , evidenciando o cerne e o alburno.....	18
4	Variação da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) em função da densidade aparente da madeira – Dados compilados do banco de dados do IPT.....	22
5	Corte longitudinal evidenciando possível interação entre madeira juvenil e adulta e entre cerne e alburno.....	23
6	Variação da porcentagem de alburno ao longo da altura do tronco de sete espécies de <i>Eucalyptus</i>	24
7	Variação da densidade básica da madeira na direção medula-casca e ao longo do tronco de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> e <i>E. grandis</i>	31
8	Variação da densidade básica da madeira na direção medula-casca para amostras retiradas do DAP de sete espécies de <i>Eucalyptus</i>	32
9	Etapas da produção do material para as análises. (i): corte da tora de 70 cm a partir do DAP em direção à base. (ii): retirada da cunha utilizada na determinação da densidade básica média da cunha.....	35
10	Etapas da produção do material para as análises. (i): prancha central cujo desdobro originou todos os corpos-de-prova para a determinação das características anatômicas e propriedades físico-mecânicas. (ii) prancha central de <i>E. grandis</i> , evidenciando as demarcações feitas para o corte das faixas diametraais e dos caibros. (iii) prancha central de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> de onde puderam ser serrados 9 caibros. (iv) prancha central de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> de onde puderam ser serrados 7 caibros. E e D referem-se, respectivamente, às regiões da esquerda e da direita da medula.....	36

11	Esquema da produção dos corpos-de-prova. (i) tora de 700 mm, retirada a partir do DAP. (ii) disco de 70 mm de altura, de onde foi cortada uma cunha para a determinação da densidade básica média da madeira. (iii) prancha central de 100 mm de espessura, de onde foram retiradas as faixas diametrais A e B. (iv) faixa diametral de 70 mm de altura para execução de densitometria de raios X e análise anatômica microscópica da madeira (A); faixa diametral de 70 mm de altura para ensaio de Dureza Janka nas condições verde e a 12% de umidade (B); prancha restante de onde foram serrados os caibros (C). (v) caibros com área da seção transversal de (35 x 100) mm ² . (vi) corpos-de-prova utilizados no ensaio de resistência à compressão paralela às fibras na condição verde(D); corpos-de-prova utilizados na determinação das retratibilidades radial, tangencial, longitudinal e volumétrica da madeira (E); corpos-de-prova utilizados no ensaio de resistência à compressão paralela às fibras a 12% de umidade (F).....	37
12	Faixa diametral (B) evidenciando os pontos de execução dos ensaios de dureza Janka: (i) Demarcação das cotas medidas a partir da medula para execução de todos os ensaios; (ii) Intervalo de análise microscópica da madeira (G).....	39
13	Procedimento de tomada dos corpos-de-prova para análise dos elementos do vaso: (i) posição de tomada das imagens para análise anatômica do vaso. (ii) seção transversal do lenho de <i>E. grandis</i> para avaliação da área de vasos em programa de análise de imagem SAIM. Barra = 300 µm. Ampliação: 25 vezes (Ex: Árvore G5 – posição D6).....	41
14	Procedimento de tomada dos corpos-de-prova para análise das fibras: (i) posição de tomada das imagens para análise anatômica da parede. (ii) seção transversal do lenho de <i>E. grandis</i> para avaliação da fração lume em programa de análise de imagem SAIM. Barra = 20 µm. Ampliação: 1000 vezes (Ex: Árvore G1 – posição D1).....	43
15	Metodologia de raios X e a obtenção das imagens radiográficas do lenho das árvores de <i>E. grandis</i> e <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> : (a) corte das amostras em equipamento de dupla serra; (b) seções transversais das amostras; (c) suporte com as amostras sobre o filme radiográfico; (d) irradiação das amostras em equipamento de raios X; (e) imagem radiográfica e sua análise nos programas CRAD e CERD e (f) perfil da densidade aparente e respectiva amostra do lenho...	45
16	Perfil de densidade aparente (12%) do lenho – Árvores C1 a C3.....	57
17	Perfil de densidade aparente (12%) do lenho – Árvores C4 a C6.....	58
18	Perfil de densidade aparente (12%) do lenho – Árvores G1 a G3.....	59
19	Perfil de densidade aparente (12%) do lenho – Árvores G4 a G6.....	60

20	<i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> – padrões gerais de comportamento da densidade aparente ao longo do raio para duas árvores: C2 – com desbalanceamento dos raios – e C5 – com raios direito e esquerdo balanceados.....	62
21	<i>Eucalyptus grandis</i> – padrões gerais de comportamento da densidade aparente ao longo do raio para duas árvores: G1 – com desbalanceamento dos raios – e GC5 – com raios direito e esquerdo balanceados.....	64
22	Variações da densidade aparente média das 6 árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> no sentido medula-casca, medidas do lado direito (D) e esquerdo (E) da medula.....	69
23	Variações da densidade aparente média das 6 árvores de <i>E. grandis</i> no sentido medula-casca, medidas do lado direito (D) e esquerdo (E) da medula.....	69
24	Variação radial da densidade aparente média, frequência de vasos e diâmetro dos vasos das árvores C2, C3 e C5 de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i>	73
25	Variação radial da densidade aparente média, frequência de vasos e diâmetro dos vasos das árvores G1, G2 e G5 de <i>E. grandis</i>	74
26	Variação radial da densidade aparente média, fração parede e fração lume das árvores C2, C3 e C5 de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i>	78
27	Variação radial da densidade aparente média, fração parede e fração lume das árvores G1, G2 e G5 de <i>E. grandis</i>	79
28	Variações da retratibilidade radial das seis árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.....	87
29	Variações da retratibilidade radial das seis árvores de <i>E. grandis</i> no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.....	88
30	Variações da retratibilidade tangencial das seis árvores de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.....	89
31	Variações da retratibilidade tangencial das seis árvores de <i>E. grandis</i> no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.....	89
32	Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira das árvores C2, C3 e C5 de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> , na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.....	101

33	Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira das árvores G1, G2 e G5 de <i>E. grandis</i> , na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.....	102
34	Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira das árvores C2, C3 e C5 de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> , na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – umidade de 12%.....	104
35	Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira das árvores G1, G2 e G5 de <i>E. grandis</i> , na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – umidade de 12%.....	105
36	Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira das árvores C2, C3 e C5 de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> , na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.....	108
37	Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira das árvores G1, G2 e G5 de <i>E. grandis</i> , na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.....	109
38	Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore C2, C3 e C5 de <i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> , na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – umidade de 12%.....	111
39	Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore G1, G2 e G5 de <i>E. grandis</i> , na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – umidade de 12%.....	112

1 RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estudar as correlações existentes entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto proveniente de árvores com presença de madeira juvenil e adulta. O estudo foi conduzido com a caracterização complementar da estrutura anatômica da madeira sob análise, a partir de análises microscópicas do lenho. Estudaram-se 12 árvores, sendo seis de *E. grandis* – com 28 anos de idade – e seis de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* – com 29 anos de idade. As árvores foram disponibilizadas pela Estação Experimental de Ciências Florestais (EECF – LCF/ESALQ-USP), localizada no município de Anhembi – SP. A partir do DAP, no sentido da base da árvore, foi retirada uma tora de 70 cm de comprimento. Da tora, foram retirados um disco para determinação da densidade básica da madeira da árvore e uma prancha central, para obtenção dos corpos-de-prova – utilizados para os ensaios de propriedades físico-mecânicas e análises anatômicas da madeira. Nas 12 árvores amostradas foram mensuradas (ao longo do sentido medula-casca, lados direito e esquerdo) a densidade aparente da madeira, utilizando-se da técnica da densitometria de raios X e a densidade básica por mensuração e pesagem de corpos-de-prova. Ainda nesse sentido, em intervalos aproximadamente regulares de 35 mm, foram mensuradas as retratibilidades lineares e volumétricas. As resistências à compressão e à dureza paralela às fibras também foram medidas com a mesma regularidade ao longo do raio, com a madeira verde (na umidade de abate da árvore) e na umidade de equilíbrio ao ar ao longo de todo o raio. Para seis das 12 árvores (três árvores por espécie) foram mensuradas,

em três posições distintas na direção radial, algumas importantes características anatômicas do lenho, em regiões coincidentes com aquelas selecionadas para os ensaios de dureza paralela às fibras.

Com os resultados foram estabelecidos os padrões de variação das propriedades na direção radial, contabilizando-se os efeitos da espécie, do lado (direito e esquerdo) e das características marcantes do lenho, como as regiões de cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta. Foram estabelecidas correlações entre as propriedades físicas e mecânicas buscando, complementarmente, explicações para os componentes observados a partir da análise das características anatômicas identificadas.

Os resultados mostraram que, dentre as características anatômicas estudadas nas árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, a fração parede foi a única a apresentar correlações elevadas com a densidade aparente, densidade básica e resistência à dureza paralela às fibras. Nas árvores de *E. grandis* a fração parede se correlacionou bem com a densidade aparente e com a resistência à dureza paralela às fibras.

Os resultados apontaram ainda que os efeitos causados sobre as propriedades físicas e mecânicas decorrentes das diferenças entre madeira juvenil e madeira adulta são mais marcantes do que aqueles causados pelas diferenças entre cerne e alburno.

Palavras-chave: *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, *E. grandis*, tecnologia da madeira, propriedades físico-mecânicas, estrutura anatômica, densitometria de raios X.

STUDY OF ANATOMICAL STRUCTURE AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD FROM *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* AND *Eucalyptus grandis*

2 SUMMARY

This paper had the objective of studying the correlation between physical and mechanical properties of Eucalyptus wood from trees with expressive presence of both juvenile and mature wood. The study was carried out with complementary characterization of the anatomical structure of wood, using microscopic analyses. It were sampled 12 trees, six from *Eucalyptus grandis* – 28 years old – and six from *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* – 29 years old. Trees were obtained from Forestal Science Experimental Station of ESALQ-USP – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” at Anhembi – Sao Paulo State – Brazil. From DBH to the base of each tree it was sawed a log, 70cm long, from which it was cut a disc, 7 cm thick, for specific gravity determination and, in the remaining log was cut a central board (approximately 63cm long) to produce specimens for physical and mechanical properties determination. On all the trees (from pith to bark, right and left sides) it were evaluated the radial variation of specific gravity and density (12% MC) using X-ray densitometry and conventional methods. On regular intervals of 35mm from pith to bark, using specimens, it were measured radial, tangential, longitudinal and volumetric shrinkage and compression and hardness parallel to grain strength (green wood and wood at EMC for mechanical tests). For three of the 12 trees, in three different position along one of the radius of the tree, it were also measured several anatomical characteristics, on region coincident with those of the specimens for physical and mechanical tests.

With the obtained results it were established patterns of variation of all measured properties on radial direction, taking in account the effects of specie, side (right and

left) and important features of xylem (heart wood/sapwood and juvenile wood/mature wood). It were established correlation between physical and mechanical properties, see kind additional explanation to the observed behavior on the results of the anatomical analyses.

The results showed that, between the anatomic characteristics studied, of *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, the wall fraction was the only one which presented high correlation with density and hardness parallel to grain strength. In the other tree, *Eucalyptus grandis*, the wall fraction had a great correlation with density and with the hardness parallel to grain strength.

The results also indicated that the effects caused in the physical and mechanical properties, which happened because of the difference between juvenile and mature wood, are more significant than those caused by the difference between heart wood and sapwood.

Keywords: *C. citriodora*, *E. grandis*, wood technology, physical properties, mechanical properties, anatomical structure, X ray densitometry.

3 INTRODUÇÃO

A madeira tem sido utilizada pelo homem desde os primórdios de sua existência. Do ponto de vista da tecnologia dos produtos florestais, a despeito de diversas classificações apresentadas por pesquisadores, numa análise bastante simplificada e didática pode-se dizer que a madeira vivencia hoje uma terceira geração de sua evolução.

A primeira geração é composta dos produtos de madeira roliça (*round timber*), com processamento elementar, consistindo basicamente de uma segmentação (eventual) do fuste da árvore, ao longo de seu comprimento. Tais produtos são empregados como lenha ou, então, de forma temporária, em escoramentos de lajes (pontaletes) e construção de andaimes e, de forma permanente, com elementos de maior diâmetro e resistência, nos postes de distribuição de energia elétrica e em colunas. Em construções rurais, são freqüentes os seus usos em estruturas de telhado e outros componentes construtivos.

A segunda geração compreende o grupo dos produtos de madeira serrada, eventualmente aplainada e dimensionada (*lumber* e *structural lumber*, respectivamente), do qual fazem parte as pranchas, colunas, vigas, tábuas, caibros, ripas, entre outros, que têm uso corrente no Brasil, sobretudo na construção civil.

A terceira geração compreende uma imensa variedade de produtos florestais que podem ser agrupados sob o título genérico “produtos engenheirados à base de madeira” (*Engineered wood products*). São produtos à base de madeira que passaram, em maior ou menor grau, por um processo industrial que os reduz a frações ou componentes mais elementares ou convenientes, para posterior re-associação mais favorável.

Além do compensado, considerado o “produto engenheirado original”, incluem-se hoje nesse grupo os compostos estruturais de madeira (LVL – *Laminated Veneer Lumber*, PSL – *Parallel Strand Lumber* e LSL – *Laminated strand lumber*), os painéis estruturais (compensado e OSB – *Oriented Strand Board*), painéis não-estruturais (MDF – *Medium Density Fiberboard* – e as chapas de partículas), além de produtos como a madeira laminada colada e as vigas estruturais *I-joists*. Diversos desses produtos não estão disponíveis, ainda, no mercado nacional.

Durante muito tempo, as florestas nativas brasileiras supriram a demanda dos segmentos consumidores de madeira, sobretudo aqueles ligados à produção da primeira e segunda gerações do material, já descritas.

Nas últimas décadas, a matriz produtiva de madeira apresentou grande transformação. Motivado, inicialmente, pelas leis de incentivos fiscais aos plantios comerciais de florestas e, mais recentemente, pelas pressões de ordem ambiental e pela necessidade crescente de matéria-prima da indústria de base florestal, o país ganhou experiência e notabilização internacional na implantação e condução de florestas jovens de eucalipto (sobretudo) de ciclo curto, rápido crescimento e alta produtividade, abastecendo com matéria-prima de excelente qualidade as indústrias de polpa celulósica, papel e chapas de fibras, este último um material da terceira geração, já descrita.

De forma contrária ao que poderia ser esperado, embora crescentes, são ainda incipientes as experiências nacionais de produção de madeira serrada (material de 2ª geração) de eucalipto de qualidade para os usos mais nobres da construção civil (forros, pisos, estruturas), para movelaria e marcenaria.

De fato, por não contar com uma operação de re-engenharia, como acontece, em maior ou menor grau nos produtos tecnológicos de 3ª geração e no caso particular da indústria de papel e celulose, ocorrências naturais aos eucaliptos como as tensões de crescimento e tiloses prejudicam severamente a qualidade de sua madeira serrada. Atualmente, com a disponibilização no mercado de madeiras de florestas jovens, a grande incidência de madeira juvenil tem agravado ainda mais o problema.

Apesar de todo o avanço tecnológico já experimentado pela madeira ao longo do tempo, ainda persistem alguns problemas que os processos e técnicas até hoje desenvolvidos e aplicados não dão conta de trazer uma solução completa, ou plenamente

satisfatória, em termos da qualidade final da madeira serrada de eucalipto. Assim, são ainda freqüentes colapsos no processo de secagem e a presença de rachaduras de topo e empenamentos no material

Por outro lado, questões assumidas como paradigmas na tecnologia dos produtos florestais – tais como a utilização simplificada da densidade básica como parâmetro mais importante na avaliação da qualidade da madeira e a relação de dependência direta entre densidade e resistência mecânica da madeira – merecem uma re-análise, buscando uma definição mais precisa de sua abrangência e validade.

Embora se saiba que a densidade básica é uma importante propriedade da madeira, de fácil determinação, de extrema utilidade para o meio florestal, e que, para as madeiras em geral apresenta boas correlações com as propriedades mecânicas, para essas novas situações, ela, por si só, parece ser insuficiente como parâmetro único de qualidade.

As avançadas técnicas de avaliação da qualidade da madeira como, por exemplo, a densitometria (por raios X ou raios-gama), a análise digital de imagens microscópicas e os métodos não-destrutivos de inferência do desempenho mecânico da madeira se constituem em importantes ferramentas auxiliares numa mais detalhada caracterização do material, visando sua utilização como madeira serrada.

Este trabalho é uma contribuição ao estudo do comportamento e variação das propriedades mecânicas da madeira, a partir de sua correlação com as características anatômicas e propriedades físicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis* – que, respectivamente, são de grande potencial para uso em estruturas de madeira e de grande disponibilidade comercial no Brasil.

Considerando-se a abrangência pretendida, o trabalho utiliza-se de amostras provenientes de árvores 28 e 29 anos de idade, o que pressupõe a presença significativa de madeira juvenil e madeira adulta. Esse fato permite uma avaliação mais detalhada das propriedades mecânicas da madeira em função das diferenças entre madeira juvenil e madeira adulta, o que possibilita uma possível estratificação da madeira para uso estrutural.

4 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral estudar algumas propriedades físicas e mecânicas e características anatômicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis* – amostrada no DAP –, proveniente de árvores com 28 e 29 anos de idade, em função de características do lenho (cerne/alburno, madeira juvenil/madeira adulta).

O trabalho teve, ainda, os seguintes objetivos específicos:

- estudar a variação radial (sentido medula-casca) das densidades básica e aparente e da retratibilidade da madeira das árvores amostradas;
- estudar a variação radial (sentido medula-casca) da resistência à compressão paralela às fibras e da dureza paralela às fibras da madeira das árvores amostradas;
- determinar a estrutura anatômica da madeira amostrada, buscando as diferenciações mais importantes entre regiões características do lenho (cerne/alburno, madeira juvenil/adulta) ao longo da direção radial;
- estudar as propriedades físicas e mecânicas e as características anatômicas da madeira em função da espécie e do lado (raio direito e raio esquerdo);
- estudar as correlações lineares entre as propriedades mecânicas e as propriedades físicas e características anatômicas da madeira, para cada uma das espécies estudadas.

5 REVISÃO DA LITERATURA

5.1 Propriedades físicas da madeira de eucalipto

As propriedades físicas da madeira são também referidas por alguns autores como propriedades não-mecânicas – “non mechanical properties” (PANSHIN; De ZEEUW, 1980).

No geral elas avaliam características intrínsecas da madeira (como aparência, cor, densidade aparente e básica, teor de umidade) ou suas reações a estímulos não-mecânicos como as alterações dimensionais por perda ou ganho de água (retratibilidade e inchamento), a reação ao calor (condutividade e difusibilidade térmica, expansão térmica e combustão), a reação à eletricidade (condutividade, constante dielétrica), por exemplo.

O largo espectro de variação das propriedades físicas entre espécies (e mesmo intra-espécie) é uma das causas da grande versatilidade e variedades de uso da madeira.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), basicamente todas as propriedades físicas da madeira são determinadas por fatores inerentes à sua organização estrutural tais como: a quantidade de matéria da parede celular por unidade de volume; a quantidade de água presente na parede celular; a composição relativa dos componentes químicos principais na parede celular, bem como a quantidade e natureza de outros componentes presentes; o arranjo e orientação dos materiais componentes da parede na célula e nos tecidos; e o tipo, tamanho, proporção e arranjo das células constituintes dos tecidos.

As propriedades físicas mais empregadas na caracterização da madeira são a densidade, o teor de umidade e as alterações dimensionais promovidas pela perda ou ganho de água, notadamente a retratibilidade. Elas dão conta da ponderação direta dos dois primeiros fatores inerentes à organização estrutural da madeira, já listados.

5.1.1 Densidade básica

Dentre todas as propriedades físicas da madeira, a densidade básica¹ é, sem dúvida, a propriedade mais empregada para a avaliação da madeira. A facilidade em sua determinação e a estreita relação com a maior parte das demais características da madeira, tornam a densidade básica um importante parâmetro para avaliação da qualidade da madeira e para outras estimativas na análise de povoamentos florestais. Ferreira (1968), em seu estudo utilizando árvores de *Eucalyptus alba* e *E. saligna* (idade de cinco e sete anos, respectivamente), sugeriu considerar a densidade básica da madeira como índice de seleção de árvores matrizes para melhoramento genético florestal. Cruz et al. (2003), estudando sete clones de *Eucalyptus*, com cinco e 10 anos de idade, atestou que as correlações lineares entre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* sp. e sua resistência à compressão paralela às fibras bem como seu módulo de elasticidade à compressão e à flexão variaram de 0,47 a 0,67, a um nível de significância de 1%, evidenciando que a densidade básica pode ser utilizada para estimar a resistência mecânica da madeira com potencial de uso estrutural, de forma rápida e precisa, nessas condições. Este fato demonstra sua grande importância na avaliação da qualidade da madeira, dentre outros fatores, no que se refere principalmente às propriedades mecânicas como resistências à compressão, tração, flexão, cisalhamento, e à dureza.

Apesar de sua importância, a densidade básica da madeira não pode ser considerada como um índice isolado de qualidade da madeira. Fatores como as características anatômicas e a composição química, entre outros, também devem ser levados em consideração (WENZL, 1970; BRASIL et al., 1977). Hillis et al. (1964 apud BARRICHELO; BRITO, 1976) sugerem cautela no uso da densidade básica da madeira como critério de qualidade para

¹ No presente trabalho, o termo densidade básica se refere à razão entre a massa seca e o volume saturado (ABNT, 1997) e densidade aparente se refere à razão entre massa e volume a um mesmo teor de umidade.

caracterização de espécies do gênero *Eucalyptus*, em razão das diferenças anatômicas existentes entre as mesmas. Nesse sentido, Trugilho et al. (2003, p.79), estudando a madeira de *E. grandis* e *E. saligna*, concluíram que: a madeira de fibras largas, de parede mais espessa e de pequeno comprimento está associada com a madeira de alta contração radial, tangencial e volumétrica e de baixa densidade básica (coeficiente de correlação de 0,77 a 1% de significância); a madeira de fibras mais compridas e de parede mais espessa está associada com a madeira de baixa contração volumétrica e a alta densidade básica (coeficiente de correlação de 0,65 a 1% de significância); a madeira de alto teor de extrativos totais e baixo teor de lignina insolúvel está associada com a madeira de alta contração radial e baixa densidade básica (coeficiente de correlação de 0,94 a 1% de significância).

Mokfienski et al. (2003), em estudo realizado com *Eucalyptus sp.*, constataram que o coeficiente de correlação entre a densidade básica e o comprimento da fibra da madeira foi de 0,80 e o coeficiente de correlação entre a densidade básica e o diâmetro do lume foi de 0,76. Em contrapartida, o coeficiente de correlação entre a densidade básica e a espessura da parede celular da madeira foi de apenas 0,32.

Silva (2002), estudando árvores de *E. grandis* com idades entre 10 e 25 anos constatou que a densidade básica média madeira foi de $0,47 \text{ g/cm}^3$ em árvores com 25 anos e a densidade aparente média foi de $0,55 \text{ g/cm}^3$ para árvores com a mesma idade. O autor ressaltou ainda que houve tendência de aumento tanto da densidade básica quanto da densidade aparente da madeira no sentido medula-casca.

5.1.2 Retratabilidade da madeira

A retratabilidade da madeira é usualmente referida por alguns autores como contração.

De acordo com Rezende et al. (1988, p.33), “o termo retratabilidade volumétrica total se refere à perda total de água desde a amostra totalmente saturada até secagem completa em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ”. Segundo os autores, o ponto de saturação das fibras (PSF) – teor de umidade com o qual a madeira começa a ter uma variação volumétrica significativa – ocorre, no geral, para umidades em torno de 28%.

De uma compilação de trabalhos, percebe-se, contudo, que o PSF pode variar, no geral, de 20% a 30%, sendo muito dependente de cada espécie de madeira.

A retratibilidade da madeira se dá nas três direções principais – radial, tangencial e longitudinal. Os índices de contração da madeira variam tanto em relação à posição longitudinal como em relação à posição radial do tronco. Segundo Cruz et al. (2003), as maiores contrações ocorrem na madeira situada na base da árvore. Lara Palma e Ballarin (2003, p.21), estudando árvores de *Pinus taeda* com 37 anos de idade, concluíram que: as contrações radiais, tangenciais e volumétricas da madeira juvenil foram estatisticamente diferentes e sempre menores que as da madeira adulta; as contrações radiais e tangenciais da madeira juvenil apresentaram uma maior variabilidade em relação à madeira adulta; a variação da contração radial entre a madeira juvenil e a madeira adulta foi maior do que a variação observada na contração tangencial.

Os autores ressaltaram ainda que os resultados encontrados ratificaram aqueles observados por RAMSAY; BRIGGS, 1986; BENDTSEN; SENFT, 1986; McALISTER; CLARK, 1992; McALISTER; POWERS, 1992; McALISTER; POWERS, 1994; YING et al., 1994.

Segundo Lima (1996 apud CRUZ et al., 2003, p.34), “as contrações radial, tangencial e volumétrica de *Eucalyptus* sp. estão correlacionadas com a densidade básica de maneira estatisticamente significativa”. Oliveira e Silva (2003) atestaram que as contrações transversais na madeira de *E. saligna* com 16 anos de idade, aumentaram no sentido medula-casca, estando esse aumento relacionado com a rápida redução do ângulo microfibrilar na parede celular e com o aumento do comprimento da célula e do teor de celulose.

De acordo com Silva (2002), a contração volumétrica total média em árvores de *E. grandis* com 25 anos de idade foi de 18,25%, sendo que os valores de contração volumétrica total variaram, na direção radial, de 15,76% (medula) a 22,52% (casca).

5.2 Caracterização do lenho de folhosas

5.2.1 Anéis de crescimento

O tronco de uma árvore pode ser caracterizado basicamente por três regiões distintas: a medula, o lenho e a casca. A medula, porção resultante do crescimento vertical da planta (BODIG; JAYNE, 1993), situa-se na parte central do tronco e sua dimensão radial não se modifica para uma mesma seção longitudinal com a idade da árvore; o lenho é um cilindro cujo diâmetro varia em função da idade e da taxa de crescimento da árvore e é composto por duas regiões de propriedades distintas denominadas cerne e alburno; a casca, anel mais externo que circunda o lenho, tem a finalidade de conduzir fotossintatos (casca interna) e proteger o lenho (casca externa).

O crescimento da árvore se dá tanto na direção longitudinal (em altura) como na direção radial (em diâmetro) por superposição de camadas concêntricas. Longitudinalmente, o crescimento ocorre a partir do topo da árvore e radialmente, a partir da parte externa do tronco.

Por meio de um corte transversal no tronco, pode-se observar uma série de camadas concêntricas de largura variada, com a coloração se alternando entre um tom mais claro e outro mais escuro – em algumas espécies, sobretudo de folhosas, essa diferenciação de tonalidade não é visível a olho nu. Cada conjunto de duas camadas sucessivas (clara e escura) é denominado anel de crescimento, cuja formação completa pode ser associada, no geral, a um ano de vida da árvore.

Especificamente para a madeira de *Eucalyptus*, em algumas espécies e sob determinadas condições de crescimento – com déficit de água, por exemplo – é possível a visualização dos anéis de crescimento depois que a madeira recebe um tratamento especial, como lixamento (Figura 1).



Figura 1 – Visualização dos anéis de crescimento de uma árvore de eucalipto – lenho inicial e tardio.

Fonte: Laboratório de Ensaios de Materiais – FCA/UNESP – Botucatu.

A parte mais clara do anel de crescimento – lenho inicial ou primaveril – caracteriza-se por possuir células com diâmetros maiores, paredes mais estreitas, lume celular maior e madeira mais porosa e menos densa e, conseqüentemente, menos resistente. Ao contrário, a parte mais escura do anel – lenho tardio ou outonal – possui células menores, paredes mais espessas, lume celular menor e madeira menos porosa, mais densa e, conseqüentemente mais resistente. Essa diferenciação de características entre o lenho inicial e o lenho tardio se deve justamente à época do ano em que o lenho foi produzido. Em função das estações do ano, a disponibilidade de luz, calor e água provocam grandes variações nas propriedades químicas e físicas da madeira produzida. O lenho inicial, por ser produzido em condições favoráveis de luz, calor e água, constitui uma madeira cujo crescimento ocorreu de forma mais rápida. Em contrapartida, o lenho tardio é produzido em condições menos favoráveis de luz, calor e água, provocando um crescimento mais lento.

Para a maioria das espécies, a maior porcentagem de lenho inicial (em relação ao lenho tardio) está associada a taxas de crescimento mais elevadas. Por essa razão, a porcentagem de lenho inicial tende normalmente a decrescer ao longo dos anos de vida de uma árvore, levando-a a ter camadas de crescimento com larguras estáveis no período de maturidade.

5.2.2 Madeira juvenil e madeira adulta

Efetuando-se um corte longitudinal no centro do tronco de uma árvore adulta, verifica-se a presença de uma parte central de formato cilíndrico (especificamente em árvores de rápido crescimento) que se estende da base até o topo, que é denominada madeira juvenil. A parte externa restante é denominada madeira adulta.

A madeira juvenil é formada nos primeiros anos de vida da árvore, e tem extensão variável. “As proporções relativas entre madeira juvenil e madeira adulta variam de acordo com a idade da árvore” (BENJAMIN, 2002, p.14). Segundo Jankowsky (1979), a proporção de madeira juvenil, tanto em peso como em volume, diminui com o aumento em idade do povoamento. É difícil determinar o período de juvenilidade da árvore, mas de acordo com Jankowsky (1979), esse período varia entre seis e 12 anos para madeira de *Pinus* e pode ser superior a 20 anos para madeira de *Eucalyptus*. Panshin e De Zeeuw (1980) reportam que o período de juvenilidade usualmente se estende pelos primeiros 10 a 20 anos de vida da árvore.

Inúmeras são as diferenças existentes entre madeira juvenil e adulta no que se refere às características anatômicas e propriedades físico-mecânicas. Zobel e Buijtenen; Lara Palma et al. (1989; 2001 apud BENJAMIN, 2002, p.15) destacam que a madeira juvenil, em relação à madeira adulta é formada por: células mais curtas com lume celular de diâmetro grande; parede celular mais estreita; maiores ângulos microfibrilares na camada S₂; maior contração longitudinal e menor contração transversal; maior teor de lignina e hemicelulose e menor teor de celulose; maior proporção de lenho de reação e menor proporção de lenho tardio; menor densidade básica; menor resistência.

Zobel (1980), afirma não existir um ponto específico de transição entre madeira juvenil e adulta, devido ao fato de que tal transição ocorre ao longo de vários anos e de forma lenta (Figura 2). “A demarcação entre a madeira juvenil e adulta não é clara, devido às mudanças graduais nas dimensões das células” (BALLARIN; NOGUEIRA, 2005, p.20).

A delimitação entre as regiões de madeira juvenil e madeira adulta é encaminhada, normalmente, com a análise do comprimento das fibras (ou das traqueídes), no sentido medula-casca. Alternativamente, pode-se fazer a avaliação a partir da variação da densidade aparente da madeira.

Nos dois casos considera-se que a região da madeira juvenil compreende o segmento do raio, a partir da medula, em que se verifica acréscimo marcante na propriedade (comprimento das fibras ou densidade aparente da madeira).

A região da madeira adulta é representada pelo segmento final do raio, onde a propriedade analisada já atingiu uma estabilidade.

Apesar de a madeira juvenil ocorrer tanto em coníferas quanto em folhosas, nessas últimas ela é menos evidente, mas não menos importante. Visualmente, a região de madeira juvenil é identificável pela presença de anéis de crescimento mais largos, em contraposição aos observáveis na região de madeira adulta, mais estreitas e com largura relativamente mais uniforme.

A Figura 2 ilustra a representação esquemática das regiões de madeira juvenil, adulta e de transição em *Pinus taeda* (conífera) e em *E. grandis* (folhosa), onde só foi possível a delimitação das regiões de madeira juvenil, madeira adulta e de madeira de transição por meio dos resultados observados em densitometria de raios X. A imagem ilustrada na Figura 2-ii é referente à árvore G6 estudada no presente trabalho.

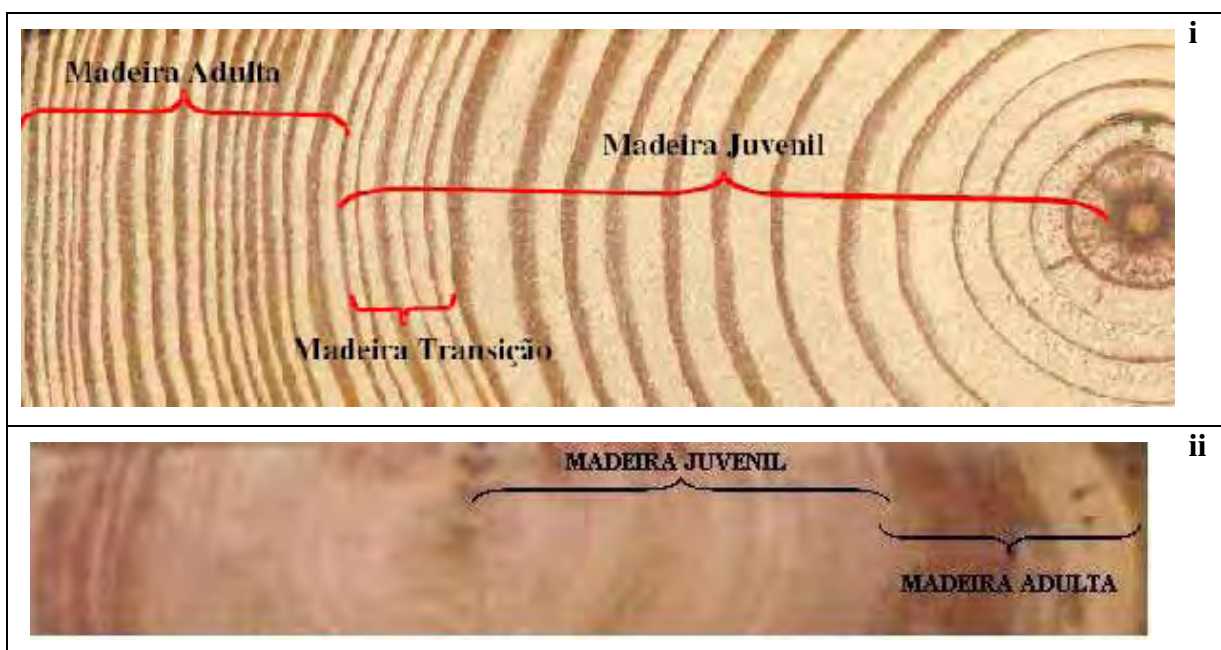


Figura 2 – Demarcação das regiões de madeira juvenil, adulta e de transição. (i) madeira de *Pinus taeda* L. (ii) madeira de *E. grandis*

Fontes: (i) Ballarin e Nogueira, 2005, p.21. (ii) Laboratório de Ensaio de Materiais – FCA/UNESP – Botucatu.

5.2.3 Cerne e alburno

Uma das principais funções do lenho é conduzir seiva mineral (água + sais minerais) da raiz para as folhas da árvore. Entretanto, essa função não é assumida indefinidamente. Em determinado estágio de sua evolução, as células podem ter seu lume bloqueado por tiloses ou mesmo pela deposição de extrativos. Quando isso ocorre, as células morrem, param de conduzir a seiva mineral e passam a ter a função de depósito dos extrativos. A porção do lenho com células mortas recebe o nome de cerne e a porção fisiologicamente ativa denomina-se alburno. A transformação de alburno para cerne, conhecida como processo de cernificação, ocorre de forma contínua ao longo da vida da árvore. A cada ano, novas camadas de alburno transformam-se paulatinamente em cerne, na medida em que novo alburno se forma nas camadas mais externas (próximas do câmbio) do tronco. De acordo com Silva e Trugilho (2003), o processo de cernificação é caracterizado não só pela morte das células do parênquima radial, mas também pelo consumo de amido, aumento no conteúdo de extrativos e tiloses (em alguns gêneros), consumo de oxigênio e liberação de CO. Já Foelkel et al. (1976) relatam que a cernificação ocorre quando cessam as alterações nas dimensões das fibras e a organização estrutural da parede celular.

Em algumas espécies pode-se verificar visualmente a transição de alburno para cerne, por meio de um escurecimento do lenho (Figura 3), devido à deposição dos extrativos, os quais lhe conferem, em algumas situações, uma maior durabilidade contra deterioração (por fungos ou insetos).

Esse escurecimento não é condição imprescindível para ocorrência do cerne, já que, para algumas espécies (*Picea*, *Abies*, *Tsuga*, *Populus*) a parte mais interna, cernificada, não apresenta diferenciação marcante de coloração em relação à parte mais periférica do lenho (PANSWIN; De ZEEUW, 1980).



Figura 3 – Corte de tronco de *Eucalyptus*, evidenciando o cerne e o alburno.

Fonte: Laboratório de Ensaios de Materiais - UNESP – Botucatu.

Além das diferenças apontadas entre o cerne e o alburno, Dadswell (1960) destacou que o cerne de uma árvore madura é bem uniforme quanto a suas propriedades, exceto na sua região mais central, onde se localiza o cilindro de madeira juvenil.

Relativamente à madeira de alburno, a madeira de cerne é menos permeável, tem mais estabilidade dimensional e é ligeiramente mais densa (USDA, 1999).

Alguns autores afirmam que as propriedades básicas de resistência da madeira não são afetadas pela transição de alburno para cerne (USDA, 1999).

Bodig e Jayne (1993), compilando trabalho de Luxford, R.F.², comentam que os extrativos têm efeito pronunciado na resistência à compressão paralela às fibras, efeito relativamente menor na resistência à flexão (MOR) e muito pequeno efeito na resistência ao choque.

Na literatura nacional, a maioria dos trabalhos relaciona os teores de extrativos à resistência ao ataque de fungos e insetos, sem reportar seu efeito sobre a resistência mecânica.

² Luxford, R.F. Effect of extractives on the strength of wood. J. Agric. Research, v.42, n.12, p.801-826, 1931.

5.3 Propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus*

As propriedades mecânicas avaliam a aptidão da madeira em suportar as solicitações mecânicas. São normalmente mensuradas considerando-se a resistência – aptidão em suportar solicitações mecânicas propriamente ditas – e a rigidez – avaliada pelo módulo de elasticidade –, que reporta à proporcionalidade existente entre tensões e respectivas deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear.

As propriedades mecânicas na madeira são avaliadas em duas direções principais: paralela e normal às fibras.

É universalmente aceito que a resistência da madeira na direção normal às fibras é, para a compressão, menor que a observada na direção paralela, com valores da ordem de 25% dos observados nessa última direção. Analogamente, a rigidez da madeira na direção normal às fibras tem valores na faixa de 5% a 8% daquela na direção paralela às fibras (BODIG; JAYNE, 1993).

A madeira de *Eucalyptus*, pela grande variedade de espécies que o gênero apresenta, atende às mais variadas exigências quanto às propriedades mecânicas (CRUZ et al., 2003). De fato, existem diversos estudos realizados com a madeira de *Eucalyptus*, introduzida no Brasil no início do século XX, reportando suas qualidades mecânicas.

Na avaliação da resistência da madeira de *Eucalyptus*, merecem destaque os trabalhos de Sales e Lahr (1992) e Nogueira e Lahr (1992), que evidenciam as potencialidades de uso da madeira na construção civil e, mais particularmente, na execução de estruturas. Mais recentemente, Oliveira, et al. (1999), Cruz et al. (2003) e Lobão et al. (2004), entre outros, apresentaram resultados importantes sobre o desempenho físico da madeira.

A caracterização elástica da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* é apresentada por Ballarin e Nogueira (2003). No trabalho são avaliados os módulos de elasticidade nas direções paralela e normal às fibras, bem como diversos coeficientes de Poisson da madeira. Para as demais espécies de eucalipto não foram encontrados registros científicos nacionais da determinação das características elásticas.

No Quadro 1 são apresentados valores médios das principais propriedades físicas e mecânicas de algumas espécies de eucalipto.

Conforme se constata nos trabalhos de diversos autores como Rodrigues (2002); Cruz et al. (2003); Lobão et al. (2004), no estudo tecnológico da madeira as principais propriedades mecânicas utilizadas são a resistência à compressão paralela às fibras (f_{C0}), a resistência à flexão (f_m) e a dureza paralela ou normal às fibras (f_{H0} e f_{H90} , respectivamente).

5.3.1 Variação das propriedades mecânicas no sentido medula-casca

São relativamente poucos os trabalhos encontrados na bibliografia nacional reportando a variação das propriedades mecânicas entre árvores e dentro das árvores de eucalipto.

No geral, os trabalhos divulgam observações qualitativas sobre o comportamento mecânico da madeira. Ponce (1995), assim como outros autores internacionais, relata que a madeira juvenil de Eucalipto é geralmente quebradiça, não devendo ser usada onde essa característica possa significar riscos.

Cruz et al. (2003), já citado, registraram que tanto para as propriedades físicas quanto para as mecânicas as maiores variações ocorrem no sentido medula-casca, conforme poderia ser esperado, salientando a importância do conhecimento das variações radiais para a classificação da madeira.

No estudo foram utilizados clones de *E. urophylla* e *E. camaldulensis* com cinco a 10 anos de idade, avaliando-se as resistências em três posições distintas do raio (central, intermediária e externa), sem a realização do estudo anatômico do lenho nessas posições.

A densidade básica apresentou correlação significativa com todas as propriedades mecânicas, e, para todos os ensaios mecânicos realizados, os valores aumentaram da medula para a casca.

A correlação positiva entre a densidade (tanto a densidade básica quanto a aparente) e as propriedades mecânicas já foi reportada por diversos pesquisadores, entre eles Hellmeister (1982) e IPT (1985) e pode ser visualizada na Figura 4 a regressão que expressa a relação obtida com dados de 404 amostras de madeira, envolvendo mais de 200 espécies nativas e exóticas no Brasil, do banco de dados do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

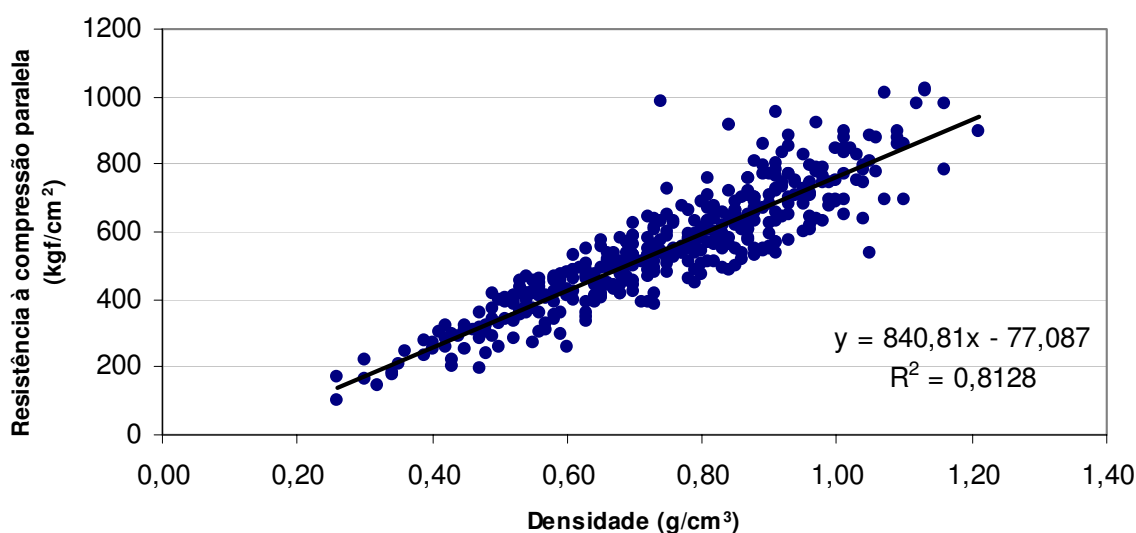


Figura 4 – Variação da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) em função da densidade aparente da madeira – Dados compilados do banco de dados do IPT.

5.4 Variação das características do lenho no sentido medula-casca

As variações das características fisiológicas e anatômicas observáveis nos anéis de crescimento, bem como entre cerne e alburno e entre madeira juvenil e madeira adulta, são as causas principais das variações das propriedades físico-mecânicas da madeira no sentido medula-casca.

Benjamin (2002) ilustrou, de forma simulada, possível interação entre as regiões de cerne e alburno e de madeira juvenil e adulta em uma árvore (Figura 5). Assumiu modelos simplificados de formação do cerne em formato cônico e da madeira juvenil em formato cilindro-cônico. Evidenciou a complexidade da questão, na medida em que mostrou ser teoricamente possível a ocorrência de alburno de madeiras juvenil e adulta e cerne de madeiras juvenil e adulta.

A superposição de efeitos ilustrada é dependente da idade da árvore e das posições radial e longitudinal ao longo do tronco da árvore.

Considerando-se que a madeira adulta só inicia sua formação após cerca de 10 a 20 anos de idade da árvore (PANSHIN; De ZEEUW, 1980), como regra geral pode-se considerar que sua influência é desprezível para populações florestais mais jovens.

Assim, no Brasil, nos plantios florestais com espécies de rápido crescimento e ciclos curtos, o lenho é constituído quase que exclusivamente de madeira juvenil e as principais variações (anatômicas e físicas, sobretudo) são detectadas entre camadas de crescimento (caso principal das coníferas) e entre cerne e alburno (caso das folhosas).

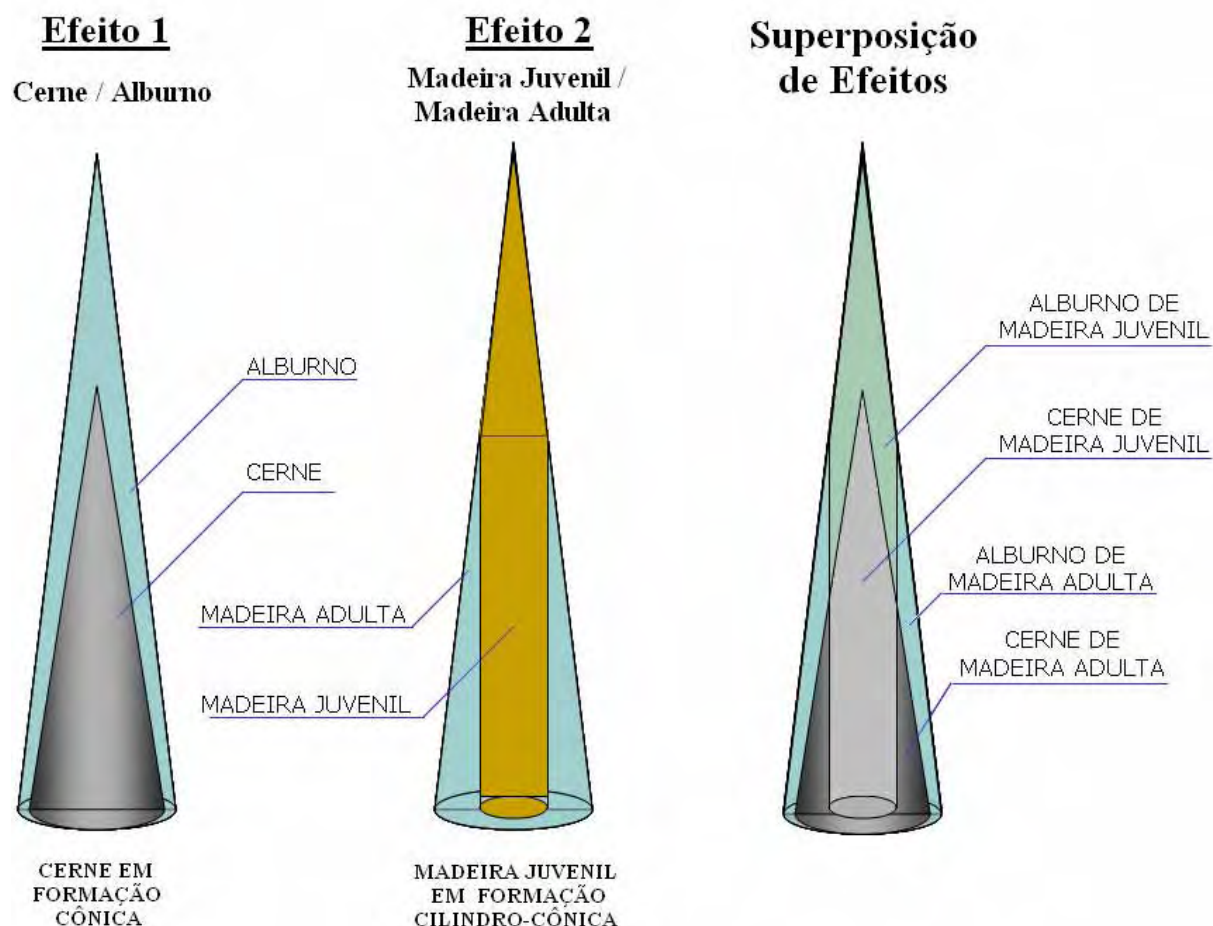


Figura 5 – Corte longitudinal evidenciando possível interação entre madeira juvenil e adulta e entre cerne e alburno.

Fonte: Jozsa e Middleton (1994) (modificado pelo autor).

Foelkel (1997) concluiu que, no mercado de celulose e papel, um dos principais parâmetros de seleção de árvores para melhoramento genético é o percentual de cerne e alburno. Haselein et al. (2004) atestaram que a presença de maior percentual de cerne ou de alburno na madeira, auxilia na definição de seu uso nos produtos finais, pois, quanto maior o percentual de alburno na árvore, melhor será a sua capacidade de impregnação por produtos preservativos. Por outro lado, continuam os autores, quanto maior o percentual de cerne, melhor a capacidade produtiva em madeira serrada com coloração uniforme.

Oliveira et al. (1999) avaliaram o percentual de alburno ao longo do tronco de árvores pertencentes a sete espécies de eucalipto com idade aproximada de 16 anos. A Figura 6 evidencia a simplificação assumida no modelo da Figura 5, já que a porcentagem de alburno é variável ao longo de toda altura do tronco.

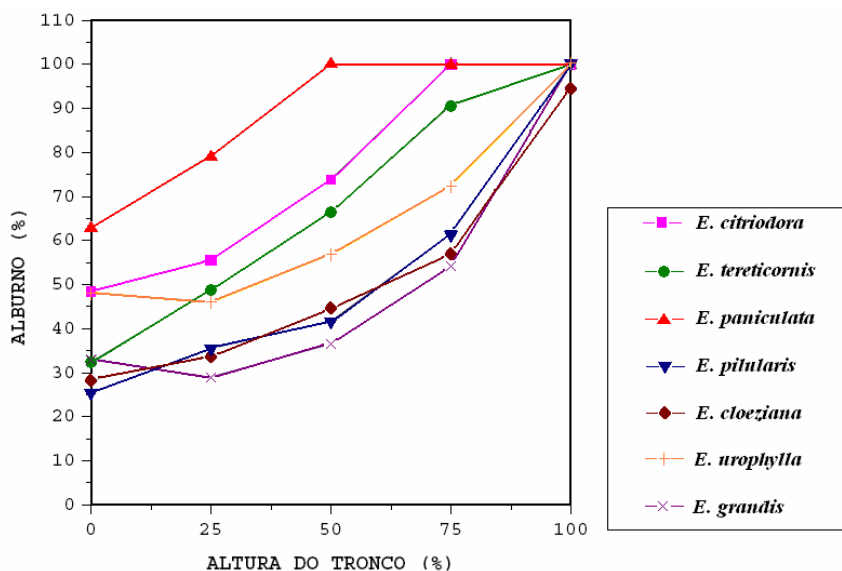


Figura 6 – Variação da porcentagem de alburno ao longo da altura do tronco de sete espécies de *Eucalyptus*.

Fonte: Oliveira et al. (1999, p.121) (modificado pelo autor).

Nota-se que, nessa idade, para *E. paniculata* e *Corymbia* (*Eucalyptus*) *citriodora*, o percentual de alburno é maior que 50% ao longo de todo o tronco. *E. grandis* foi a espécie com maior percentual de cerne – da base até 75% da altura o percentual de cerne variou de 70 a 50%.

Para Tomazello Filho (1987) e Malan (1995), a madeira juvenil é de considerável importância em plantações de rápido crescimento, pois pode constituir uma

grande porção do tronco. Segundo Zobel e Buijtenen (1989), a proporção entre madeira juvenil e madeira adulta constitui-se como sendo uma das principais causas das variações globais em coníferas. Ballarin e Lara Palma (2003), em estudos realizados com *Pinus taeda* – 37 anos de idade –, concluíram que os valores dos módulos de elasticidade e de ruptura da flexão estática mostraram correlações mais significativas na madeira adulta do que na madeira juvenil. Os autores atestaram ainda, que a densidade aparente da madeira adulta foi maior do que na madeira juvenil. Em contrapartida, Taylor (1973a), estudando *E. grandis* com 14 anos de idade, destacou que existe uma forte correlação e pequena variação entre a densidade básica da madeira juvenil e da madeira adulta.

Estudando a variação das propriedades anatômicas da madeira de *E. grandis* e *E. saligna* com 10 anos de idade, Tomazello Filho (1985a) constatou que o comprimento das fibras, a largura e o diâmetro do lume e a espessura das paredes das fibras aumentaram no sentido medula-casca. Ainda segundo o autor, de um modo geral as fibras perto da medula apresentaram menor comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume.

Em árvores de *E. pellita*, *E. acmenioides* e *E. globulus* com 10 anos de idade, Tomazello Filho (1987) também constatou um aumento no comprimento das fibras da madeira no sentido medula-casca. O autor acrescenta ainda que o modelo de variação do comprimento das fibras no sentido medula-casca é semelhante ao apresentado, no mesmo estudo, para densidade básica. Segundo o autor, a largura e a espessura da parede das fibras tenderam a aumentar na direção radial.

Dadswell (1958, apud ZOBEL; BUIJTENEN, 1989), estudando madeira de *E. regnans*, afirmou que o comprimento das fibras e o diâmetro dos vasos da madeira adulta são o dobro em comparação com a madeira juvenil. O autor acrescentou ainda que, em relação ao comprimento das fibras, o período juvenil da madeira de espécies nativas da Áustria se estende até aproximadamente 20 anos.

Zobel e Buijtenen (1989), citando Taylor (1973a, 1973b), relataram que, para *E. grandis* (14 e 18 anos de idade) tanto o comprimento quanto o diâmetro das fibras aumentam no sentido medula-casca.

Tomazello Filho (1985b, p.48) apresentou quadro resumo, apontando diversas referências onde foi constatado um aumento no comprimento das fibras da madeira do gênero *Eucalyptus* no sentido medula-casca (Quadro 2).

Quadro 2 – Bibliografia que indica o aumento do comprimento das fibras no sentido medula-casca para várias espécies de eucalipto.

Espécie	Idade	Localidade	Referência
<i>E. regnans</i>	50	Austrália	BISSET e DADSWELL (1949)
<i>E. delegatensis</i>	-	Austrália	AMOS et al. (1950)
<i>E. globulus</i>	-	Portugal	CARVALHO (1963)
<i>E. camaldulensis</i>	18-30	Israel	CHUDNOFF; TISCHLER (1963)
<i>E. gomphocephala</i>	7-8	Israel	STERN-COHEN; FAHN (1964)
<i>E. calophylla</i>	-	Austrália	RUDMAN; MALAJCZUK (1968)
<i>E. regnans</i> , <i>E. calophylla</i> , <i>E. deglupta</i>	1	Austrália	RUDMAN et al. (1969)
<i>E. camaldulensis</i>	-	Austrália	RUDMAN (1970)
<i>E. robusta</i>	-	Srilanka	ARULCHELUAM (1971)
<i>E. deglupta</i>	0,5	Papua-Nova Guiné	DAVIDSON (1972)
<i>E. pilularis</i>	5-30	Austrália	BAMBER; CURTIN (1978)
<i>E. obliqua</i> , <i>E. regnans</i>	18	Austrália	NICHOLLS; GRIFFIN (1978)
<i>Corymbia (Eucalyptus) citriodora</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. robusta</i>	-	Brasil	ALFONSO (1983)

Fonte: Tomazello Filho (1985b), modificado pelo autor.

Roque (2005) verificou uma variação radial significativa das fibras da madeira de *Gmelina arborea* com idade variando de oito a 12 anos. O autor atestou também que o comprimento e a espessura da parede das fibras exercem grande influência na densidade.

Alzate (2004, p.102), estudando clones de *E. grandis*, *E. saligna* e híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* de oito anos de idade, atestou que houve aumento do comprimento das fibras no sentido medula-casca até 75% do raio e, a partir desse ponto,

houve uma tendência a estabilização. A autora relatou também, que o maior comprimento das fibras observado ocorreu nos clones de *E. grandis*.

5.5 Variação da densidade no sentido medula-casca

Larson (1969, apud ZOBEL; BUIJTENEN, 1989), assegura que existe maior variabilidade das propriedades da madeira dentro de uma mesma árvore, do que variações entre árvores de um mesmo talhão ou de talhões distintos.

Segundo Zobel e Buijtenen (1989) existem três padrões importantes de variabilidade da densidade da madeira dentro de uma mesma árvore.

O primeiro padrão apresenta a variabilidade decorrente das diferenças existentes no anel de crescimento, entre suas distintas camadas. É particularmente importante no caso das coníferas, conforme descrito por Panshin e De Zeeuw (1980). O segundo padrão, mais abrangente, é observável no sentido medula-casca e, incorporando as variações dentro do anel de crescimento, considera também as variações existentes entre as regiões de cerne e alburno, e lenho inicial e tardio eventualmente presentes. O último padrão de variabilidade, geralmente de menor importância, considera a variabilidade associada às diferentes alturas ao longo do fuste das árvores.

A maioria dos estudos reporta a variações da densidade no sentido medula-casca, analisando os dois primeiros padrões citados.

Cruz et al. (2003) concluíram que tanto as propriedades físicas quanto as propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* sp (cinco e 10 anos de idade), apresentaram maiores variações no sentido medula-casca do que no sentido base-topo, evidenciando a importância de se conhecer as variações radiais na tora para a classificação de madeira serrada e conseqüente homogeneização de lotes.

De acordo com Oliveira e Silva (2003, p.382), “as variações da densidade dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras”. Ainda segundo os autores, “o crescimento da densidade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos. De maneira inversa, um

aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução na densidade”.

De acordo com Megraw (1985), dentro de um anel de crescimento ocorre uma grande variação na densidade básica da madeira. Tratando de coníferas no geral, Tajima (1967) afirma que o lenho tardio pode ter densidade básica de 2 a 2,5 vezes maior que a do lenho inicial.

Panshin e De Zeeuw (1980) afirmaram que, para coníferas com lenho tardio mais denso que o lenho inicial – caso geral –, considerando-se a diminuição da largura do lenho inicial no sentido medula-casca, tem-se o conseqüente aumento da densidade da madeira nessa orientação. Ainda segundo os autores, as folhosas apresentam muito menos consistência nos padrões gerais de variação da densidade no sentido medula-casca, com variações de densidade associadas diretamente aos diâmetros, padrões de distribuição e volume relativo dos vasos.

Tomazello Filho (1985a, 1987) verificou que a densidade básica aumentou no sentido medula-casca em árvores de *E. saligna*, *E. grandis*, *E. pellita* e *E. acmenioides* com 10 anos de idade. Já para árvores de *E. globulus* com mesma idade, foi observada uma diminuição da densidade básica no sentido medula-casca a partir de 50% do raio, não tendo sido apontada justificativa para esse fato. O autor ressaltou, ainda, que o modelo de aumento de densidade básica observado nas árvores de *E. saligna*, *E. grandis*, *E. pellita* e *E. acmenioides*, constituiu-se no modelo mais comum para o gênero *Eucalyptus*.

De fato, Downes; Zobel (1997; 1980, apud BENJAMIN, 2002) apresentaram uma relação de autores que atestaram em seus estudos o aumento da densidade básica no sentido medula-casca (Quadro 3)

Quadro 3 – Referências bibliográficas onde se reporta o aumento da densidade básica da madeira no sentido medula-casca.

Espécie	Autor (es)
<i>E. grandis</i>	• BAMBER; HUMPHREYS (1963) – árvores com cinco anos de idade; • BAMBER et al. (1969) – árvores com 20 anos de idade; • CLARKE (1990) – árvores com nove anos de idade; • FERNANDES et al. (1989) – árvores de 13,5 anos de idade; • FERREIRA (1972) – árvores com 11 a 16 anos de idade; • HANS et al. (1972) – árvores com seis anos de idade; • HANS (1976) – árvores com seis anos de idade; • MALAN; GERISCHER (1987) – árvores com 28 anos de idade; • MALAN (1988) – árvores com 27 anos de idade; • TAYLOR (1973a,b) – árvores com 14 e 18 anos de idade, respectivamente; • WILKINS; HORNE (1991) – árvores com 9,5 anos de idade; • WILKINS (1990) – árvores com 11,3 anos de idade.

Fonte: Benjamin (2002), modificado pelo autor.

Percebe-se que existe um grande número de pesquisadores que realizaram seus trabalhos com *E. grandis*, espécie de eucalipto de maior disponibilidade comercial no Brasil.

O Quadro 3 evidencia também que, com poucas exceções, os trabalhos foram conduzidos com árvores em que a presença de madeira juvenil era predominante, por conta da pequena idade.

Apesar do aumento da densidade básica no sentido medula-casca ser o modelo de variação mais freqüente para o gênero *Eucalyptus*, pesquisadores têm observado, também, variantes a esse comportamento geral, como se constata na compilação de trabalhos de Zobel e Buijtenen (1989) apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 – Referências bibliográficas nas quais foram verificados padrões diversos de variação da densidade aparente (ou densidade básica) no sentido medula-casca.

Espécie	Comentário
<i>E. alba</i> , <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i>	• Para <i>E. alba</i> a densidade básica da madeira é constante no sentido medula-casca; para <i>E. grandis</i> teve um pequeno aumento e para <i>E. saligna</i> teve um grande aumento (FERRAZ, 1983) – árvores com nove anos de idade.
<i>E. grandis</i>	• A densidade básica da madeira inicialmente diminui e depois aumenta no sentido medula-casca (TAYLOR, 1973a) – árvores com 14 anos de idade. • A densidade básica aumenta no sentido medula-casca (FERREIRA, 1972) – árvores com 11 a 16 anos de idade; (BRASIL et al., 1979) – árvores com três anos de idade. • A densidade básica diminui nos primeiros anos da medula, depois aumenta à altura do peito; a uma altura de 10,7 m, a densidade básica não sofre grandes alterações com o distanciamento da medula e a 22,9 m há uma diminuição da densidade básica no sentido medula-casca (TAYLOR, 1973b) – árvores com 18 anos de idade. • A densidade básica da madeira diminui no sentido medula-casca (BAMBER et al., 1982) – árvores de crescimento lento, com 2,5 anos de idade.

Fonte: Zobel e Buijtenen (1989).

Por conta dessas divergências, Downes et al. (1997) recomendam a retirada de várias amostras para a determinação de um padrão de variação, pois quanto mais amostras forem retiradas no sentido medula-casca, mais precisa será a curva representativa da variação da densidade básica neste sentido. Em concordância com Downes et al. (1997), Oliveira et al. (2005) apresentaram os modelos de variação da densidade básica no sentido medula-casca, para cinco alturas diferentes ao longo do fuste da árvore – base, DAP, 25, 50 e 75% da altura comercial –, estudando sete espécies de *Eucalyptus* (amostrando cinco árvores de cada espécie) com idade aproximada de 16 anos. Os autores amostraram a cada 1 cm no sentido medula-casca e, de forma geral, os modelos confirmam a tendência de aumento da

densidade básica nesse sentido. A Figura 7 ilustra os modelos de variação para as árvores de *E. grandis* e *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*.

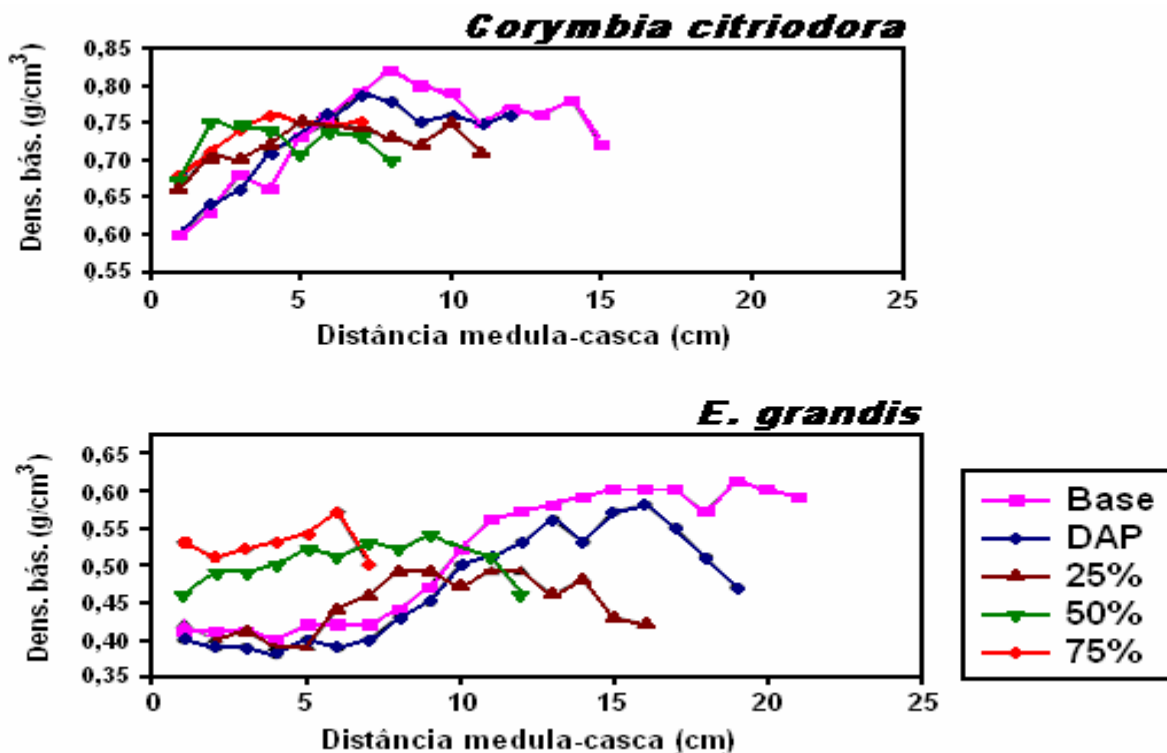


Figura 7 – Variação da densidade básica da madeira na direção medula-casca e ao longo do tronco de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Fonte: Oliveira et al. (2005, p.121) (modificado pelo autor).

Para que se pudesse fazer uma comparação entre espécies, Oliveira et al. (2005) apresentaram também, um gráfico com os modelos de variação da densidade no sentido medula-casca para amostras retiradas do DAP de sete espécies de *Eucalyptus* (Figura 8).

Os modelos apresentados pelos autores evidenciam uma tendência praticamente unânime de aumento da densidade básica no sentido medula-casca. Contudo, os autores fazem referência a uma diminuição dos valores de densidade básica, no trecho final dos diagramas, que coincide com a região de alburno das árvores.

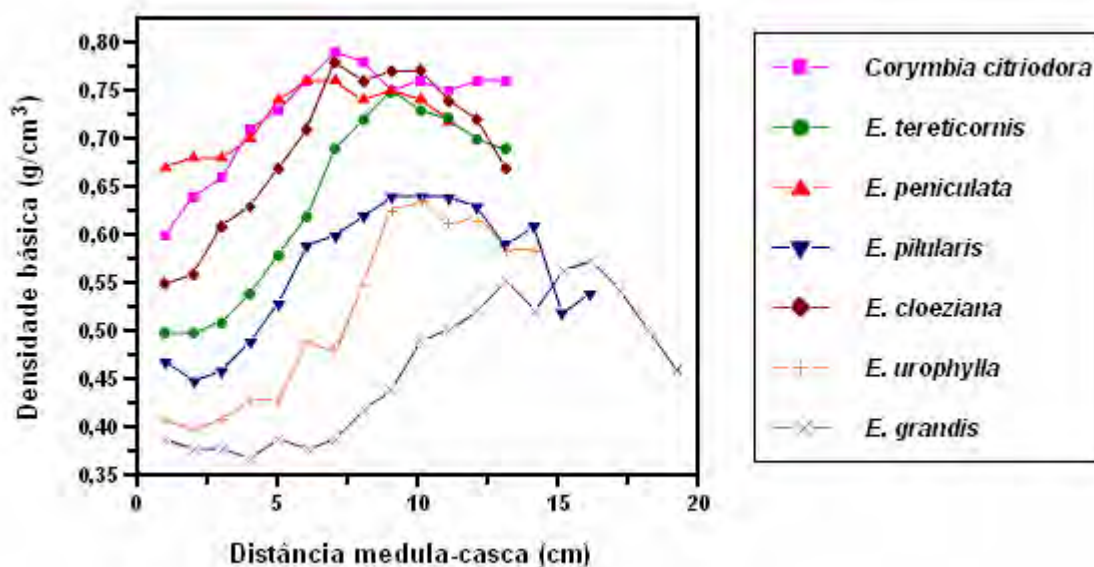


Figura 8 – Variação da densidade básica da madeira na direção medula-casca para amostras retiradas do DAP de sete espécies de *Eucalyptus*.

Fonte: Oliveira et al. (2005, p.124) (modificado pelo autor).

5.6 Compilação da revisão bibliográfica

O eucalipto tem sido empregado como madeira serrada no Brasil, a exemplo da experiência já consolidada em outros países como Austrália, África do Sul, Chile, entre outros. Por ser, na maioria das vezes, proveniente de plantios de rápido crescimento, essa madeira revela, de forma potencializada, algumas características intrínsecas – e não exclusivas desse gênero – que dificultam o seu processamento e podem comprometer sua qualidade e restringir seu uso.

As experiências internacionais com a madeira nem sempre são suficientes para balizar os procedimentos nacionais, que vão desde a escolha da espécie mais adequada, a formação da floresta e as técnicas especiais para manejo, corte, processamento e secagem.

A literatura internacional especializada conta com muitos trabalhos correlacionando características anatômicas e propriedades físicas da madeira desse gênero. Em menor número, disponibiliza também trabalhos que correlacionam anatomia, propriedades físicas e desempenho mecânico. Na sua maioria, esses trabalhos não contabilizam

condicionantes atuais do cenário nacional florestal, como os elevados ganhos em volume dos plantios florestais (que chegam a atingir $50 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e os ciclos curtos dos plantios, onde a juvenilidade da madeira aflora como quesito marcante.

Na literatura nacional sobre o assunto encontram-se importantes trabalhos de descrição anatômica e de variação das propriedades físicas das principais espécies desse gênero. São poucos os trabalhos que reportam o desempenho mecânico da madeira associado ao desempenho físico, sendo mais freqüente a ocorrência de trabalhos que contabilizam exclusivamente o desempenho mecânico. Nesse particular, destaca-se o trabalho de Silva (2002) e Cruz *et al.* (2003), já mencionados e analisados.

Verifica-se, também, que em sua maioria, os trabalhos que contabilizam a variabilidade das propriedades físicas e mecânicas utilizam-se de árvores jovens, de cinco a 15 anos de idade, no geral, onde a madeira adulta, quando presente, ocupa volume relativo desprezível.

A revisão bibliográfica confirmou a influência da madeira juvenil sobre a qualidade da madeira, embora essa questão ainda não esteja completamente quantificada e diagnosticada.

Questões como as diferenças de desempenho físico e mecânico entre madeira juvenil e adulta de eucalipto – conforme dito, a maioria dos estudos não conseguiu amostrar e quantificar propriedades da madeira adulta, por conta da pequena idade das árvores – e as variações de propriedades físico-mecânicas na direção radial do fuste das árvores para espécies de uso potencial como o *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e o *E. grandis* que são, respectivamente as espécies de maior aptidão para uso em estruturas e de maior disponibilidade comercial, ainda estão por ser estudadas de forma mais abrangente.

Considerando-se, por fim, o nicho tecnológico existente para a utilização de madeira serrada de eucalipto de qualidade, revela-se a importância de estudo dessa natureza, que possa contribuir para esclarecer questões importantes, ampliando a fronteira de conhecimento sobre a madeira nacional.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Descrição do local de amostragem e espécies de madeira

As árvores utilizadas no presente estudo foram disponibilizadas pela Estação Experimental de Ciências Florestais (EECF – LCF/ESALQ-USP), localizada no município de Anhembi – SP. O tipo de solo predominante na área de amostragem é latossolo com textura média. A precipitação média aferida entre os anos de 1998 e 2006 foi de 970 mm. Entre os anos de 1998 e 2005, as temperaturas máximas mensais apresentaram uma média de 32,5 °C e as temperaturas mínimas mensais apresentaram uma média de 11,49 °C.

O plantio de *E. grandis* foi feito a partir de mudas procedentes de Salto – SP (ex. Coff's Harbour NSW). As árvores foram plantadas em 12/1976 em uma área de 1,0 ha com espaçamento de 3,0 m x 2,0 m. Foram plantadas 1620 árvores e na época da derrubada das árvores (04/2006) restavam apenas 107. Durante todo esse período (1976 a 2006) foram realizados quatro desbastes. O solo foi preparado de forma convencional, com gradagem e sulcamento. Foram feitas adubações no sulco do plantio (150 g da fórmula 5-14-3 por árvore).

O plantio de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi feito a partir de mudas procedentes de Nova Odessa – SP. As árvores foram plantadas em 11/1975 em uma área de 0,95 ha com espaçamento de 3,0 m x 2,0 m. Foram plantadas 1584 árvores no total e na época da derrubada das árvores (04/2006) restavam apenas 94. Durante todo esse período

(1975 a 2006) foram realizados quatro desbastes. O solo foi preparado de forma convencional, com gradagem e sulcamento não havendo registros de adubação.

6.2 Coleta e preparo inicial do material

Foram selecionadas ao acaso 12 árvores, sendo seis árvores de *E. grandis* com 28 anos de idade e seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* com 29 anos de idade. De cada árvore foi desdobrada uma tora de 700 mm de altura, na região basal do tronco, imediatamente abaixo do DAP. A partir do topo de cada tora (posição referente ao DAP da árvore) foi retirado um disco de 70 mm de altura e do disco foi cortada uma cunha para a obtenção da densidade básica da madeira (Figura 9).



Figura 9 – Etapas da produção do material para as análises. (i): corte da tora de 70 cm a partir do DAP em direção à base. (ii): retirada da cunha utilizada na determinação da densidade básica média da cunha.

Da tora restante (630 mm de altura) foi desdobrada uma prancha diametral central com 100 mm de espessura. A partir desta prancha foram serradas (ao longo da largura da prancha) duas amostras diametraais de 70 mm de altura cada uma e, do restante, foram serrados (ao longo do comprimento da prancha) caibros com seção transversal de $(35 \times 100) \text{ mm}^2$. O número de caibros extraídos da prancha variou em função do diâmetro das toras. Mesmo em árvores de mesma espécie o diâmetro das toras variou bastante (Figuras 10 e 11).

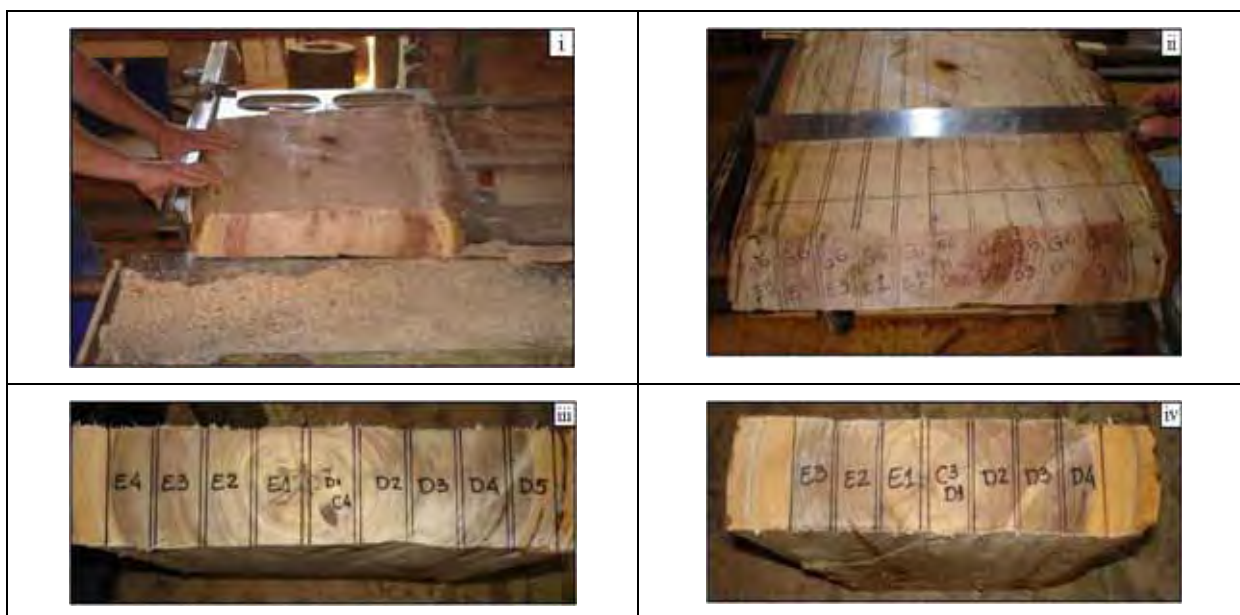


Figura 10 – Etapas da produção do material para as análises. (i): prancha central cujo desdobro originou todos os corpos-de-prova para a determinação das características anatômicas e propriedades físico-mecânicas. (ii) prancha central de *E. grandis*, evidenciando as demarcações feitas para o corte das faixas diametrais e dos caibros. (iii) prancha central de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* de onde puderam ser serrados nove caibros. (iv) prancha central de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* de onde puderam ser serrados sete caibros. E e D referem-se, respectivamente, às regiões da esquerda e da direita da medula.

As duas faixas diametrais foram usadas, respectivamente, para ensaios de densitometria de raios X e análise anatômica microscópica da madeira (Figura 10 – iv – região A) e para ensaios de dureza Janka com a madeira nas condições úmida³ e na umidade de equilíbrio de 12% (Figura 11 – iv – região B).

De cada caibro extraído da região C (Figura 11 – v) foram produzidos 3 corpos-de-prova (Figura 11 – vi) para a realização dos ensaios de compressão paralela às fibras (madeira úmida e madeira a 12% de umidade) e para os ensaios de retratibilidade.

É importante ressaltar que antes de serem cortadas as faixas diametrais e os caibros, a prancha central foi devidamente marcada para que todos os ensaios efetuados – para determinação de propriedades físicas, mecânicas ou para caracterização anatômica – pudessem ser comparados ponto a ponto (Figuras 10 – iii e 10 – iv).

³ Madeira úmida refere-se àquela utilizada imediatamente após o corte da árvore sem nenhum processo de secagem (natural ou artificial) ou climatização.

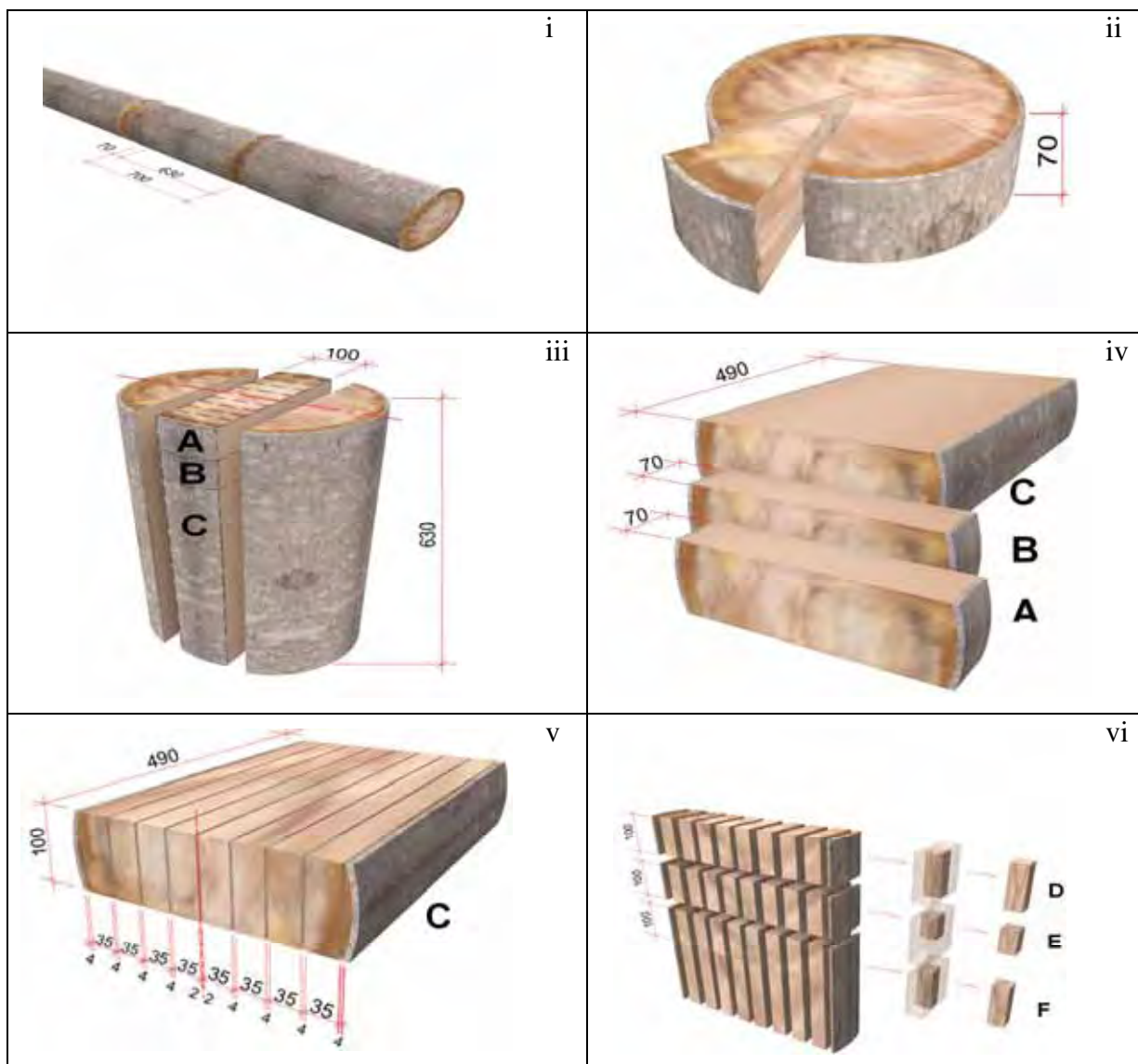


Figura 11 – Esquema da produção dos corpos-de-prova. (i) tora de 700 mm, retirada a partir do DAP. (ii) disco de 70 mm de altura, de onde foi cortada uma cunha para a determinação da densidade básica média da madeira. (iii) prancha central de 100 mm de espessura, de onde foram retiradas as faixas diametrais A e B. (iv) faixa diametral de 70 mm de altura para execução de densitometria de raios X e análise anatômica microscópica da madeira (A); faixa diametral de 70 mm de altura para ensaio de Dureza Janka nas condições verde e a 12% de umidade (B); prancha restante de onde foram serrados os caibros (C). (v) caibros com área da seção transversal de (35×100) mm². (vi) corpos-de-prova utilizados no ensaio de resistência à compressão paralela às fibras na condição verde(D); corpos-de-prova utilizados na determinação das retratibilidades radial, tangencial, longitudinal e volumétrica da madeira (E); corpos-de-prova utilizados no ensaio de resistência à compressão paralela às fibras a 12% de umidade (F).

6.3 Dados gerais das árvores

Quando da derrubada das árvores, foram tomadas medidas como a altura do fuste, altura da copa, altura total, diâmetro à altura do peito (DAP) e os diâmetros a cada 3,0 m, começando pela base. Para as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, a altura do fuste foi considerada como sendo aquela onde o diâmetro da tora era de 15 cm, com exceção da árvore quatro. Para as árvores de *E. grandis*, a altura do fuste foi considerada como sendo aquela onde o diâmetro da tora era de 22 cm (diâmetro comercial).

Com os discos amostrados no DAP, foi medida a espessura da casca tomando-se quatro medidas ao longo da circunferência do disco. A espessura da casca de cada árvore foi considerada como sendo a média aritmética das quatro espessuras medidas.

Os volumes de cada árvore (com e sem casca) foram calculados com a aplicação da fórmula de Smalian (Equação 1), tomando-se as medidas de diâmetro, aferidas a cada 3,0 m a partir da base (D_1).

$$V = l \cdot \frac{\pi}{8} \left[(D_1^2 + D_n^2) + 2 \cdot (D_2^2 + D_3^2 + D_4^2 + \dots + D_{n-1}^2) \right] \quad (1)$$

Sendo:

V = volume total (m^3);

l = altura do tronco de cone considerado (m);

D_i = diâmetro aferido a cada “ l ” metros (m).

n = número de troncos de cone.

6.4 Características anatômicas da madeira

Toda a caracterização anatômica da madeira foi feita no Laboratório de Anatomia da Madeira – Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP – Piracicaba. A análise anatômica da madeira foi feita tomando-se como base os resultados obtidos na densitometria de raios X, descrito no item 6.5.3.

6.4.1 Árvores selecionadas

Foram selecionadas três árvores de *E. grandis* (G) e três árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (C) e de cada árvore selecionada foi escolhido apenas um dos lados da faixa diametral (direito – D ou esquerdo – E) para análise anatômica microscópica do lenho. A seleção foi feita levando-se em conta o perfil radial de variação da densidade aparente do lenho – obtido nos ensaios por densitometria de raios X – e dando preferência a perfis onde se notava visualmente a presença de alborno. As árvores selecionadas foram: G1 – D, G2 – E, G5 – D, C2 – E, C3 – D e C5 – E. Para cada árvore selecionada foram feitas análises em três corpos-de-prova (totalizando 18 corpos-de-prova) que representassem a variação radial do lenho (próximo à medula, região intermediária e próximo à casca) e o intervalo de análise em cada corpo-de-prova foi aquele correspondente ao ponto de execução do ensaio de dureza Janka, ou seja, um intervalo de 10 mm medido exatamente no centro do corpo-de-prova (Figura 12).

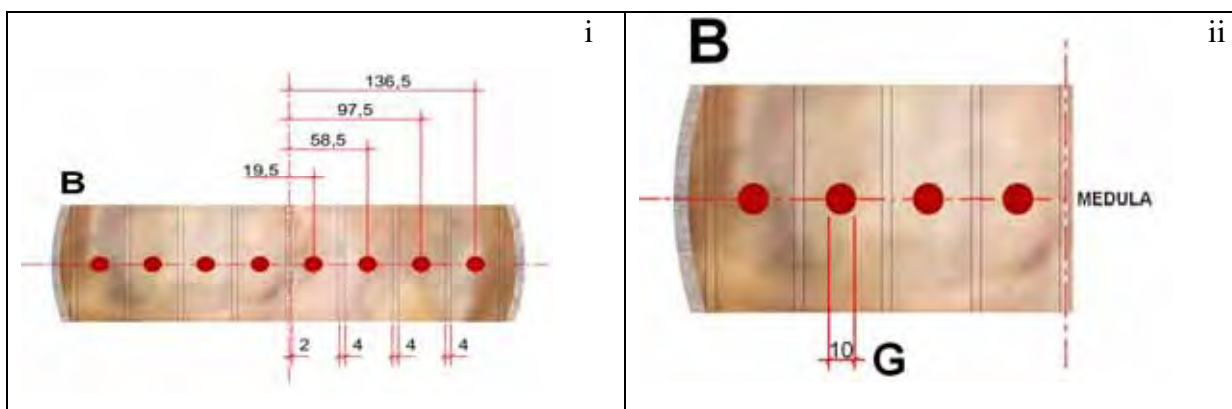


Figura 12 – Faixa diametral (B) evidenciando os pontos de execução dos ensaios de dureza Janka: (i) demarcação das cotas medidas a partir da medula para execução de todos os ensaios; (ii) intervalo de análise microscópica da madeira (G).

6.4.2 Preparo das amostras do lenho

Na seção transversal das amostras do lenho foram cortadas amostras radiais e demarcados corpos-de-prova orientados seriados (15 x 10 mm, comprimento x altura). Os corpos-de-prova do lenho foram imersos em água para a sua saturação, amolecidos em água à ebulição, fixados em micrótomo de deslize e cortadas seções transversais (15-20 μ m de espessura). Em vidros de relógio, os cortes histológicos foram clarificados (água

cândida, 1:1), lavados (água destilada, ácido acético 1%), desidratados (série alcoólica, 30-100%), lavados (xilol), corados (safranina) 24 e montados (sob lamínula, bálsamo de Canadá) em lâminas de vidro (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951).

6.4.3 Avaliação dos elementos do vaso

Das seções transversais dos corpos-de-prova do lenho das árvores de *E. grandis* e de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foram coletadas imagens digitais (seis imagens por corpo-de-prova, totalizando 54 imagens por espécie) sob microscopia de luz (ampliação de 25 vezes), abrangendo toda a região na qual foi realizado o teste de dureza Janka, para a mensuração dos elementos de vaso (Figura 13 – i). Pela aplicação do programa SAIM foram determinados o número de vasos totais contidos na imagem digital; a área ocupada pelos vasos na imagem digital, o diâmetro tangencial médio (Equação 2), a frequência dos vasos (Equação 3) e o percentual da área ocupada pelos vasos (Equação 4) (Figura 13 – ii).

$$\text{Diâmetro tangencial}_{(\text{mm})} = 2 * \sqrt{\frac{\text{Área ocupada pelos vasos}_{(\text{mm}^2)}}{\pi}} \quad (2)$$

$$\text{Frequência de vasos}_{(\text{vasos/mm}^2)} = \frac{\text{N.º de vasos}}{(\text{Largura} * \text{Altura})_{\text{da foto digital}}} \quad (3)$$

$$\text{Porcentagem de vasos} = \frac{\text{Área total de vasos}}{(\text{Largura} * \text{Altura})_{\text{da foto digital}}} * 100 \quad (4)$$

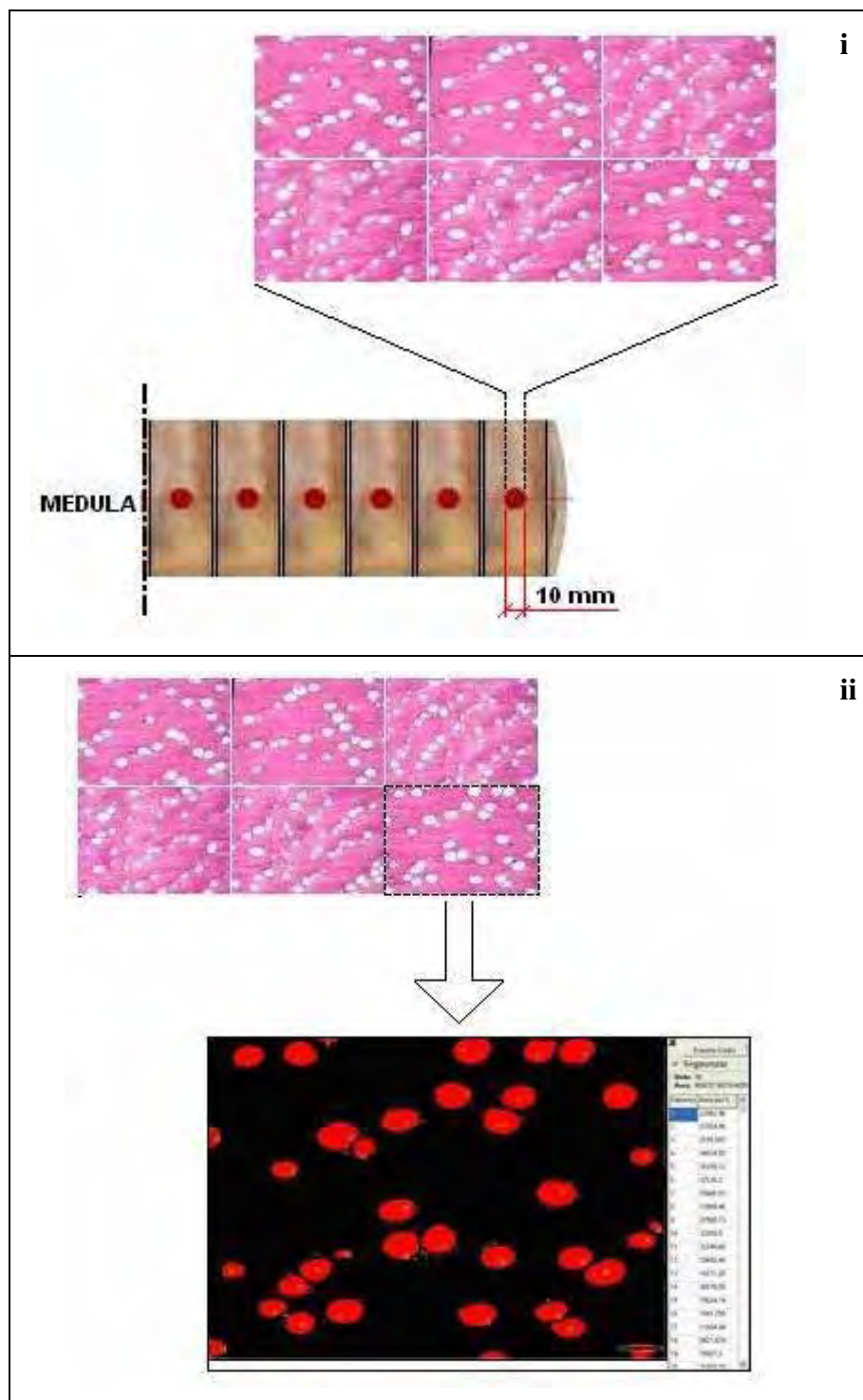


Figura 13 – Procedimento de tomada dos corpos-de-prova para análise dos elementos do vaso: (i) posição de tomada das imagens para análise anatômica do vaso. (ii) seção transversal do lenho de *E. grandis* para avaliação da área de vasos em programa de análise de imagem SAIM. Barra = 300 μm . Ampliação: 25 vezes (Ex: Árvore G5 – posição D6).

6.4.4 Avaliação das fibras

Das seções transversais dos corpos-de-prova do lenho das árvores de *E. grandis* e de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foram coletadas imagens digitais (oito imagens por corpo-de-prova, totalizando 72 imagens por espécie) sob microscopia de luz (ampliação de 1000 vezes), abrangendo toda a região na qual foi realizado o teste de dureza Janka, para a mensuração das fibras (Figura 14 – i). Pela aplicação do programa SAIM foram determinados o número de fibras totais contidas na imagem digital; a área ocupada pelo lume na imagem digital, a fração lume (%) (Equação 5) e a fração parede (%) (Equação 6) (Figura 14 – ii).

$$\text{Fração lume } (\%) = \frac{\sum \text{Área do lume}}{(\text{Largura} * \text{Altura})_{\text{da foto digital}}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Fração parede } (\%) = 100\% - \text{Fração lume } (\%) \quad (6)$$

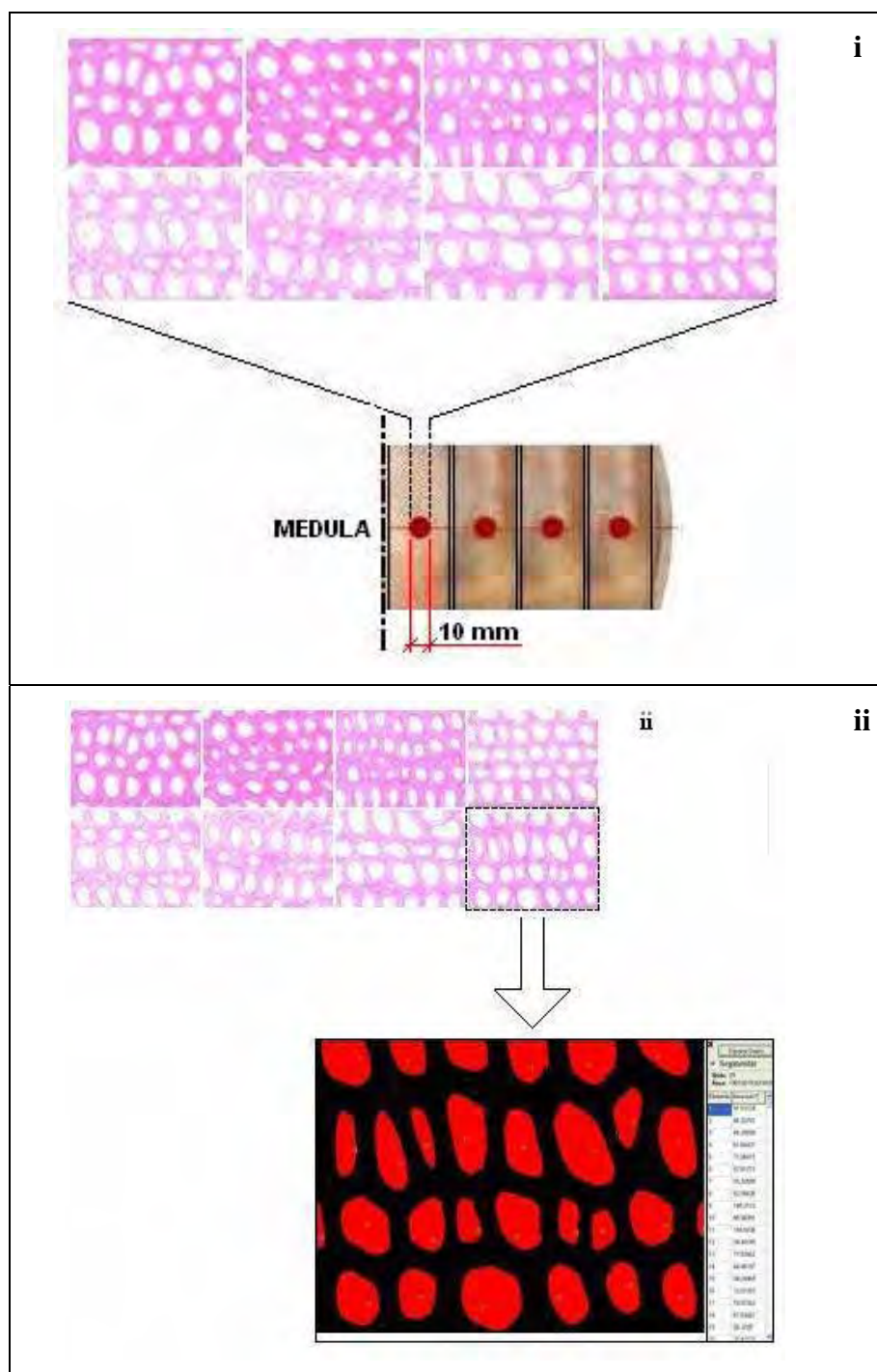


Figura 14 – Procedimento de tomada dos corpos-de-prova para análise das fibras: (i) posição de tomada das imagens para análise anatômica da parede. (ii) seção transversal do lenho de *E. grandis* para avaliação da fração lume em programa de análise de imagem SAIM. Barra = 20 μ m. Ampliação: 1000 vezes (Ex: Árvore G1 – posição D1).

6.5 Propriedades físicas

6.5.1 Determinação da densidade básica média da madeira

A partir do disco de 70 mm de altura, amostrado do DAP, foi retirada uma cunha para a obtenção da densidade básica média da madeira. O ensaio foi realizado de acordo com a Norma ASTM (1997), utilizando o método de imersão em água.

6.5.2 Ensaio de retratibilidade

Os ensaios de retratibilidade foram realizados atendendo, no geral, a NBR 7190/97 – (ABNT, 1997). Devido às limitações impostas pelo processo de desdobro da tora, as dimensões dos corpos-de-prova foram fixadas em $(30 \times 30 \times 50)\text{mm}^3$ – o que não afeta os resultados aferidos nos ensaios –, respectivamente nas direções tangencial, radial e longitudinal. Foram avaliadas as retratibilidades linear e volumétrica.

6.5.3 Variação radial da densidade aparente da madeira por densitometria de raios X

Os perfis densitométricos na direção radial (lados esquerdo e direito) foram construídos a partir de medições pontuais de densidade aparente com uso da técnica de densitometria de raios X, no Laboratório de Anatomia da Madeira – Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP – Piracicaba.

6.5.3.a) Preparo das amostras

A avaliação da variação radial da densidade aparente da madeira foi feita para as 12 árvores estudadas – seis de *E. grandis* e seis de *Corymbia (Eucalyptus citriodora)*.

A faixa diametral de 70 mm de altura (Figura 11 – iv – região A) foi dividida transversalmente em duas partes iguais com 35 mm de altura cada uma – uma parte foi utilizada na densitometria de raios X e a outra parte foi reservada para análise anatômica

microscópica da madeira. Na direção radial da faixa diametral, foram demarcadas e cortadas amostras diametraais (20 mm x 10 mm, largura x altura), coladas em suporte de madeira e seccionadas no sentido transversal (2,0 mm de espessura), em aparelho de dupla serra circular paralela. As amostras foram acondicionadas em câmara de climatização (12 h, 20°C, 50% UR) até atingir 12% de umidade (Figura 15).

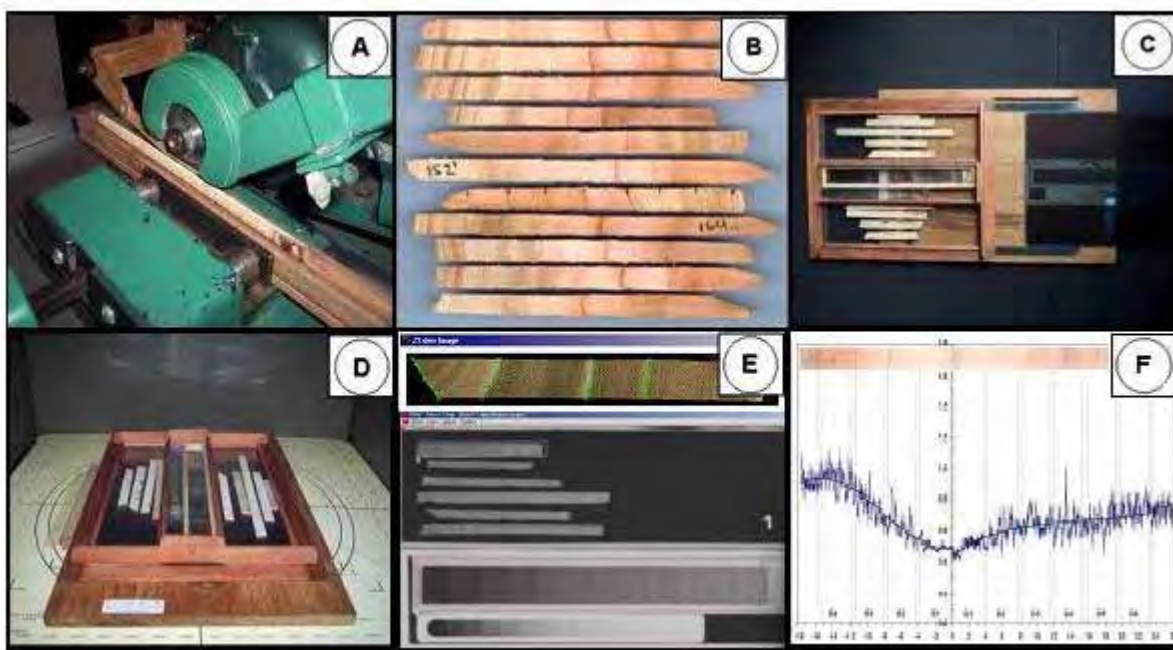


Figura 15 – Metodologia de raios X e a obtenção das imagens radiográficas do lenho das árvores de *E. grandis* e *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*: (a) corte das amostras em equipamento de dupla serra; (b) seções transversais das amostras; (c) suporte com as amostras sobre o filme radiográfico; (d) irradiação das amostras em equipamento de raios X; (e) imagem radiográfica e sua análise nos programas CRAD e CERD e (f) perfil da densidade aparente e respectiva amostra do lenho.

Fonte: Laboratório de Anatomia da Madeira – Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP.

6.5.3.b) Obtenção dos filmes radiográficos

As amostras do lenho e a cunha de calibração de acetato de celulose (densidade: 1,48 g/cm³) foram dispostas sobre suporte com filme de raios X (Kodak, Diagnostic Film T-Mat, 240 mm x180 mm), em condições de câmara escura. Em seguida, as amostras do lenho e a cunha de calibração de acetato de celulose foram transferidas para equipamento de raios X (Hewlett Packard, Faxitron 43805 N; 1,20 m distância da fonte de raios X-filme) e radiografadas (5 min de exposição, 16 Kv de tensão aceleradora no tubo,

3 mA de corrente de aquecimento do cátodo). Os filmes radiográficos das amostras de madeira + cunha de calibração foram revelados em aparelho Macrotec MX-2 (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1998).

6.5.3.c) Análise dos filmes radiográficos

Os filmes radiográficos das amostras do lenho foram digitalizados em scanner Hewlett Packard ScanJet 6100C/T a uma resolução de 1000 dpi (pixel por polegada) em escala de cinza de 256 graus. Na imagem digitalizada foram feitas comparações entre a escala de cinza das amostras de madeira com a da curva padrão (com valores conhecidos de densidade: $1,48 \text{ g/cm}^3$), sendo determinados os valores de densidade e convertidos para o arquivo tipo DEN, por meio do software CRAD. Na sequência, o arquivo DEN é lido com auxílio do software CERD considerando 500 mm x 10 mm (comprimento x largura) determinações de densidade para os segmentos de 25% do comprimento das amostras do lenho.

6.5.3.d) Montagem do perfil radial de densidade aparente do lenho

As análises diametrais das amostras originam um arquivo tipo TXT contendo os valores pontuais de densidade e os respectivos gráficos dos perfis de densidade aparente do lenho das árvores de eucaliptos (MOTHE et al., 1998). Os perfis de densidade e as respectivas amostras do lenho foram examinados e retirados das análises os que apresentavam defeitos internos (ex: nós, descoloração e decomposição da madeira).

6.5.3.e) Parâmetros de densidade aparente do lenho

A partir dos perfis radiais de densidade aparente do lenho foram determinadas as densidades aparente média, máxima e mínima do lenho das árvores de eucaliptos. As curvas de variação radial da densidade aparente do lenho e as respectivas equações das regressões polinomiais foram, também, determinadas e serviram de base para a seleção de corpos-de-prova representativos a serem analisados microscopicamente.

6.6 Propriedades mecânicas

6.6.1 Ensaio de dureza Janka paralela às fibras

Os ensaios de dureza Janka paralela às fibras foram feitos atendendo às especificações da NBR 7190/97 (ABNT, 1997). Entretanto, devido à necessidade de realização dos ensaios em regiões específicas da madeira, os corpos-de-prova foram produzidos com dimensões diferentes daquelas preconizadas pela norma, sem prejuízo na precisão dos resultados observados. Foram utilizadas faixas diametraais de largura igual ao diâmetro da tora, altura de 100 mm e espessura de 70 mm. Os ensaios foram feitos a cada 39 mm ao longo do diâmetro da tora – na direção da medula – sendo que, o primeiro ponto ensaiado situava-se a 19,5 mm da medula (Figura 12 – i).

6.6.2 Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras

Os ensaios de resistência à compressão paralela às fibras foram feitos de acordo com a NBR 7190/97 (ABNT, 1997). Segundo a referida norma é permitida a utilização de corpos-de-prova com seção transversal quadrada com pelo menos 18 mm de lado e comprimento igual a três vezes o lado da seção transversal. Sendo assim, para adequação em relação aos objetivos finais do presente trabalho, foram utilizados corpos-de-prova saturados em água, com dimensões $(30 \times 30 \times 90) \text{ mm}^3$ e corpos-de-prova na umidade de equilíbrio de 12% com dimensões $(25 \times 25 \times 75) \text{ mm}^3$. Quando da execução dos ensaios de resistência, puderam ser calculados os valores de densidade aparente saturada e densidade aparente a 12% de umidade de cada corpo-de-prova.

6.7 Análises dos resultados obtidos

A análise preliminar do comportamento geral das duas espécies estudadas foi conduzida com uso dos perfis de variação radial da densidade aparente do lenho (segmentos esquerdo (E) e direito (D)), obtidos com a densitometria de raios X. Com esses diagramas foram calculadas as densidades aparentes médias dos corpos-de-prova (com uso dos limites no posicionamento de cada corpo-de-prova ao longo do raio calcula-se a densidade

média naquele domínio da função) bem como foram avaliados os prováveis limites entre madeira juvenil e adulta em cada uma das árvores das duas espécies. Conforme já comentado, da análise dos perfis radiais também foram selecionadas as amostras para as análises anatômicas.

6.7.1 Variação da densidade aparente e da resistência à compressão paralela às fibras

A partir dos valores médio, máximo e mínimo de densidade aparente, obtidos por densitometria de raios X, foram plotados seis gráficos para as árvores de *E. grandis* e seis gráficos para as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* – um para cada árvore – evidenciando a variação radial da densidade aparente média no sentido medula casca, juntamente com a variação radial da resistência a compressão paralela às fibras na condição saturada. Da mesma forma, foram plotados outros 12 gráficos evidenciando a variação radial da densidade aparente média no sentido medula casca, juntamente com a variação radial da resistência a compressão paralela às fibras na condição de 12% de umidade.

6.7.2 Variação da densidade aparente e da resistência à dureza paralela às fibras

Foram calculados os valores médio, máximo e mínimo de densidade aparente, obtidos por densitometria de raios X na região correspondente ao intervalo de execução dos ensaios de dureza Janka – região que compreende um intervalo de 10 mm na região central de cada corpo-de-prova. A partir dos referidos valores de densidade aparente, foram plotados seis gráficos para as árvores de *E. grandis* e seis gráficos para as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* – um para cada árvore – evidenciando a variação radial da densidade aparente média aferida na região do ensaio de dureza Janka – no sentido medula casca –, juntamente com a variação radial da resistência a dureza paralela às fibras na condição verde. Da mesma forma, foram plotados outros 12 gráficos evidenciando a variação radial da densidade aparente média aferida na região do ensaio de dureza Janka – no sentido medula casca –, juntamente com a variação radial da resistência a dureza paralela às fibras na condição de 12% de umidade.

6.7.3 Análises estatísticas

Todos os dados de propriedades físicas e mecânicas e das características anatômicas foram tabulados em uma planilha do Microsoft Excel e as análises estatísticas foram feitas com o auxílio de estatísticos do Instituto de Biociências – Departamento de Bioestatística – IBB/Unesp e da ESALQ/USP – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Além do Microsoft Excel, também foram utilizados nas análises estatísticas os programas SAS (Statistical Analysis Software, v. 8)⁴ e Minitab 14.

Com os valores de densidade básica do corpo-de-prova (d_{b_cp}), densidade aparente do corpo-de-prova a 12% de umidade (d_{ap_12}), densidade aparente do corpo-de-prova saturado (d_{ap_sat}), densidade aparente por densitometria de raios X – a 12% de umidade – (d_{ap_rX}), densidade aparente aferida na região do ensaio de dureza por densitometria de raios X – a 12% de umidade – ($d_{ap_dureza_rX}$), frequência de vasos ($freq_vasos$), área de vasos ($area_vasos$), diâmetro dos vasos ($diam_vasos$), porcentagem de vasos ($porc_vasos$), fração parede ($frac_par$), retratibilidade radial (ϵ_{r_r}), retratibilidade tangencial (ϵ_{r_t}), retratibilidade longitudinal (ϵ_{r_l}), retratibilidade volumétrica (ϵ_{r_v}), resistência à compressão paralela às fibras – condição saturada – (f_{C0_sat}), resistência à compressão paralela às fibras – a 12% de umidade – (f_{C0_12}), resistência à dureza paralela às fibras – condição verde – (f_{H0_v}) e resistência à dureza paralela às fibras – a 12% de umidade – (f_{H0_12}), puderam ser feitas seis análises distintas.

- Análise 1: teste de normalidade – Ryan-Joiner – executado com o programa Minitab 14. O teste foi aplicado inicialmente para as características das árvores das duas espécies estudadas – altura, DAP e volume. Em seguida o teste de normalidade foi aplicado para todas as propriedades físicas, propriedades mecânicas e características anatômicas da madeira de todas as árvores estudadas.
- Análise 2 (feita apenas com os resultados de d_{ap_rX}): para cada árvore amostrada, dos cerca de 4000 valores de densidade aparente obtidos por densitometria de raios X no sentido medula-casca, foram calculadas as densidades aparentes médias a cada 0,5 cm

⁴ O programa referido tem licença de uso concedida tanto ao Departamento de Ciências Exatas – ESALQ/USP – Piracicaba como também ao Instituto de Biociências – IBB/Unesp – Botucatu.

aproximadamente, a fim de se estabelecer regiões com tendências distintas de comportamento da densidade aparente da madeira no sentido medula-casca. A partir das referidas médias foram determinadas equações de regressão para cada padrão de comportamento apurado (crescente, constante e decrescente). Dessa maneira, puderam ser delimitados os trechos de madeira juvenil e madeira adulta.

- Análise 3: com a aplicação do programa SAS, foi feita análise de variância utilizando-se o delineamento estatístico “modelos hierárquicos” para avaliar o efeito de três fatores sobre cada uma das seguintes variáveis: d_{b_cp} , d_{ap_12} , d_{ap_sat} , d_{ap_rX} , $d_{ap_dureza_rX}$, f_{eq_vasos} , $area_vasos$, $diam_vasos$, $porc_vasos$, $frac_par$, ϵ_{r_r} , ϵ_{r_t} , ϵ_{r_l} , ϵ_{r_v} , f_{C0_sat} , f_{C0_12} , f_{H0_v} e f_{H0_12} . Os fatores considerados foram: espécie (fator 1), lado em relação à medula – direito e esquerdo – (fator 2) e a interação cerne/alburno com madeira juvenil/adulta – nomeada como característica – (fator 3). Assim, para qualificar o lenho com relação ao fator 3 foram possíveis três interações – características – a saber: CeJu (cerne de madeira juvenil), CeAd (cerne de madeira adulta) e AlAd (alburno de madeira adulta). A avaliação foi feita para cada propriedade, considerando-se o fator 1 como sendo o mais importante, seguido dos fatores 2 e 3 com a hierarquia: característica dentro de lado e este, por sua vez, dentro de espécie.
- Análise 4: com os resultados obtidos, para os casos em que o fator teve efeito significativo sobre a propriedade, foram feitos testes de comparação de médias – Tukey – a um nível de significância de 5%, de forma separada para cada espécie estudada.
- Análise 5: foram feitos testes de comparação de médias a um nível de significância de 5% – Tukey – para verificar se houve diferença estatística entre as variáveis d_{ap_12} e d_{ap_rX} e entre as variáveis d_{ap_rX} e $d_{ap_dureza_rX}$. Os testes foram feitos separadamente para cada espécie estudada.
- Análise 6: foram feitos testes de correlações de Pearson, confrontando-se todas as variáveis estudadas.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Dados gerais das árvores

No Quadro 5 foram apresentados os valores de altura do fuste, altura da copa, diâmetro à altura do peito (DAP), espessura da casca e volume da árvore com e sem casca.

Observa-se que, de forma geral, as seis árvores de cada espécie são bem uniformes no que diz respeito aos valores apresentados no Quadro 5. Os coeficientes de variação resultaram de 7 a 15%, com exceção dos observados nas medições de volume, que variaram entre 20 e 30%, aproximadamente. Fazendo um paralelo entre as duas espécies, foram realizados testes “t de *Student*” para verificar a diferença de médias (significância de 5%) e, de acordo com os resultados obtidos, apenas os valores de altura da copa e DAP apresentaram diferenças significativas de médias entre as duas espécies estudadas.

De acordo com o teste de normalidade – Ryan Joiner – realizado a um nível de significância de 5%, apenas os valores de altura total da espécie *E. grandis* não apresentaram padrão normal de distribuição.

Quadro 5 – Dados de altura, DAP, espessura da casca e volume total, com e sem casca, das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e de *E. grandis*.

Espécie	Árvore	Alt. do Fuste (m)	Alt. da Copa (m)	Alt. Total (m)	DAP (m)	Esp. da casca (m)	Vol. s/ casca (m ³)	Vol. c/ casca (m ³)
<i>Corymbia citriodora</i>	1	29,98	11,82	41,80	0,39	0,0303	1,09	1,77
	2	33,00	11,00	44,00	0,40	0,0172	2,16	2,69
	3	25,17	12,83	38,00	0,38	0,0202	1,04	1,43
	4	36,00	11,20	47,20	0,41	0,0092	2,31	2,61
	5	28,33	13,37	41,70	0,39	0,0168	1,56	1,96
	6	27,32	13,18	40,50	0,41	0,0208	1,50	1,99
	média	29,97	12,23	42,20	0,40	0,0191	1,61	2,07
	desvpad	3,96	1,03	3,14	0,01	0,0069	0,53	0,49
	CV (%)	13,21	8,42	7,43	3,05	36,04	32,82	23,58
	Teste de normalidade	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100
<i>E. grandis</i>	1	29,73	21,00	50,73	0,45	0,0112	2,47	2,81
	2	33,00	15,50	48,50	0,50	0,0156	2,70	3,23
	3	30,80	20,30	51,10	0,43	0,0095	2,32	2,60
	4	20,90	18,60	39,50	0,39	0,0110	1,39	1,60
	5	35,10	15,90	51,00	0,43	0,0097	3,40	3,77
	6	27,40	21,20	48,60	0,47	0,0143	1,93	2,30
	média	29,49	18,75	48,24	0,44	0,0119	2,37	2,72
	desvpad	4,97	2,54	4,44	0,04	0,0025	0,68	0,75
	CV (%)	16,87	13,53	9,20	8,50	21,07	28,77	27,50
	Teste de normalidade	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100	P-valor < 0,010 **	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100	P-valor > 0,100

** O p-valor indica que os valores testados não seguem um padrão normal de distribuição.

7.2 Densidade básica da madeira dos discos das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*

A densidade básica média da madeira das seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi de 0,768 g/ cm³ com desvio-padrão 0,059 g/cm³. A densidade básica média da madeira das seis árvores de *E. grandis* foi de 0,583 g/ cm³ com desvio-padrão 0,021 g/cm³. Esses resultados estão dentro do esperado para as espécies citadas. Os dados de densidade básica de cada árvore foram apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Valores de densidade básica dos discos amostrados de cada árvore de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Árvore	densidade básica (g/cm ³)	
	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>E. grandis</i>
1	0,686	0,550
2	0,790	0,581
3	0,847	0,575
4	0,761	0,605
5	0,809	0,582
6	0,718	0,607

7.3 Variação radial da densidade aparente da madeira das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*, com uso de densitometria de raios X

A partir da metodologia já descrita foram obtidos os perfis radiais de densidade aparente do lenho de todas as árvores das espécies estudadas.

Após o corte, analisando-se a posição da medula, para diversas árvores foi constatada a diferença em comprimento dos raios opostos mensurados a partir da medula, na direção do maior diâmetro. Esse fato, que pode caracterizar a presença de lenho de tração (raio maior) e lenho oposto (raio menor) para as folhosas exigiu uma sistematização nos procedimentos. Assumiu-se que o maior dos raios (com probabilidade de ocorrência de lenho de tração) seria sempre o direito.

No Quadro 7 são apresentados comprimentos dos raios direito e esquerdo e as relações entre eles para cada uma das árvores estudadas.

Quadro 7 – Comprimento e relação entre comprimentos dos raios direito e esquerdo utilizados para avaliação da variação da densidade aparente por densitometria de raios X nas árvores

Árvore	Comprimento dos raios (cm) e relação entre comprimentos					
	<i>Corymbia citriodora</i>			<i>Eucalyptus grandis</i>		
	Direito (D)	Esquerdo (E)	D/E	Direito (D)	Esquerdo (E)	D/E
1	18,06	13,43	1,34	21,88	14,33	1,53
2	21,37	13,84	1,54	25,88	17,77	1,46
3	15,23	15,49	0,98	21,10	17,60	1,20
4	21,07	17,80	1,18	21,23	12,70	1,67
5	16,83	16,87	1,00	23,45	20,52	1,14
6	18,41	16,16	1,14	24,25	19,40	1,25

Evidencia-se que, para os dois gêneros, houve árvores com desbalanceamento significativo entre os raios direito e esquerdo. Referenciando-se por C1 a C6 as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e por G1 a G6 as árvores de *Eucalyptus grandis*, pode-se dizer que as árvores C1, C2, G1, G2 e G4 apresentaram desbalanceamento significativo entre os raios direito e esquerdo.

Por meio da densitometria de raios X foram obtidos entre 2000 e 4000 valores de densidade aparente no sentido medula-casca, para cada raio – direito (D) e esquerdo (E) – em relação à medula.

No Quadro 8 são apresentados alguns valores característicos (médios, máximos, mínimos, desvio-padrão e coeficiente de variação) dos dados de densidade aparente observados ao longo de toda extensão de cada raio, ou seja, sem descontar os intervalos entre um corpo-de-prova e outro. O Quadro 8 apresenta ainda as equações de regressão obtidas para cada raio. Os perfis densitométricos estão apresentados nas Figuras 16 a 19. As linhas verticais tracejadas ilustram as demarcações dos corpos-de-prova estudados.

Quadro 8 – Valores característicos da densidade aparente obtidos na densitometria de raios X para cada um dos raios avaliados.

Espécie	Árvore	Raio	Densidade aparente (g/cm ³)			Desvpad	CV (%)
			Média	Máxima	Mínima		
<i>C. citriodora</i>	1	D	1,0198	1,3236	0,3571	0,1366	13,40
		E	1,2399	1,5412	0,7029	0,1085	8,75
	2	D	1,1304	1,3703	0,7893	0,1035	9,15
		E	1,0706	1,5803	0,4753	0,2308	21,56
	3	D	1,1984	1,5493	0,7499	0,1613	13,46
		E	1,1269	1,3509	0,7628	0,0962	8,54
	4	D	1,1967	1,5813	0,4075	0,1618	13,52
		E	0,9881	1,4438	0,5061	0,1939	19,62
	5	D	1,2013	1,5699	0,6243	0,1464	12,19
		E	1,1308	1,5310	0,6982	0,1459	12,90
	6	D	1,0962	1,5780	0,3953	0,1782	16,26
		E	0,9751	1,4086	0,4699	0,1221	12,52
MÉDIA			1,1145	1,4857	0,5782	0,1488	13,49
DESVPAD			0,0876	0,0992	0,1593		
<i>E. grandis</i>	1	D	0,6710	1,1890	0,2180	0,2051	30,56
		E	0,6552	0,9515	0,3964	0,1045	15,95
	2	D	0,6407	1,0178	0,3976	0,0958	14,96
		E	0,7025	1,1280	0,2145	0,1810	25,77
	3	D	0,7050	1,0707	0,3077	0,1402	19,89
		E	0,6571	1,0417	0,3782	0,1471	22,38
	4	D	0,5901	0,9818	0,1326	0,1384	23,45
		E	0,8039	1,1731	0,3950	0,1460	18,16
	5	D	0,7552	1,0062	0,4805	0,0914	12,10
		E	0,6540	0,9559	0,2047	0,1223	18,69
	6	D	0,7522	1,2707	0,4667	0,1664	22,12
		E	0,7504	1,1891	0,3370	0,1538	20,50
MÉDIA			0,6948	1,0813	0,3274	0,1410	20,38
DESVPAD			0,0612	0,1060	0,1120		

Como poderia ser esperado, a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* teve valores bastante superiores de densidade aparente, com valores médios por raio variando de 0,97 g/cm³ a 1,20g/cm³. Em alguns raios foram observados valores pontuais de densidade aparente de, surpreendentemente, até 1,58 g/cm³. Esse valor está acima do referencial teórico de densidade aparente da madeira (1,48 g/cm³) e as causas mais prováveis da ocorrência dessa diferença são: a) a madeira avaliada está com 12% de água e a densidade aparente de 1,48 g/cm³ se refere à madeira a 0% de água; b) a madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* estudada teve até 97% de fração parede e o ponto onde a densitometria aferiu 1,58 g/cm³ pode pertencer a um intervalo onde se tem exclusivamente parede.

Para a espécie *E. grandis* os valores de densidade variaram mais ao longo de cada um dos raios analisados (média dos CV observados em cada raio igual a 20%, aproximadamente, comparado com o valor de 13 a 14%, para igual média na *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*) e foram consistentemente menores, com valores médios da ordem de 0,70g/cm³. O valor máximo (pontual) de densidade aparente observado foi de 1,27g/cm³.

Aplicando-se o teste “t de Student” a um nível de significância de 5% pôde-se comprovar que a média dos CV de *E. grandis* é significativamente maior que a média dos CV de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. Ainda com o referido teste, comprovou-se também que a média dos valores médios de densidade aparente (aferidos em cada raio) de *E. grandis* é significativamente menor que a média dos valores médios de densidade aparente de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*.

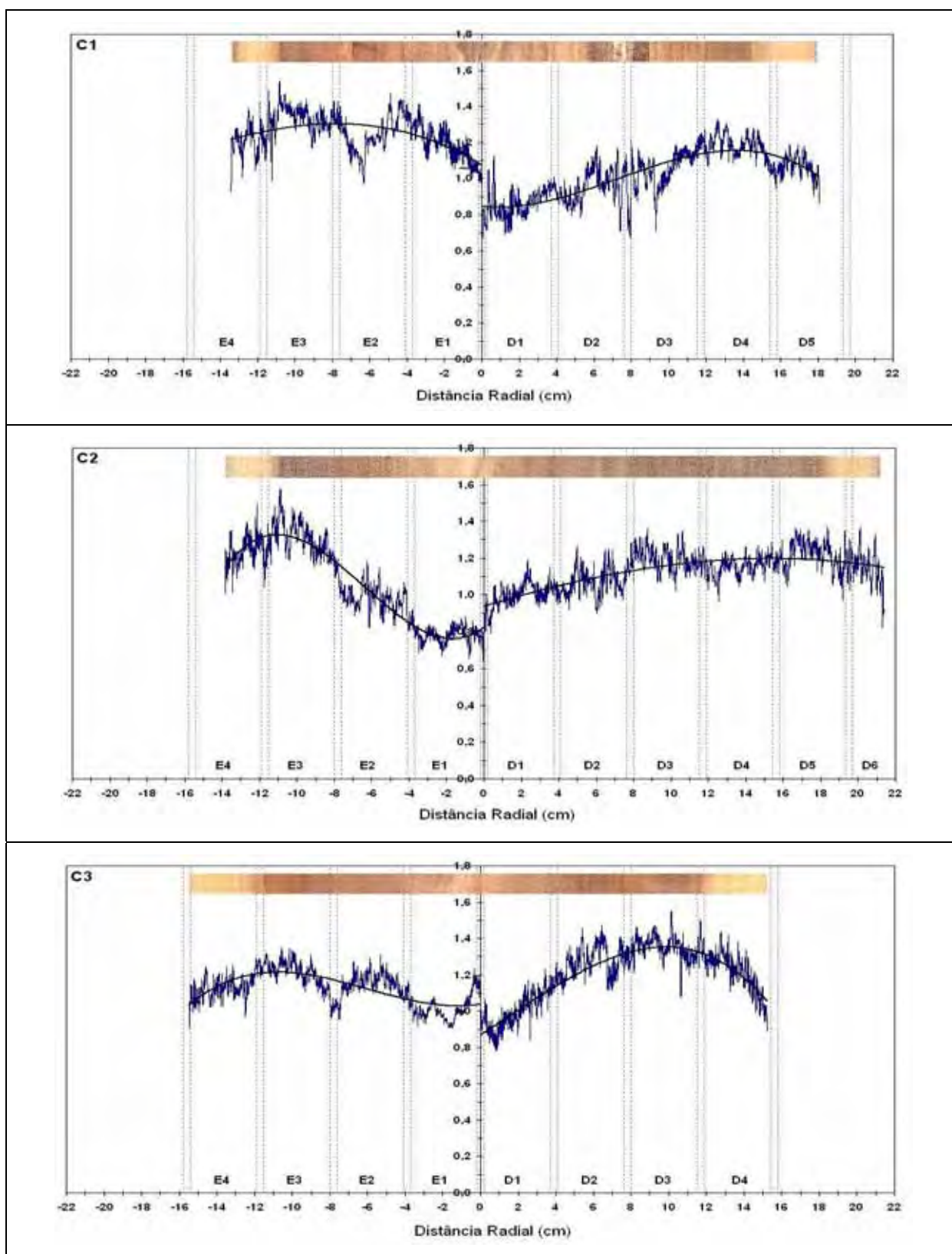


Figura 16 – Perfil de densidade aparente (12%) do lenho – Árvores C1 a C3

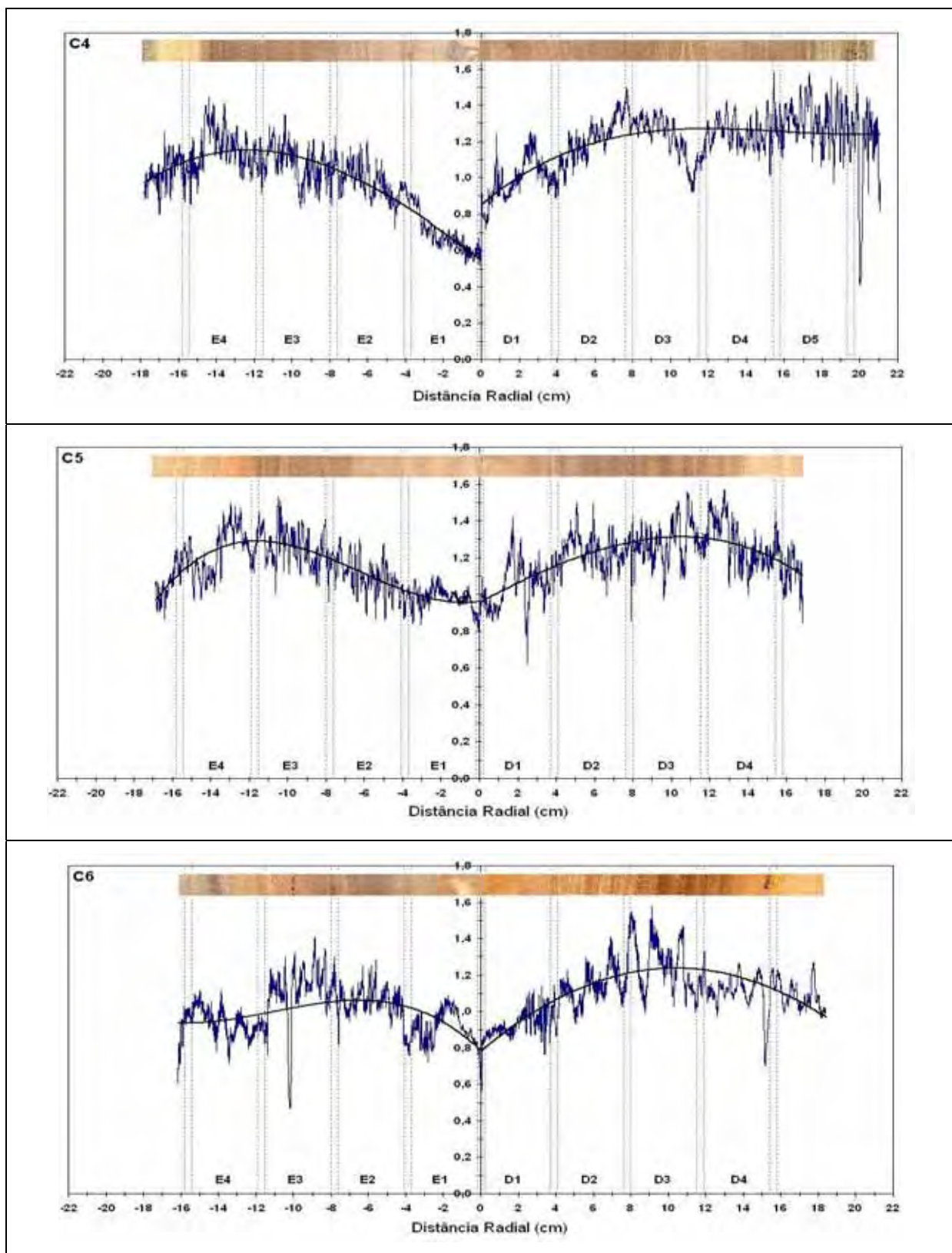


Figura 17 – Perfil de densidade aparente (12%) do lenho – Árvores C4 a C6

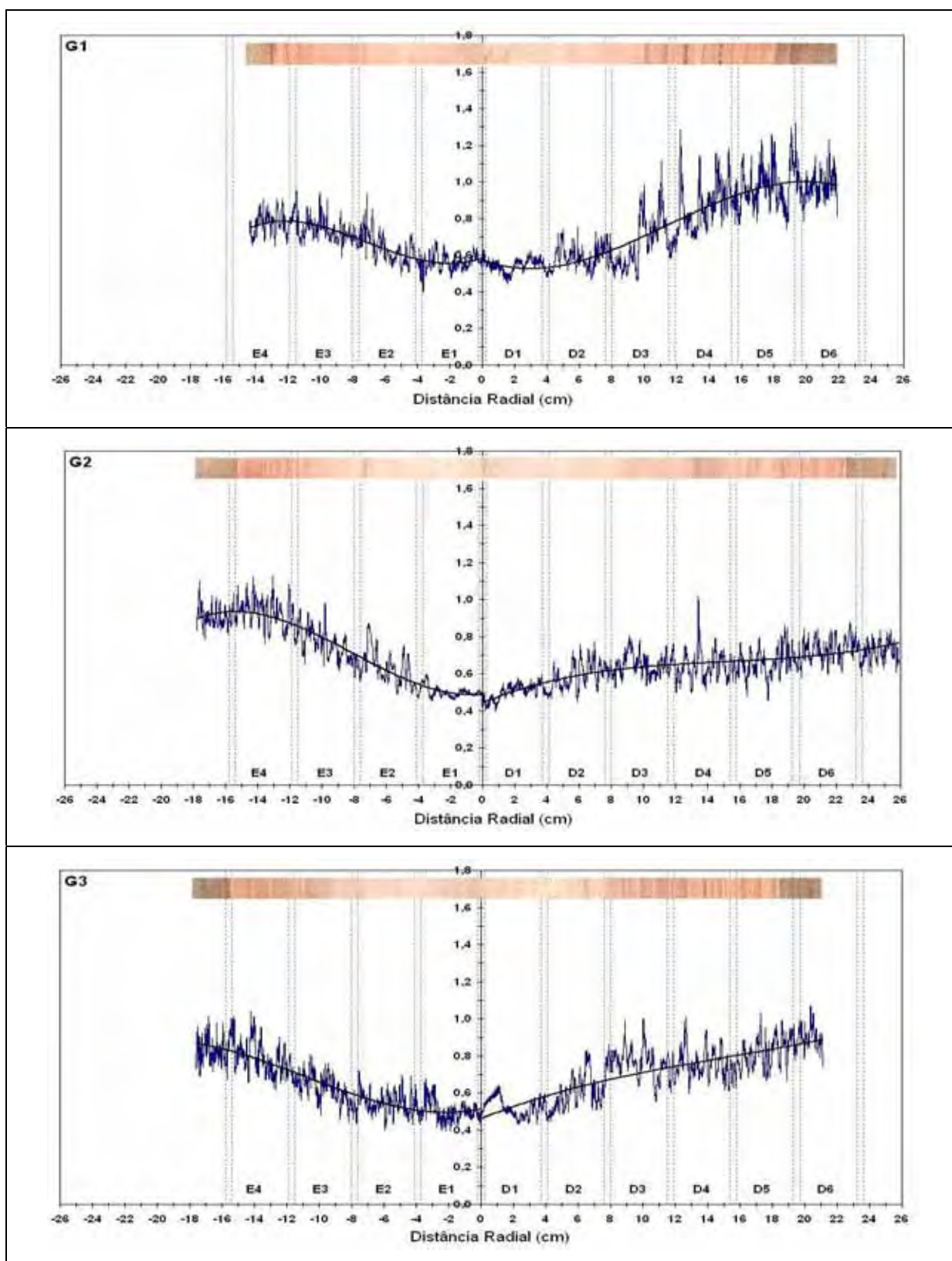


Figura 18 – Perfil de densidade aparente (12%) do lenho – Árvores G1 a G3

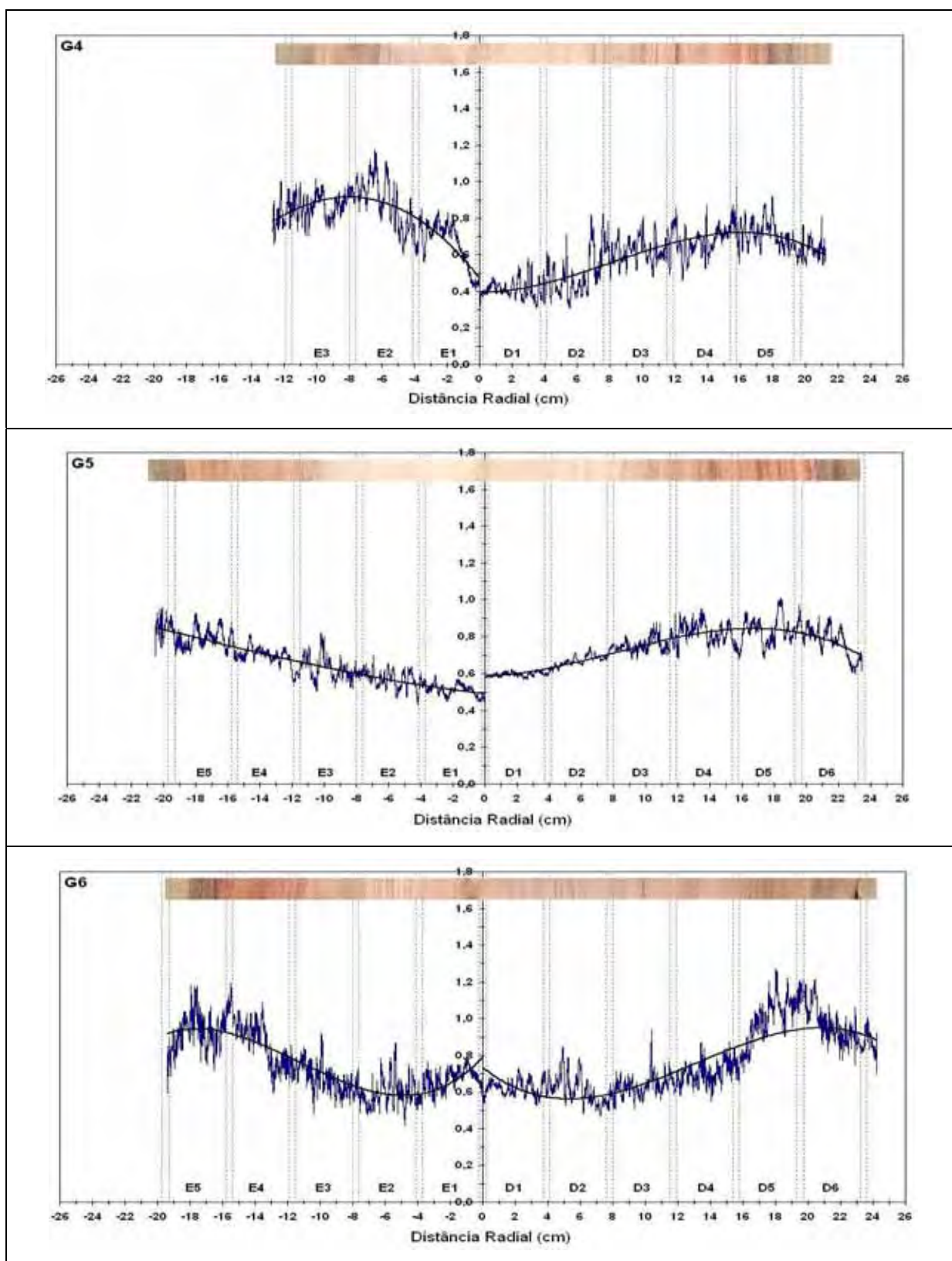


Figura 19 – Perfil de densidade aparente (12%) do lenho – Árvores G4 a G6

Podem-se observar, no geral, três padrões distintos e marcantes de variação da densidade aparente ao longo do raio das árvores:

- Padrão 1 – densidade aparente crescente a partir da medula, seguida de trecho com estabilização do valor e, finalmente decréscimo;
- Padrão 2 – densidade aparente crescente a partir da medula, seguida de trecho com estabilização do valor;
- Padrão 3 – densidade aparente crescente a partir da medula.

Referenciando como D e E os raios à direita e esquerda, respectivamente, tem-se que os raios C1D, C1E, C2E, C3D, C3E, C4E, C5D, C5E, C6D e C6E para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e G5D e G6E, para a espécie *E. grandis* apresentaram o padrão 1 de variação. Ele foi, assim, dominante entre os observados para a *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, já que observado em 10 dos 12 raios analisados nessa espécie (83,3% da amostra).

O padrão 2 de variação foi observável nos raios C2D e C4D para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e G1D, G1E, G2D, G2E, G4D e G6D, para o *E. grandis*. Configurou-se como o padrão de maior incidência para essa última espécie (50% da amostra).

O padrão 3, caracterizado pela densidade aparente monotonicamente crescente no sentido medula-casca, foi observado somente no *E. grandis*, nos raios G3D, G3E, G4E e G5E.

Constata-se, como consequência, que a *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* teve maior número de raios avaliados em que foi observada queda dos valores de densidade aparente, no trecho final de análise, na região próxima à casca, caracterizada como de alburno.

Buscando uma interpretação mais detalhada do padrão 1 de variação da densidade aparente do lenho para *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, foi estudada a regressão linear por partes dessas três regiões de comportamento (aumento, estabilização e diminuição) em duas árvores: C2 e C5. A árvore 2 apresentava desbalanceamento de raios, com grande probabilidade de ocorrência de lenhos de tração (raio direito) e oposto (raio esquerdo). O indivíduo 5 tinha grande probabilidade de ocorrência exclusiva de lenho normal.

Na Figura 20 estão ilustrados os resultados obtidos.

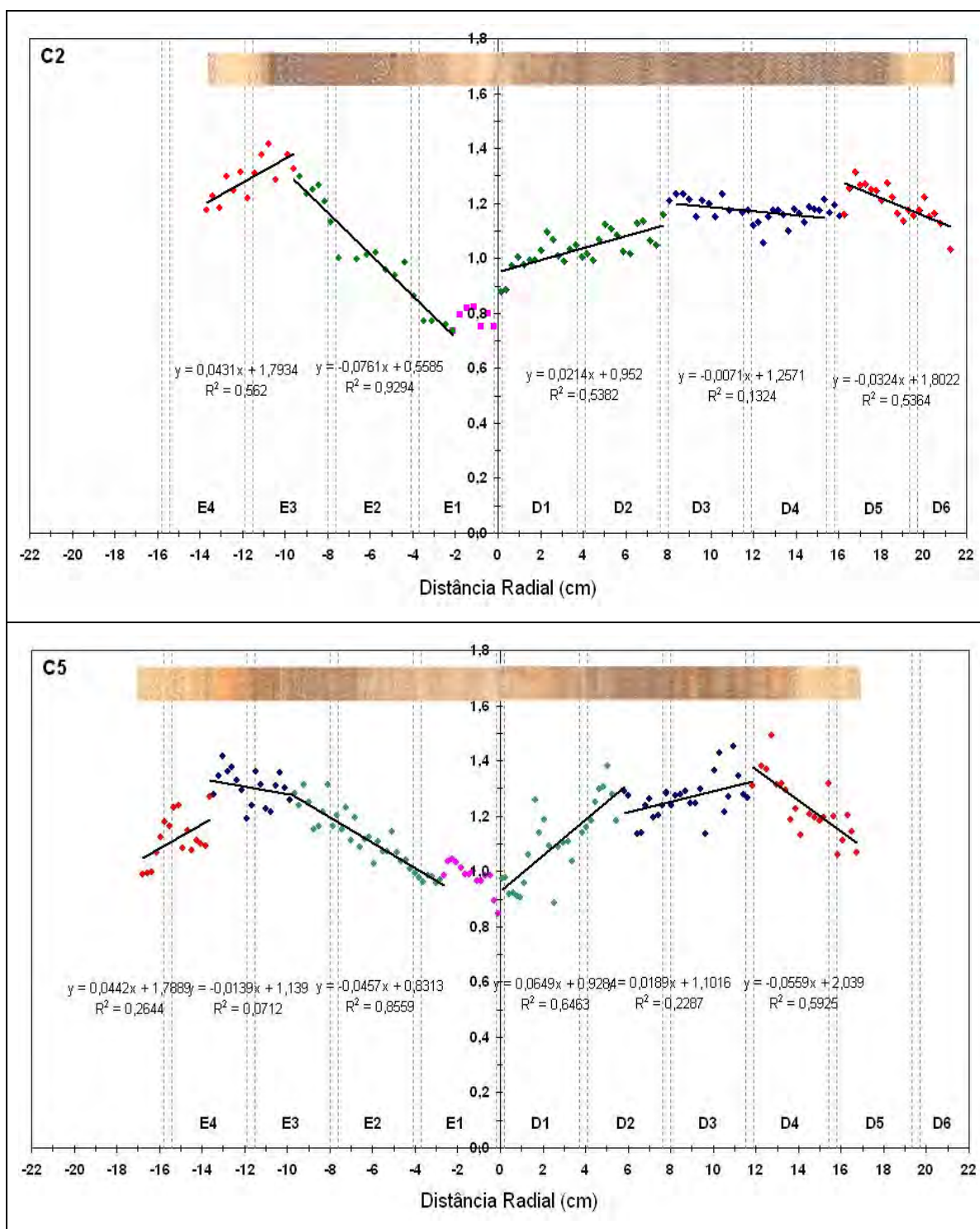


Figura 20 – *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* – padrões gerais de comportamento da densidade aparente ao longo do raio para duas árvores: C2 – com desbalanceamento dos raios – e C5 – com raios direito e esquerdo balanceados.

Para as duas árvores de *Corymbia citriodora* ficaram bem caracterizadas as regiões inicial – de aumento linear da densidade aparente – e final – de diminuição nos valores da densidade aparente.

A região inicial de aumento da densidade - desde a região circunvizinha à medula, estendendo-se até cerca de 5 a 10 cm além dela, ao longo do raio – é devida à presença de madeira juvenil. Nessa região, por conta da coloração do lenho, nota-se a presença de madeira de cerne.

A estabilização nos valores de densidade aparente só foi observada após a fase inicial, de crescimento marcante da densidade aparente. Contudo, na árvore 2, raio esquerdo, com provável presença de lenho oposto, a região de estabilização não foi observada. Essa segunda região pode ser associada à presença de madeira adulta de cerne.

Embora bastante visível em alguns raios estudados (como, por exemplo, o raio C2D) a região de estabilização da densidade aparente não pode ser caracterizada com uma regressão linear estatisticamente significativa.

A terceira região, caracterizada por diminuição da densidade aparente, está associada à presença de alburno (visível com a mudança de coloração do lenho, na região da periferia da árvore, próxima à casca).

Análise semelhante foi conduzida para as árvores G1 e G5 da espécie *E. grandis*, novamente contemplando-se árvore com e sem desbalanceamento nos raios, respectivamente (Figura 21).

Diferentemente do observado para as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, nas de *E. grandis* o padrão mais freqüente de variação foi o Padrão 2, que representou 50% das ocorrências para a espécie, e pode ser visualizado nos raios G1D e G1E (Figura 21). Nesse padrão não se observa na região externa a diminuição da densidade, muito embora seja detectável visualmente a presença de alburno.

O raio G5D foi um dos poucos em que essa diminuição foi constatada. Esse comportamento se fez presente em cerca de 17% dos raios da espécie *E. grandis*.

Por fim, como ilustração do Padrão 3, que ocorreu em 33% dos raios do *E. grandis*, pode-se observar o raio G5E (Figura 21).

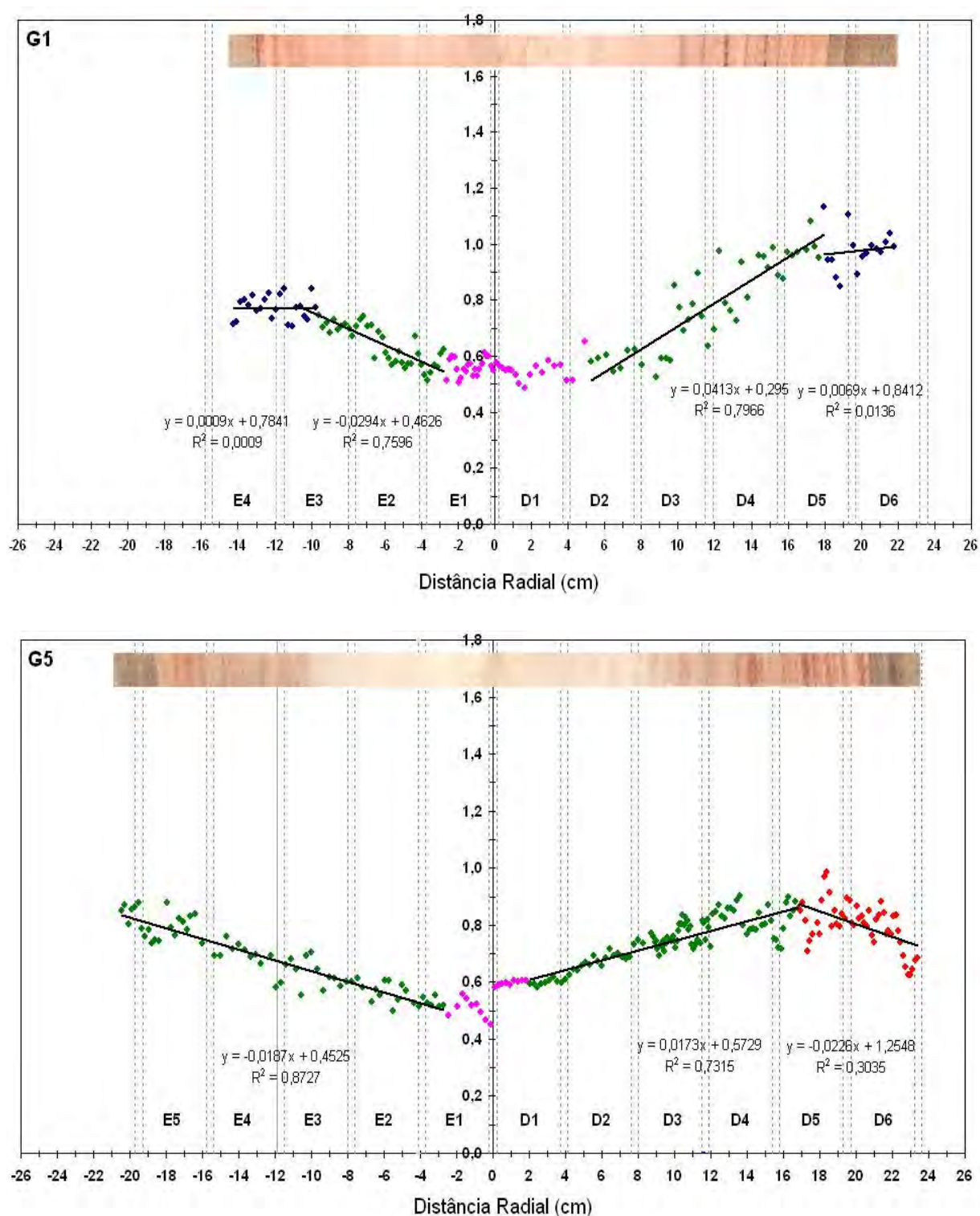


Figura 21 – *Eucalyptus grandis* – padrões gerais de comportamento da densidade aparente ao longo do raio para duas árvores: G1 – com desbalanceamento dos raios – e GC5 – com raios direito e esquerdo balanceados.

A partir deste estudo detalhado da variação da densidade aparente no sentido medula-casca, puderam ser delimitadas as regiões de madeira juvenil e madeira adulta (Ju/Ad) e, por meio das fotos digitais da madeira das árvores estudadas, delimitaram-se os trechos de cerne e alburno (Ce/Al) (Quadro 9).

Quadro 9 – Delimitação das regiões de cerne, alburno, madeira juvenil e madeira adulta dos corpos-de-prova das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Árvore	Corpos-de-prova (Raio D)						Corpos-de-prova (Raio E)				
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	E1	E2	E3	E4	E5
<i>C. citriodora</i>	1	Ce	Ce	Ce	Ce	Al	.	Ce	Ce	Ce	Al	.
		Ju	Ju	Ju	Ad	Ad	.	Ju	Ju	Ad	Ad	.
	2	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Al	Ce	Ce	Ce	Al	.
		Ju	Ju	Ad	Ad	Ad	Ad	Ju	Ju	Ad	Ad	.
	3	Ce	Ce	Ce	Al	.	.	Ce	Ce	Ce	Al	.
		Ju	Ju	Ad	Ad	.	.	Ju	Ju	Ad	Ad	.
	4	Al	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	.	Ce	Ce	Ce	Ce
		Ad	Ju	Ju	Ad	Ad	Ad	.	Ju	Ju	Ad	Ad
	5	Ce	Ce	Ce	Al	.	.	Ce	Ce	Ce	Al	.
		Ju	Ju	Ad	Ad	.	.	Ju	Ju	Ad	Ad	.
	6	Ce	Ce	Ce	Al	.	.	Ce	Ce	Ce	Al	.
		Ju	Ju	Ad	Ad	.	.	Ju	Ju	Ad	Ad	.
<i>E. grandis</i>	1	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Al	Ce	Ce	Ce	Al	.
		Ju	Ju	Ju	Ju	Ad	Ad	Ju	Ju	Ad	Ad	.
	2	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Al
		Ju	Ju	Ju	Ad	Ad	Ad	Ju	Ju	Ju	Ad	Ad
	3	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	.	Ce	Ce	Ce	Ce	.
		Ju	Ju	Ju	Ad	Ad	.	Ju	Ju	Ju	Ad	.
	4	Ce	Ce	Ce	Ce	Al	.	Ce	Ce	Ce	.	.
		Ju	Ju	Ju	Ad	Ad	.	Ju	Ju	Ad	.	.
	5	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Al	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce
		Ju	Ju	Ju	Ad	Ad	Ad	Ju	Ju	Ju	Ju	Ad
	6	Ce	Ce	Ce	Ce	Ce	Al	Ce	Ce	Ce	Ce	Al
		Ju	Ju	Ju	Ju	Ad	Ad	Ju	Ju	Ju	Ad	Ad

Observa-se que das quatro possibilidades de combinação entre cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta – cerne de madeira juvenil, cerne de madeira adulta, alburno de madeira juvenil e alburno de madeira adulta – a combinação alburno de madeira juvenil não foi constatada em qualquer uma das espécies e árvores estudadas, por conta da altura (próxima ao DAP) onde foram amostradas as árvores (Figura 4).

Os dados apresentados até o presente momento serviram de base para uma análise isolada da densidade aparente da madeira das duas espécies estudadas.

Para uma análise conjunta entre propriedades físicas, propriedades mecânicas e características anatômicas foi necessário que se tomassem apenas os valores de densidade aparente observados nos intervalos referentes a cada corpo-de-prova estudado – descontando-se os valores de densidade aparente aferidos nos intervalos de 4 mm entre um

corpo-de-prova e outro. Foram calculados os dados médios, mínimo e máximo de densidade aparente para cada corpo-de-prova, bem como seus respectivos desvio-padrão e coeficiente de variação e apresentados nos Quadros 10 e 11. A partir dos referidos dados, foram construídos os gráficos de variação radial da densidade aparente média da madeira no sentido medula-casca, para cada espécie estudada (Figuras 22 e 23).

Assim como atestado por Tomazello Filho (1985a, 1987) e Oliveira et al. (2005), a densidade aparente média da madeira apresentou uma tendência geral de aumento no sentido medula-casca para as duas espécies estudadas. O comportamento da variação da densidade aparente para as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi mais uniforme do que o comportamento apresentado pelas árvores de *E. grandis*, ratificando o resultado obtido no teste “t de Student” – a média dos CV dos dados médios de densidade aparente de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi menor que a média dos CV dos dados médios de densidade aparente de *E. grandis*.

É importante ressaltar que, ao se compararem os resultados apresentados no Quadro 8 com os resultados apresentados nos Quadros 10 e 11 pode-se chegar, por exemplo, a valores diferentes de densidade aparente máxima, visto que o primeiro foi baseado em uma planilha de dados de densidade aparente mais completa do que os dois últimos.

Quadro 10 – Valores das densidades aparentes média, máxima e mínima, do desvio-padrão e coeficiente de variação de Pearson para cada corpo-de-prova extraído do lado direito da medula – *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Árvore	Densid. Aparente (g/cm³)	Corpos-de-prova (Raio D)					
			D1	D2	D3	D4	D5	D6
Corymbia citriodora	1	Média (min.; max.)	0,860 (0,691; 1,122)	0,960 (0,710; 1,184)	1,050 (0,706; 1,216)	1,184 (1,035; 1,324)	1,067 (0,858; 1,190)	.
		Desvpad	0,074	0,092	0,088	0,059	0,056	.
		CV (%)	8,6	9,6	8,3	5,0	5,3	.
	2	Média (min.; max.)	1,004 (0,789; 1,192)	1,069 (0,897; 1,264)	1,199 (1,020; 1,362)	1,152 (0,966;1,285);	1,220 (0,970; 1,370)	1,179 (1,097; 1,261)
		Desvpad	0,065	0,070	0,062	0,054	0,074	0,052
		CV (%)	6,5	6,6	5,2	4,6	6,1	4,4
	3	Média (min.; max.)	0,979 (0,784; 1,230)	1,263 (1,091; 1,472)	1,352 (1,074; 1,549)	1,211 (0,885; 1,435)	.	.
		Desvpad	0,088	0,081	0,062	0,107	.	.
		CV (%)	9,0	6,4	4,6	8,9	.	.
	4	Média (min.; max.)	1,003 (0,721; 1,254)	1,220 (0,952; 1,442)	1,210 (0,919; 1,386)	1,245 (1,010;1,429);	1,317 (0,967; 1,578)	.
		Desvpad	0,110	0,102	0,122	0,078	0,109	.
		CV (%)	10,9	8,3	10,0	6,2	8,3	.
5	Média (min.; max.)	1,044 (0,624; 1,421)	1,239 (0,991; 1,499)	1,288 (0,972; 1,559)	1,279 (0,999; 1,570)	.	.	
	Desvpad	0,128	0,084	0,107	0,123	.	.	
	CV (%)	12,2	6,8	8,3	9,6	.	.	
6	Média (min.; max.)	0,934 (0,765; 1,140);	1,137 (0,934; 1,408)	1,297 (0,990; 1,578)	1,106 (0,701; 1,329)	.	.	
	Desvpad	0,066	0,090	0,130	0,098	.	.	
	CV (%)	7,0	7,9	10,0	8,8	.	.	
E. grandis	1	Média (min.; max.)	0,544 (0,443; 0,631)	0,589 (0,467; 0,757)	0,687 (0,457; 1,116)	0,871 (0,617; 1,286)	0,981 (0,741; 1,296)	0,977 (0,789; 1,229)
		Desvpad	0,036	0,061	0,138	0,124	0,115	0,071
		CV (%)	6,6	10,3	20,2	14,3	11,7	7,2
	2	Média (min.; max.)	0,505 (0,398; 0,595)	0,593 (0,446; 0,771)	0,650 (0,526; 0,806)	0,640 (0,498; 1,018)	0,663 (0,455; 0,862)	0,733 (0,576; 0,879)
		Desvpad	0,042	0,069	0,058	0,076	0,073	0,059
		CV (%)	8,2	11,7	8,9	11,8	11,1	8,1
	3	Média (min.; max.)	0,524 (0,431; 0,640)	0,596 (0,449; 0,830)	0,766 (0,555; 1,001)	0,758 (0,598; 1,007)	0,819 (0,664; 1,031)	.
		Desvpad	0,050	0,089	0,076	0,080	0,081	.
		CV (%)	9,5	14,9	9,9	10,6	9,9	.
	4	Média (min.; max.)	0,414 (0,308; 0,580)	0,484 (0,309; 0,822)	0,620 (0,474; 0,805)	0,672 (0,458; 0,869)	0,721 (0,552; 0,920)	.
		Desvpad	0,050	0,112	0,064	0,069	0,071	.
		CV (%)	12,2	23,2	10,4	10,3	9,9	.
	5	Média (min.; max.)	0,598 (0,569; 0,624)	0,672 (0,607; 0,747)	0,753 (0,677; 0,877)	0,825 (0,680; 0,951)	0,832 (0,685; 1,006)	0,777 (0,595; 0,910)
		Desvpad	0,012	0,027	0,037	0,053	0,072	0,076
		CV (%)	2,0	4,0	5,0	6,4	8,7	9,7
	6	Média (min.; max.)	0,624 (0,526; 0,731)	0,614 (0,467; 0,846)	0,634 (0,508; 0,943)	0,702 (0,549; 0,874)	0,966 (0,752; 1,271)	0,953 (0,752; 1,222)
		Desvpad	0,038	0,078	0,061	0,058	0,121	0,094
		CV (%)	6,1	12,8	9,6	8,3	12,5	9,9

Quadro 11 – Valores das densidades aparentes média, máxima e mínima, do desvio-padrão e coeficiente de variação de Pearson para cada corpo-de-prova extraído do lado esquerdo da medula – *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Árvore	Densid. Aparente (g/cm³)	Corpos-de-prova (Rato E)				
			E1	E2	E3	E4	E5
<i>Corymbia citriodora</i>	1	Média (min.; max.)	1,181 (1,001; 1,412)	1,237 (0,972; 1,472)	1,335 (0,986; 1,541)	1,196 (0,920; 1,388)	.
		Desvpad	0,083	0,099	0,069	0,080	.
		CV (%)	7,0	8,0	5,2	6,7	.
	2	Média (min.; max.)	0,781 (0,656; 0,878)	0,984 (0,821; 1,182)	1,312 (1,151; 1,580)	1,241 (1,003; 1,496)	.
		Desvpad	0,040	0,063	0,087	0,079	.
		CV (%)	5,2	6,4	6,7	6,3	.
	3	Média (min.; max.)	1,006 (0,907; 1,233)	1,155 (0,952; 1,311)	1,216 (1,051; 1,351)	1,128 (0,968; 1,294)	.
		Desvpad	0,061	0,056	0,061	0,055	.
		CV (%)	6,1	4,9	5,0	4,9	.
	4	Média (min.; max.)	0,684 (0,526; 0,912)	0,974 (0,724; 1,206)	1,089 (0,830; 1,348)	1,164 (0,851; 1,444)	.
		Desvpad	0,092	0,089	0,100	0,109	.
		CV (%)	13,4	9,1	9,1	9,4	.
<i>E. grandis</i>	5	Média (min.; max.)	0,985 (0,834; 1,104)	1,100 (0,862; 1,312)	1,266 (1,004; 1,531)	1,233 (0,968; 1,496)	.
		Desvpad	0,049	0,091	0,099	0,125	.
		CV (%)	5,0	8,3	7,8	10,2	.
	6	Média (min.; max.)	0,923 (0,724; 1,089)	1,060 (0,812; 1,286)	1,101 (0,470; 1,409)	0,941 (0,713; 1,114)	.
		Desvpad	0,078	0,071	0,163	0,077	.
		CV (%)	8,5	6,7	14,8	8,2	.
	1	Média (min.; max.)	0,564 (0,396; 0,685)	0,635 (0,490; 0,934)	0,738 (0,585; 0,952)	0,775 (0,649; 0,906)	.
		Desvpad	0,044	0,078	0,061	0,061	.
		CV (%)	7,8	12,3	8,3	7,9	.
	2	Média (min.; max.)	0,500 (0,457; 0,599)	0,632 (0,489; 0,872)	0,762 (0,617; 0,980)	0,935 (0,762; 1,128)	.
		Desvpad	0,027	0,089	0,076	0,072	.
		CV (%)	5,3	14,1	10,0	7,7	.
<i>E. grandis</i>	3	Média (min.; max.)	0,505 (0,394; 0,675)	0,546 (0,399; 0,723)	0,637 (0,443; 0,808)	0,797 (0,616; 1,042)	.
		Desvpad	0,054	0,056	0,069	0,086	.
		CV (%)	10,7	10,3	10,9	10,8	.
	4	Média (min.; max.)	0,674 (0,413; 0,853)	0,894 (0,601; 1,173)	0,869 (0,704; 1,016)	.	.
		Desvpad	0,112	0,130	0,063	.	.
		CV (%)	16,7	14,5	7,2	.	.
	5	Média (min.; max.)	0,514 (0,447; 0,594)	0,567 (0,432; 0,701)	0,631 (0,505; 0,817)	0,700 (0,547; 0,809)	0,788 (0,694; 0,925)
		Desvpad	0,030	0,050	0,063	0,040	0,050
		CV (%)	5,8	8,8	9,9	5,8	6,4
	6	Média (min.; max.)	0,675 (0,517; 0,792)	0,599 (0,414; 0,867)	0,684 (0,478; 0,922)	0,863 (0,593; 1,095)	0,927 (0,683; 1,183)
		Desvpad	0,053	0,079	0,077	0,113	0,091
		CV (%)	7,8	13,3	11,2	13,0	9,8

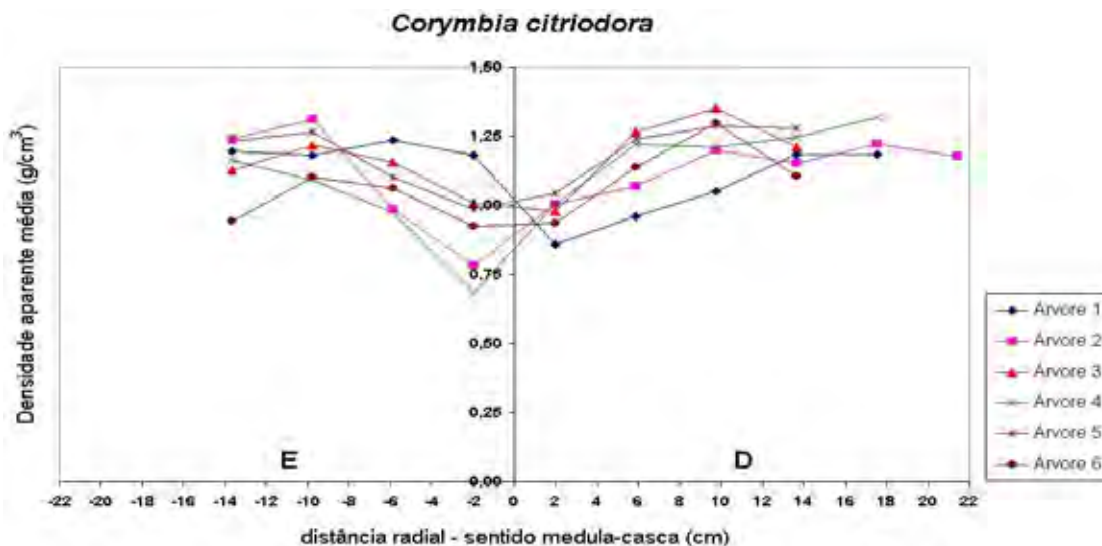


Figura 22 – Variações da densidade aparente média das seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* no sentido medula-casca, medidas do lado direito (D) e esquerdo (E) da medula.

Por meio do gráfico nota-se que os valores máximos de densidade ocorreram na posição 9,75 cm (3º ponto a partir da medula) – equivalente a aproximadamente 45% do raio do tronco – para as árvores 2, 3, 5 e 6 em ambos os lados. Assumindo-se esse ponto como a transição teórica entre madeira juvenil e adulta, a proporção aproximada de madeira juvenil em termos de volume seria de 20%, valor superior ao reportado por Jankowsky (1979) para árvores de idade semelhante.

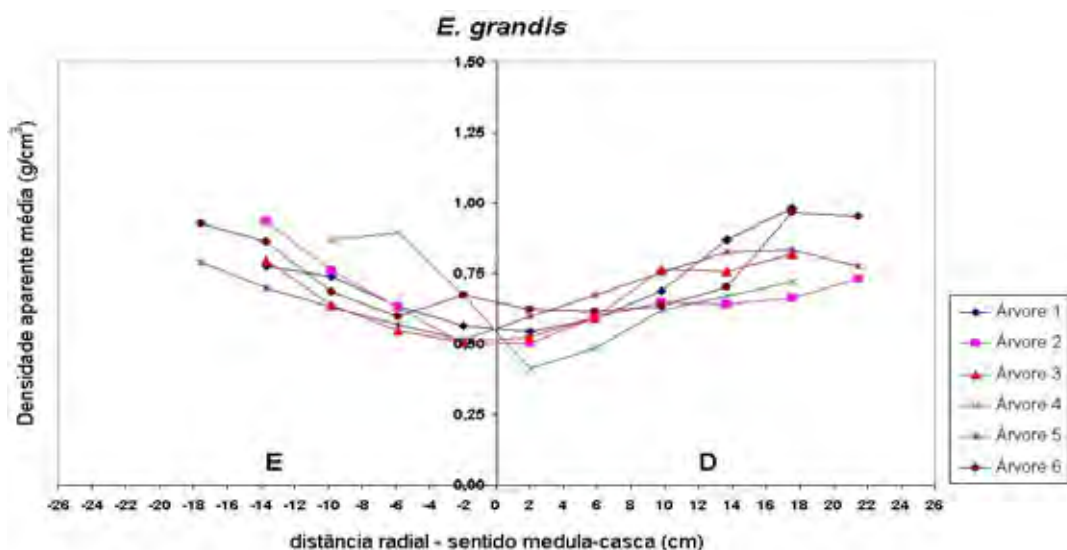


Figura 23 – Variações da densidade aparente média das seis árvores de *E. grandis* no sentido medula-casca, medidas do lado direito (D) e esquerdo (E) da medula.

Analisando o gráfico apresentado, as árvores de *E. grandis* apresentaram um aumento mais acentuado dos valores de densidade aparente média até a posição 13,65 cm (4º ponto a partir da medula), seguido de uma estabilização ou queda para as árvores 1, 2, 3 e 4 no lado esquerdo. Na referida posição, evidencia-se a provável presença de madeira adulta de cerne. Observa-se que as Figuras 22 e 23 ratificam o Quadro 9, onde foram delimitadas as regiões de cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta.

7.4 Características anatômicas da madeira das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*

7.4.1 Avaliação dos elementos de vasos

Das seis árvores selecionadas (três de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e três de *E. grandis*) foram obtidos valores médio, máximo e mínimo de frequência de vasos e diâmetro dos vasos, bem como seus respectivos desvio-padrão e coeficiente de variação. Os resultados foram tabulados no Quadro 12. Os valores médio, máximo e mínimo de área dos vasos e porcentagem de vasos, bem como seus respectivos desvio-padrão e coeficiente de variação foram apresentados no Anexo A.

Por meio dos resultados apresentados no Quadro 12 observou-se, para as duas espécies estudadas, que os valores médios da frequência de vasos têm uma tendência de diminuição da medula até aproximadamente a metade do raio e desse ponto em diante, a tendência é de aumento. Essa tendência não foi constatada apenas nas árvores *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* 5 (C5) e *E. grandis* 2 (G2). Ainda com relação à frequência de vasos, pôde ser observada uma uniformidade nos dados aferidos nos corpos-de-prova, por conta dos baixos valores de coeficiente de variação alcançados. Em relação ao diâmetro dos vasos, todas as árvores amostradas apresentaram tendência de aumento até aproximadamente metade do raio e desse ponto em diante uma estabilização, no geral. Os valores do coeficiente de variação foram ainda menores do que aqueles observados para a frequência de vasos, evidenciando uma uniformidade ainda maior no que se refere ao diâmetro dos vasos dos corpos-de-prova estudados.

Quadro 12 – Valores de frequência e diâmetro dos vasos, obtidos nas análises microscópicas do lenho.

Espécie	Árvore	Corpo-de-prova	Frequência de vasos (vasos / mm ²)			Diâmetro dos vasos (µm)		
			média (min; máx)	desvpad	CV (%)	média (min; máx)	desvpad	CV (%)
<i>Corymbia citriodora</i>	2	E1	11,62 (10,33; 12,91)	1,20	10,35	112,44 (99,25; 127,62)	10,60	9,43
		E2	7,39 (6,53; 8,20)	0,59	7,98	134,92 (125,41; 140,83)	6,30	4,67
		E3	13,59 (12,45; 14,73)	0,93	6,86	72,26 (66,95; 78,99)	4,99	6,90
	3	D1	14,07 (12,45; 15,79)	1,15	8,18	103,72 (99,26; 110,63)	4,65	4,49
		D3	6,99 (5,16; 8,05)	1,09	15,62	124,60 (115,35; 139,81)	10,14	8,14
		D4	8,02 (7,14; 9,11)	0,79	9,90	130,34 (125,46; 141,29)	6,57	5,04
	5	E1	11,64 (9,42; 12,91)	1,62	13,94	104,80 (96,81; 116,98)	7,18	6,85
		E3	6,49 (5,01; 8,66)	1,60	24,64	126,93 (119,24; 132,87)	5,67	4,47
		E4	4,37 (3,19; 5,32)	0,88	20,16	132,48 (124,09; 140,03)	7,83	5,91
<i>E. grandis</i>	1	D1	11,42 (9,87; 12,61)	0,94	8,26	101,02 (90,21; 117,05)	9,09	9,00
		D3	6,51 (5,47; 7,29)	0,70	10,79	152,18 (137,16; 165,72)	11,86	7,79
		D6	6,25 (5,92; 6,53)	0,22	3,58	137,92 (130,39; 146,87)	6,05	4,39
	2	E1	14,45 (12,30; 16,71)	1,74	12,03	87,69 (81,81; 94,01)	4,65	5,30
		E3	10,15 (9,26; 11,54)	0,80	7,88	107,50 (103,49; 111,21)	3,06	2,84
		E4	16,63 (15,34; 17,62)	0,77	4,61	110,60 (98,17; 120,42)	9,16	8,29
	5	D1	13,01 (10,48; 15,04)	1,70	13,08	102,78 (99,35; 109,88)	4,05	3,94
		D4	7,26 (6,23; 8,05)	0,70	9,57	140,92 (120,27; 153,82)	11,68	8,29
		D6	12,48 (10,18; 14,73)	1,85	14,85	150,58 (121,84; 178,90)	28,55	18,96

Para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, os valores do CV da frequência de vasos são significativamente maiores que os valores do CV dos diâmetros dos vasos, a um nível de significância de 5%, ou seja, as árvores dessa espécie apresentaram valores de frequência de vasos significativamente menos uniformes que os valores de diâmetro dos vasos. Para a espécie *E. grandis* não houve diferença estatística entre o CV da frequência de vasos e o CV do diâmetro dos vasos.

Comparando as duas espécies, os valores do CV da frequência de vasos não apresentaram diferença significativa a um nível de significância de 5%, o mesmo ocorrendo com os valores do diâmetro dos vasos. Conclui-se, portanto que, para as árvores estudadas, as duas espécies apresentaram a mesma uniformidade de dados para as duas propriedades citadas.

Com relação às características anatômicas estudadas, não houve diferença estatística (a um nível de significância de 5%) entre os valores de frequência de vasos aferidos nas três árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (C2E, C3D e C5E), assim como não houve diferença entre os valores de diâmetro dos vasos aferidos nas referidas árvores. As árvores C3D e C5E apresentaram diferença estatística significativa para os valores de porcentagem de vasos e área de vasos a um nível de significância de 5%.

Com relação às características anatômicas estudadas nas três árvores de *E. grandis* (G1D, G2E e G5D), houve diferença estatística a um nível de significância de 5% entre as árvores G1D e G2E e entre as árvores G1D e G5D para os valores de frequência de vasos e diâmetro dos vasos, área de vasos e porcentagem de vasos. As árvores G2E e G5D não apresentaram diferença estatística significativa para as quatro características anatômicas citadas.

As Figuras 24 e 25 ilustram a variação da frequência de vasos, diâmetro dos vasos e da densidade aparente média no sentido medula-casca para as três árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*, respectivamente.

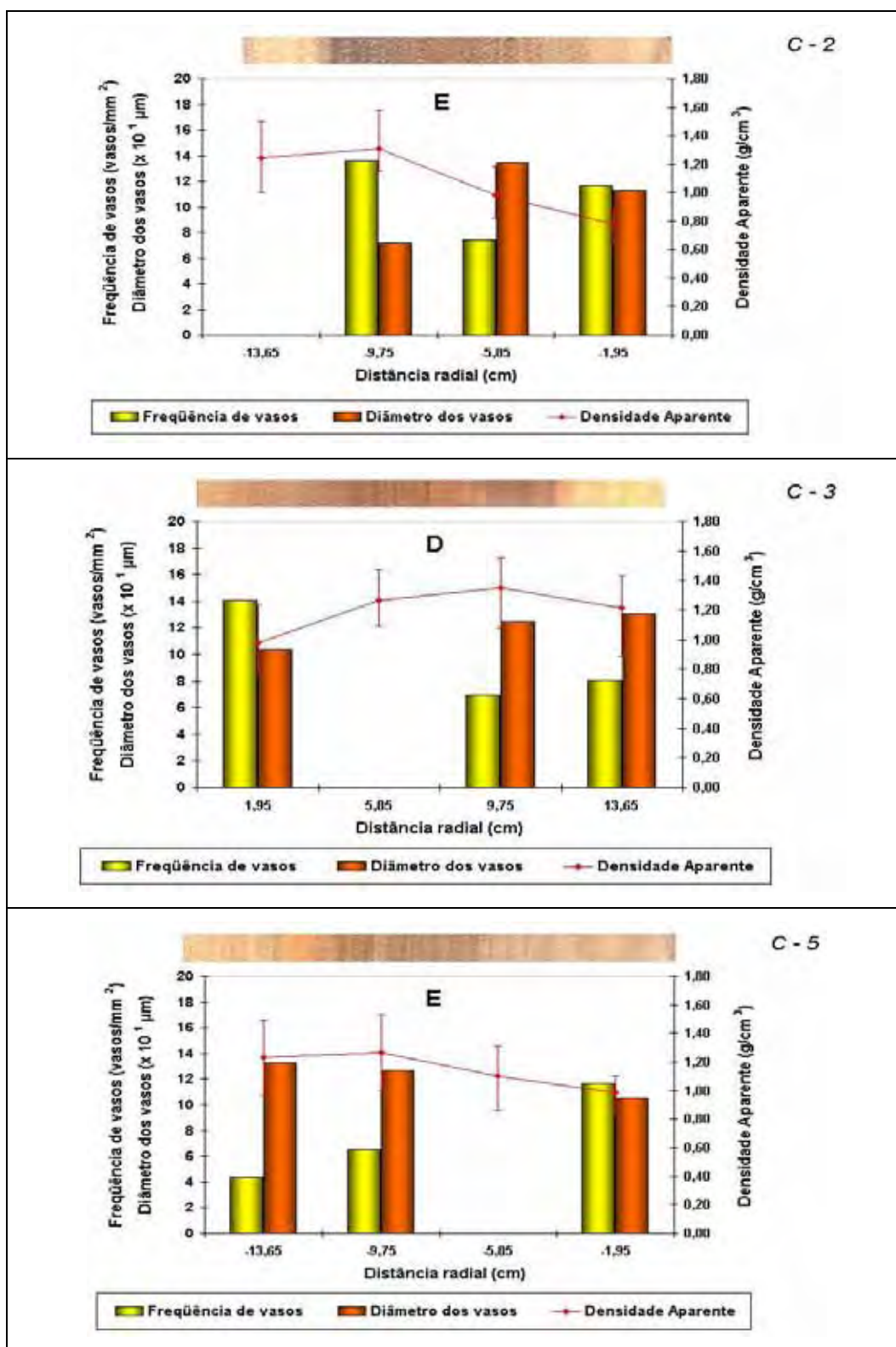


Figura 24 – Variação radial da densidade aparente média, frequência de vasos e diâmetro dos vasos das árvores C2, C3 e C5 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*.

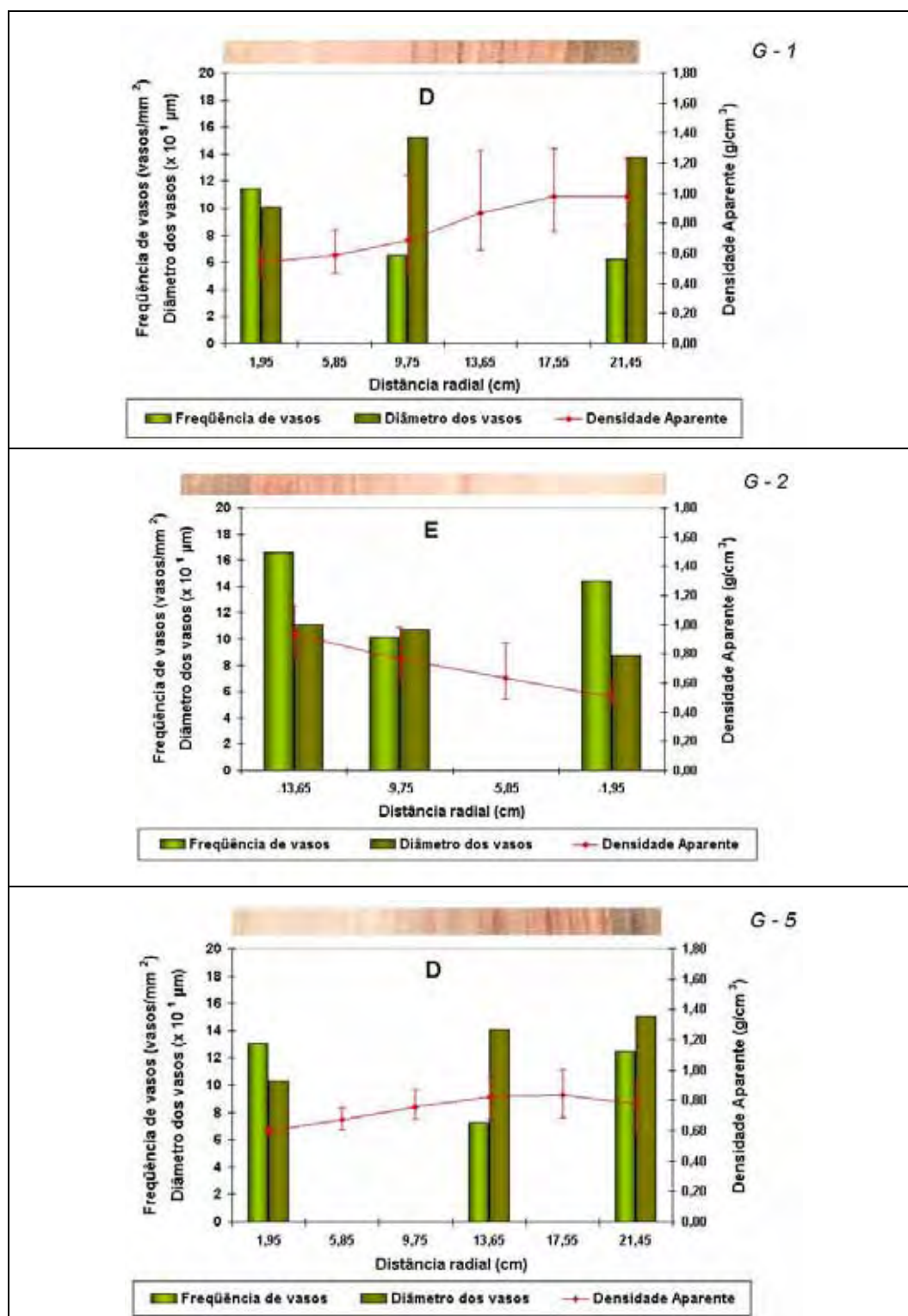


Figura 25 – Variação radial da densidade aparente média, frequência de vasos e diâmetro dos vasos das árvores G1, G2 e G5 de *E. grandis*.

Por meio dos gráficos nota-se que, para a árvore C2E a densidade aparente não tem, visualmente, relação bem definida com a frequência de vasos e diâmetro dos vasos. Em contrapartida, para as árvores C3D e C5E a variação da densidade aparente é diretamente proporcional à variação do diâmetro dos vasos e inversamente proporcional à variação da frequência de vasos. Como esperado, a variação da frequência de vasos e a variação do diâmetro dos vasos ocorrem, no geral, de forma inversa.

Para as três árvores estudadas da espécie *E. grandis*, a variação da densidade aparente acompanhou a variação do diâmetro dos vasos que, por sua vez, não esteve bem correlacionada à variação da frequência de vasos.

Concluindo, não pôde ser observado um padrão único de variação da frequência de vasos assim como não foi observado um padrão único de variação do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca para as duas espécies estudadas.

7.4.2 Avaliação das fibras

Das seis árvores selecionadas (três de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e três de *E. grandis*), foram obtidos valores médios, máximos e mínimos de fração parede e fração lume, bem como seus respectivos desvio-padrão e coeficiente de variação (Quadro 13).

Os dados apresentados no Quadro 13 evidenciam um aumento dos valores médios de fração parede no sentido medula-casca para todas as árvores estudadas de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. As árvores de *E. grandis* apresentaram padrões diferentes de variação dos valores médios de fração parede.

Para as duas espécies os coeficientes de variação foram bem baixos, atingindo no máximo 10%. Aplicando o teste “t de Student” chegou-se à conclusão de que os valores de CV da espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* são iguais aos valores de CV da espécie *E. grandis* a um nível de significância de 5%. Conclui-se, portanto, que, no que diz respeito à uniformidade de dados, os valores de fração parede das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* – o CV médio da espécie foi de 3,53% – não difere da dispersão dos valores de fração parede das árvores de *E. grandis* – o CV médio da espécie foi de 6,30%..

Quadro 13 – Valores de fração parede e fração lume, obtidos nas análises microscópicas do lenho.

Espécie	Árvore	Corpo-de-prova	Fibras					
			Fração Parede (%)			Fração Lume (%)		
			média (min.; max)	desvpad	CV(%)	média (min.; max)	desvpad	CV(%)
<i>Corymbia citriodora</i>	2	E1	69,23 (62,75; 78,92)	6,49	9,38	30,77 (21,08; 37,25)	6,49	21,10
		E2	81,27 (69,86; 88,84)	7,20	8,85	18,73 (10,16; 30,14)	7,20	38,43
		E3	94,72 (92,59; 96,78)	1,63	1,72	5,28 (3,22; 7,41)	1,63	30,84
	3	D1	78,38 (71,02; 82,85)	4,26	5,44	21,62 (17,15; 28,97)	4,26	19,71
		D3	95,68 (93,32; 96,84)	1,19	1,24	4,32 (3,16; 6,68)	1,19	27,51
		D4	97,10 (96,47; 97,40)	0,29	0,30	2,90 (2,6; 3,53)	0,29	9,95
	5	E1	80,58 (75,68; 84,74)	3,55	4,41	19,42 (15,26; 24,32)	3,55	18,31
		E3	93,78 (91,63; 95,29)	1,27	1,35	6,22 (4,71; 8,37)	1,27	20,41
		E4	96,22 (95,34; 96,80)	0,49	0,51	3,78 (3,20; 4,66)	0,49	13,09
<i>E. grandis</i>	1	D1	64,35 (54,56; 72,07)	6,83	10,61	35,65 (27,93; 45,44)	6,83	19,16
		D3	63,21 (56,76; 71,25)	6,10	9,66	36,79 (28,75; 43,24)	6,10	16,59
		D6	85,33 (75,92; 91,77)	5,28	6,19	14,67 (8,23; 24,08)	5,28	36,01
	2	E1	68,74 (65,25; 74,76)	3,30	4,79	31,26 (25,24; 34,75)	3,30	10,54
		E3	79,55 (75,73; 83,09)	2,89	3,63	20,45 (16,91; 24,27)	2,89	14,13
		E4	77,05 (61,80; 85,73)	7,81	10,14	22,95 (14,27; 38,20)	7,81	34,05
	5	D1	68,71 (65,82; 71,30)	2,24	3,26	31,29 (28,70; 34,18)	2,24	7,15
		D4	81,24 (74,60; 85,40)	3,59	4,42	18,76 (14,60; 25,40)	3,59	19,13
		D6	86,93 (81,99; 94,03)	3,51	4,04	13,07 (5,97; 18,01)	3,51	26,85

Com relação aos valores médios de fração lume, as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* apresentaram tendência unânime de diminuição no sentido medula-casca – padrão oposto ao observado nos resultados obtidos com a fração. Assim como observado com os valores de fração parede, os dados médios de fração lume para as árvores de *E. grandis* não apresentaram uma tendência uniforme de variação, e seus coeficientes de variação chegaram a um valor máximo de 36%. Aplicando o teste “t de Student” chegou-se à conclusão de que os valores de CV da espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* não diferem estatisticamente dos valores de CV da espécie *E. grandis* a um nível de significância de 5%. Conclui-se portanto que, no que diz respeito a uniformidade de dados, os valores de fração lume das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* – o CV médio da espécie foi de 22,15% – não diferem dos valores de fração lume das árvores de *E. grandis* – o CV médio da espécie foi de 20,40%.

Comparando-se os resultados observados entre árvores de mesma espécie, para as três árvores de *E. grandis* (G1D, G2E e G5D), houve diferença estatística a

um nível de significância de 5% entre as árvores G1D e G5D tanto para os valores de fração parede como para os valores de fração lume. Entre as árvores G1D e G2E, e entre as árvores G2E e G5D não houve diferença estatística significativa para as duas características anatômicas citadas. Para as três árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (C2E, C3D e C5E), houve diferença estatística a um nível de significância de 5% entre as árvores C2E e C5E tanto para os valores de fração parede como para os valores de fração lume. Entre as árvores C2E e C3D, e entre as árvores C3D e C5E não houve diferença estatística significativa para as duas características anatômicas citadas.

As Figuras 26 e 27 ilustram a variação da fração parede, fração lume e da densidade aparente média no sentido medula casca para as três árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis* respectivamente.

Por meio dos gráficos nota-se que, para as árvores C2E e C5E a variação da densidade aparente tem o mesmo padrão de variação da fração parede no sentido medula-casca e padrão inverso de variação da fração lume no mesmo sentido. Em contrapartida, para a árvore C3D não foi observado um padrão de comparação entre a variação da densidade aparente no sentido medula-casca e as variações de fração parede e fração lume no mesmo sentido. Como esperado, a variação da fração parede e a variação da fração lume ocorrem de forma inversa.

Para as três árvores estudadas da espécie *E. grandis*, a variação da densidade aparente acompanhou a variação do diâmetro dos vasos que, por sua vez, não foi direta nem inversamente proporcional à variação da frequência de vasos.

Concluindo, não foi observado um padrão de variação da fração parede e fração lume no sentido medula-casca para as duas espécies estudadas, mas a variação da fração parede se dá sempre de maneira inversa à variação da fração lume.

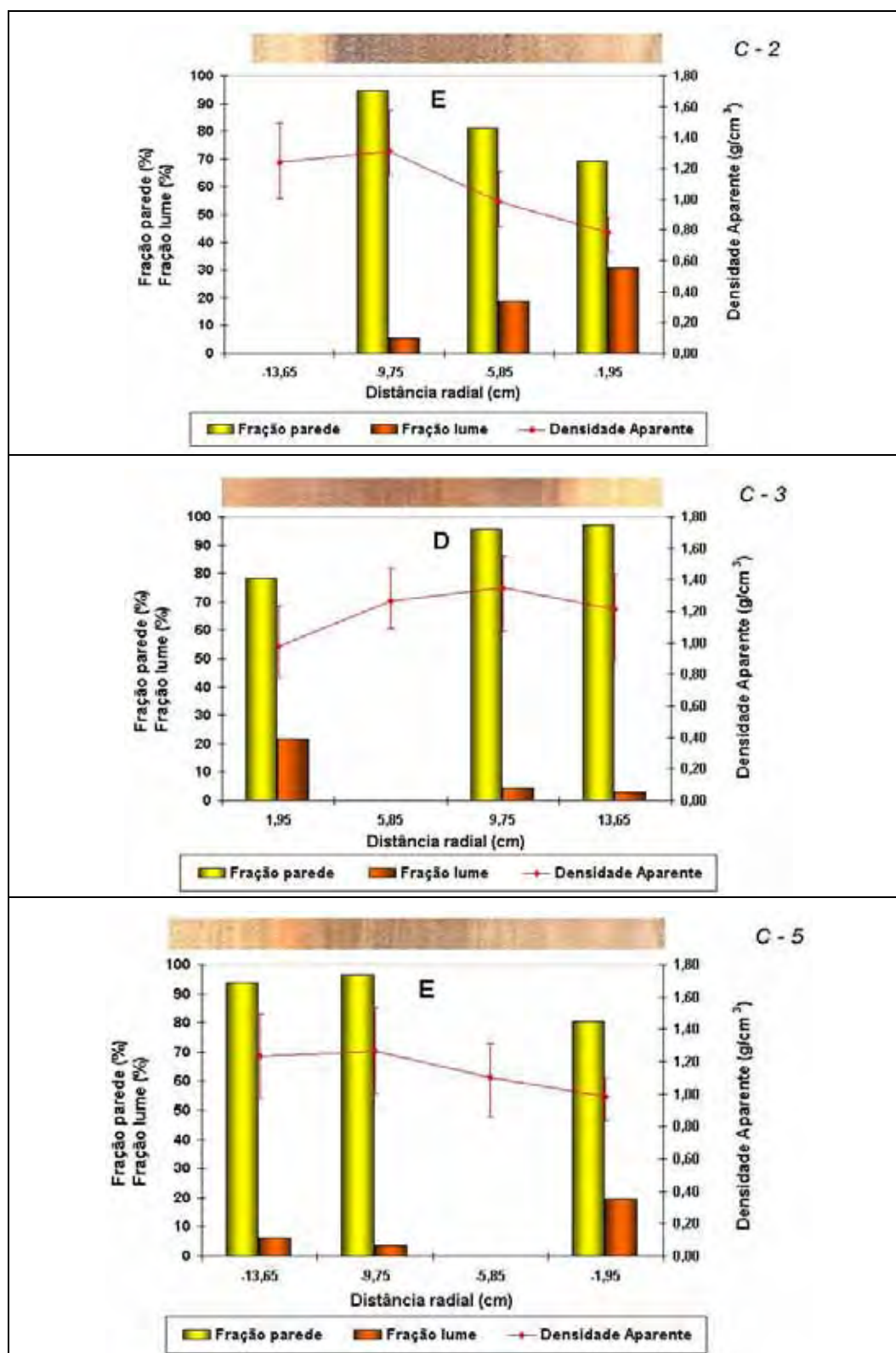


Figura 26 – Variação radial da densidade aparente média, fração parede e fração lume das árvores C2, C3 e C5 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*.

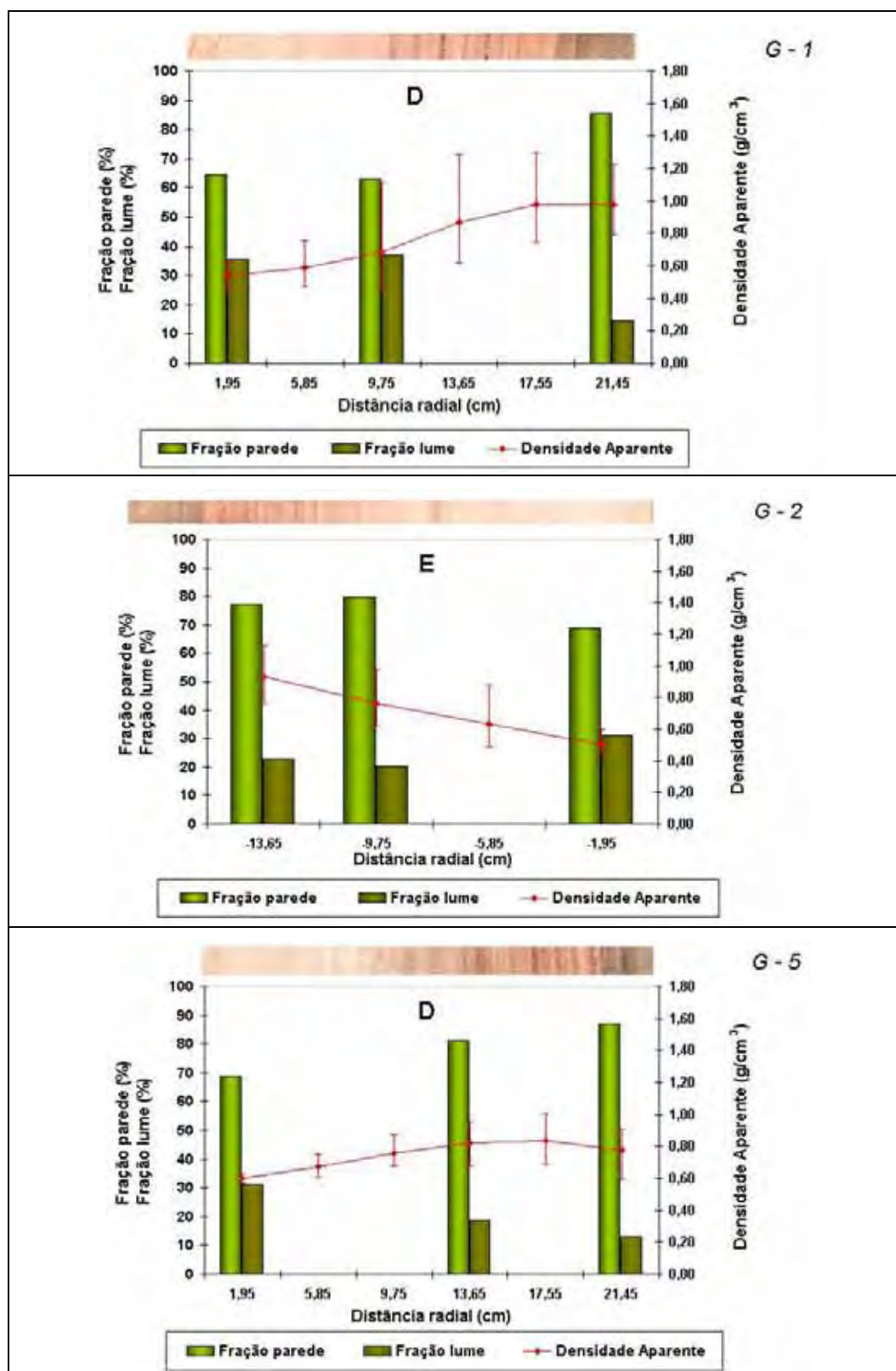


Figura 27 – Variação radial da densidade aparente média, fração parede e fração lume das árvores G1, G2 e G5 de *E. grandis*.

7.4.3 Associações entre as características anatômicas

Foram feitas associações entre todas as características anatômicas estudadas, para cada espécie separadamente. Os resultados mostraram que para espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* a variável fração parede teve uma boa correlação – e significativa a um nível de 5% – com as variáveis área de vasos ($r = -0,701$) e porcentagem de vasos ($r = -0,708$) e a variável diâmetro dos vasos teve uma boa correlação – e significativa a um nível de 5% – com a variável frequência de vasos ($r = -0,844$). Já para a espécie *E. grandis*, assim como atestado por Silva (2002), as correlações entre as características anatômicas foram baixas – apesar de serem muitas vezes significativas a um nível de 5% – com exceção da correlação entre as variáveis área de vasos e porcentagem de vasos, como esperado ($r = 1$) (Quadro 14).

Quadro 14 – Resultados da correlação linear de Pearson entre as características anatômicas para as espécies *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Variável	Resultado do teste	Variável				
			freq. vasos	área vasos	% vasos	diam. vasos	fração par.
<i>Corymbia citriodora</i>	freq. vasos	r	1,000	.	.	.	.
		p-valor	0,000	.	.	.	.
	área vasos	r	0,324	1,000	.	.	.
		p-valor	0,395	0,000	.	.	.
	% vasos	r	0,324	1,000	1,000	.	.
		p-valor	0,396	0,000	0,000	.	.
	diam. vasos	r	-0,844	0,228	0,229	1,000	.
		p-valor	0,004	0,555	0,554	0,000	.
	fração par.	r	-0,538	-0,701	-0,708	0,147	1,000
		p-valor	0,135	0,035	0,033	0,705	0,0000
<i>Eucalyptus grandis</i>	freq. vasos	r	1,000	.	.	.	.
		p-valor	0,000	.	.	.	.
	área vasos	r	-0,602	1,000	.	.	.
		p-valor	0,086	0,000	.	.	.
	% vasos	r	-0,600	1,000	1,000	.	.
		p-valor	0,088	0,000	0,000	.	.
	diam. vasos	r	-0,647	0,679	0,682	1,000	.
		p-valor	0,059	0,044	0,043	0,0000	.
	fração par.	r	-0,125	-0,023	-0,032	0,426	1,000
		p-valor	0,749	0,953	0,934	0,253	0,0000

7.4.4 Efeitos dos fatores sobre as características anatômicas

Como descrito na metodologia, foi feita uma análise de variância com modelo hierárquico para verificar o efeito de três fatores – espécie, lado e característica (cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta) – sobre as características anatômicas da madeira – aqui designadas por variáveis –. Os resultados apontaram que o modelo só foi significativo para a variável fração parede com p-valor = 0,0043, ou seja, o modelo adotado não acusou efeito de espécie, nem de lado (dentro de espécie) nem de característica (dentro de lado, dentro de espécie) para as variáveis frequência de vasos, área de vasos, diâmetro dos vasos e porcentagem de vasos. Os resultados apresentados no Quadro 15 ilustram que não houve efeito de qualquer um dos três fatores sobre as variáveis citadas. Em contrapartida houve efeito dos fatores espécie e característica (dentro de lado, dentro de espécie) sobre a variável fração parede.

Quadro 15 – Resultados obtidos na análise de variância com as variáveis “características anatômicas”.

Variável	fator	GL	soma dos quadrados	quadrado médio	F	p-valor
frequência de vasos	espécie	1	8,955	8,955	0,65	0,4653
	lado (espécie)	2	38,947	19,474	1,41	0,3433
	caract.(lado*espécie)	6	48,363	8,060	0,59	0,7347
área de vasos	espécie	1	0,000	0,000	0,00	0,9543
	lado (espécie)	2	0,057	0,029	4,91	0,0837
	caract.(lado*espécie)	6	0,090	0,015	2,57	0,1902
diâmetro dos vasos	espécie	1	109,800	109,800	0,22	0,6665
	lado (espécie)	2	1453,034	726,517	1,43	0,3406
	caract.(lado*espécie)	6	1670,260	278,377	0,55	0,7577
porcentagem de vasos	espécie	1	0,002	0,002	0,00	0,9744
	lado (espécie)	2	12,931	6,466	4,70	0,0891
	caract.(lado*espécie)	6	21,302	3,550	2,58	0,1890
fração parede	espécie	1	415,188	415,188	59,10	0,0015
	lado (espécie)	2	38,896	19,448	2,77	0,1759
	caract.(lado*espécie)	6	904,113	150,686	21,45	0,0052

Diante desses resultados foi feito um teste de comparação de médias (teste de Tukey) a um nível de significância de 5% para verificar os efeitos de forma mais específica. Os resultados foram apresentados nos Quadros 16 e 17. Os valores de p-Tukey foram apresentados no Anexo B.

Quadro 16 – Valores médios das características anatômicas e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito da espécie.

espécie	Variável				
	freqüência de vasos (vasos/mm ²)	área de vasos (mm ²)	diâmetro dos vasos (µm)	porcentagem de vasos (%)	fração parede (%)
	média	média	média	média	média
<i>C. citriodora</i>	10,00 a ¹	0,63 a	113,24 a	9,54 a	88,24 a
<i>E. grandis</i>	11,84 a	0,63 a	118,69 a	9,49 a	76,74 b

¹ Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem a um nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

Como já era esperado, não houve diferença de médias entre espécies, para as variáveis freqüência de vasos, área de vasos, diâmetro dos vasos e porcentagem de vasos e houve diferença de médias entre espécies para a variável fração parede.

O Quadro 17 ilustra que para as duas espécies não houve diferença estatística entre cerne e alburno e entre madeira juvenil e madeira adulta para as variáveis freqüência de vasos, área de vasos, diâmetro dos vasos e porcentagem de vasos. Para a variável fração parede existe diferença estatística entre alburno de madeira adulta e cerne de madeira juvenil e existe diferença estatística entre cerne de madeira adulta e cerne de madeira juvenil (para as duas espécies). Este último comprova que o efeito se deve principalmente às diferenças entre madeira juvenil e madeira adulta e não entre cerne e alburno. Pode-se observar que não existe diferença estatística entre alburno de madeira adulta e cerne de madeira adulta.

Destaca-se, ainda, que o fato de não existir diferença significativa entre madeira juvenil e madeira adulta ou entre madeira de cerne e madeira de alburno para as variáveis freqüência de vasos, área de vasos, diâmetro dos vasos e porcentagem de vasos, não significa que não exista diferença estatística no sentido medula-casca. Assim como atestado por Silva (2002), as características anatômicas apresentaram diferença estatística a um nível de significância de 5% (teste de Tukey) no sentido medula-casca, mas os resultados não foram explorados por não se tratar de uma proposta do presente estudo.

Quadro 17 – Resultados obtidos no teste de comparação de médias – Tukey – avaliando o efeito de cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta sobre as características anatômicas, dentro de cada lado (direito (D) e esquerdo (E)) e dentro de cada espécie (*Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (C) e *E. grandis* (G)).

espécie	lado	características comparadas	Variável									
			frequência de vasos (vasos/mm ²)		área de vasos (mm ²)		diâmetro dos vasos (µm)		porcentagem de vasos (%)		fração parede (%)	
			média	desvpad	média	desvpad	média	desvpad	média	desvpad	média	desvpad
C	D	AIAd	8,02 a ¹	.	0,710 a	.	130,34 a	.	10,77 a	.	97,10 a	.
		CeAd	6,99 a	.	0,560 a	.	124,60 a	.	8,43 a	.	95,68 a	.
		CeJu	14,07 a	.	0,787 a	.	103,72 a	.	11,95 a	.	78,38 b	.
G	E	CeAd	10,04 A ²	5,02	0,455 A	0,12	99,60 A	38,66	6,88 A	1,85	94,25 A	0,67
		CeJu	10,57 A	1,51	0,692 A	0,05	114,24 A	13,35	10,51 A	0,80	77,92 B	3,77
		AIAd	9,37 a	4,41	0,675 a	0,08	144,25 a	8,95	10,19 a	1,18	86,13 a	1,13
G	D	CeAd	7,27 a	.	0,745 a	.	140,92 a	.	11,31 a	.	81,24 a	.
		CeJu	10,99 a	2,86	0,698 a	0,01	114,69 a	16,84	10,60 a	0,19	66,24 b	3,49
		CeJu	12,30 A	.	0,590 A	.	97,60 A	.	8,95 A	.	74,15 A	.
	E	CeAd	16,63 A	.	0,500 A	.	110,60 A	.	7,63 A	.	77,05 A	.

¹ Letras minúsculas comparam características dentro do lado direito de cada espécie.

Numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem a um nível de significância de 5% (p-valor >0,05).

² Letras maiúsculas comparam características dentro do lado esquerdo de cada espécie.

Por fim, reitera-se que, para todas as propriedades físicas e características anatômicas estudadas no presente trabalho, verificaram-se diferenças estatísticas em função da distância radial (sentido medula-casca), mas foram exploradas apenas as análises de tendência de variação (por meio de gráficos) individual e combinada entre as mesmas.

7.5 Propriedades físicas da madeira das árvores de *Corymbia* (*Eucalyptus*) *citriodora* e *E. grandis*

7.5.1 Densidade básica e densidade aparente do corpo-de-prova

A densidade básica média dos corpos-de-prova das seis árvores estudadas de *Corymbia* (*Eucalyptus*) *citriodora* foi de $0,80 \text{ g/cm}^3$ tendo apresentado valor mínimo de $0,58 \text{ g/cm}^3$ e valor máximo de $0,96 \text{ g/cm}^3$. As densidades aparentes médias, saturada e a 12% de umidade para a mesma espécie, foram respectivamente de $1,25 \text{ g/cm}^3$ (sendo o valor mínimo $1,19 \text{ g/cm}^3$ e o valor máximo $1,29 \text{ g/cm}^3$) e $0,95 \text{ g/cm}^3$ (sendo o valor mínimo $0,70 \text{ g/cm}^3$ e o valor máximo $1,12 \text{ g/cm}^3$).

Para as seis árvores de *E. grandis*, a densidade básica média dos corpos-de-prova foi de $0,58 \text{ g/cm}^3$ sendo o menor valor aferido $0,40 \text{ g/cm}^3$ e o maior valor $0,77 \text{ g/cm}^3$. As densidades aparentes médias, saturada e a 12% de umidade para a mesma espécie, foram respectivamente de $1,16 \text{ g/cm}^3$ (sendo o valor mínimo $0,99 \text{ g/cm}^3$ e o valor máximo $1,24 \text{ g/cm}^3$) e $0,72 \text{ g/cm}^3$ (sendo o valor mínimo $0,49 \text{ g/cm}^3$ e o valor máximo $0,93 \text{ g/cm}^3$). Todos os resultados de densidade observados neste estudo para as árvores de *E. grandis* – 28 anos – foram maiores do que os valores atestados por Silva (2002) – árvores com 25 anos –, fato que se deve, provavelmente, à diferença de localização geográfica, manejo e idade das árvores.

7.5.2 Retratabilidades

Os valores de retratibilidade tangencial da madeira para as duas espécies estudadas foram maiores do que aqueles verificados para retratibilidade radial, assim como atestado por Silva (2002) (Quadros 18 e 19).

Quadro 18 – Valores de retratibilidade linear e volumétrica para os corpos-de-prova de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*.

Espécie	Árvore	Retratibilidade (%)	Corpos-de-prova (Raio D)					Corpos-de-prova (Raio E)			
			D1	D1	D3	D4	D5	E1	E2	E3	E4
Corymbia citriodora	Radial	1	5,0	6,7	.	6,5	.	3,8	5,2	7,0	6,5
		2	5,9	8,2	8,3	8,6	8,4	6,8	7,4	7,8	.
		3	9,7	7,0	7,2	6,3	.	7,6	7,3	7,1	.
		4	8,3	6,4	7,0	7,2	8,3	4,9	6,9	7,5	7,4
		5	4,5	6,4	6,4	7,0	.	3,9	5,8	6,5	7,8
		6	3,3	5,1	5,9	6,9	.	6,2	5,6	6,1	.
	Tangencial	1	12,3	13,6	.	13,3	.	13,6	13,2	12,4	11,7
		2	13,5	15,2	16,5	13,5	12,2	8,7	12,0	12,6	.
		3	8,0	10,7	11,4	9,4	.	7,8	10,0	9,9	.
		4	11,4	13,2	12,5	11,9	10,9	11,1	13,4	13,6	12,4
		5	9,3	10,1	8,3	7,9	.	9,6	10,3	7,9	6,6
		6	11,9	11,7	12,4	10,8	.	9,7	11,0	9,1	.
	Longitudinal	1	0,2	0,4	.	0,2	.	0,1	0,0	0,1	0,1
		2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	.
		3	0,0	0,1	0,1	0,1	.	0,0	0,1	0,1	.
		4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
		5	0,0	0,0	0,1	0,0	.	0,0	0,0	0,0	0,0
		6	0,1	0,2	0,1	0,1	.	0,0	0,2	0,2	.
Volumétrica	1	16,8	19,7	.	19,1	.	17,0	17,8	18,6	17,5	
	2	18,7	22,2	23,7	21,1	19,7	15,1	18,6	19,4	.	
	3	16,9	16,9	17,9	15,2	.	14,9	16,6	16,4	.	
	4	18,8	18,8	18,6	18,2	18,3	15,5	19,5	20,2	19,1	
	5	13,3	15,8	14,3	14,4	.	13,1	15,5	13,8	13,8	
	6	14,9	16,3	17,7	17,1	.	15,3	16,1	14,8	.	

Quadro 19 – Valores de retratibilidade linear e volumétrica para os corpos-de-prova de *E. grandis*.

Espécie	Árvore	Retratibilidade (%)	Corpos-de-prova (Raio D)						Corpos-de-prova (Raio E)				
			D1	D1	D3	D4	D5	D6	E1	E2	E3	E4	E5
E. grandis	Radial	1	.	4,8	4,7	6,0	5,0	.	.	4,5	6,1	7,1	.
		2	3,8	6,0	5,6	6,1	5,3	5,0	7,4	6,2	6,3	6,0	.
		3	.	4,4	5,7	7,5	6,7	.	.	4,5	6,7	6,5	.
		4	8,0	9,1	9,2	6,9	6,0	.	7,0	8,1	7,3	.	.
		5	.	5,7	6,3	7,1	6,8	6,0	.	7,6	6,7	7,0	7,1
		6	3,9	5,5	4,6	6,1	7,2	5,2	.	4,8	4,6	6,7	6,8
	Tangencial	1	.	9,9	10,9	11,1	7,9	.	.	10,5	12,8	13,0	.
		2	11,0	14,6	14,0	14,7	12,8	11,6	7,9	16,4	13,9	10,6	.
		3	.	10,4	13,6	13,7	13,1	.	.	11,3	14,0	13,1	.
		4	4,8	12,6	13,1	13,4	14,0	.	9,6	14,3	11,7	.	.
		5	.	14,2	16,2	15,9	15,0	11,7	.	14,6	14,2	15,5	14,5
		6	9,6	13,2	11,2	12,6	12,3	8,5	.	10,8	11,9	13,0	12,5
	Longitudinal	1	.	0,1	0,2	0,1	0,1	.	.	0,3	0,2	0,3	.
		2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,3	0,1	0,3	.
		3	.	0,3	0,2	0,3	0,2	.	.	0,3	0,3	0,1	.
		4	0,3	0,5	0,6	0,4	0,3	.	0,1	0,2	0,1	.	.
		5	.	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	.	0,3	0,3	0,7	0,6
		6	0,3	0,2	0,3	0,6	0,5	3,2	.	0,2	0,1	0,2	0,4
Volumétrica	1	.	14,3	15,2	16,5	12,6	.	.	14,7	18,3	19,4	.	
	2	14,5	19,9	19,1	20,0	17,6	16,1	14,7	21,8	19,4	16,3	.	
	3	.	14,6	18,6	20,4	19,1	.	.	15,6	20,0	18,8	.	
	4	12,8	20,9	21,6	19,7	19,4	.	16,0	21,4	18,2	.	.	
	5	.	19,2	21,6	22,1	21,0	17,2	.	21,3	20,2	22,0	21,0	
	6	13,4	18,2	15,5	18,5	19,0	15,9	.	15,3	16,1	18,9	18,7	

Os gráficos apresentando as variações da retratibilidade volumétrica no sentido medula-casca foram apresentados no Anexo C.

Nota-se claramente que, de forma geral, os valores de retratibilidade aumentaram na região de madeira juvenil (da medula até aproximadamente a metade do raio), tendendo a uma leve diminuição na região de madeira adulta (da metade do raio até a casca) (ver Quadro 9 – demarcação das regiões de madeira juvenil e madeira adulta).

As Figuras 28 e 29 apresentam as variações da retratibilidade radial no sentido medula-casca e as Figuras 30 e 31 apresentam as variações da retratibilidade tangencial, no mesmo sentido, respectivamente para as seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e para as seis árvores de *E. grandis*. Os dados foram construídos considerando-se os dois raios em relação à medula: direito e esquerdo. As linhas tracejadas que podem ser observadas nos segmentos de reta traçados em algumas árvores apontam ausência de corpo-de-prova naquele intervalo.

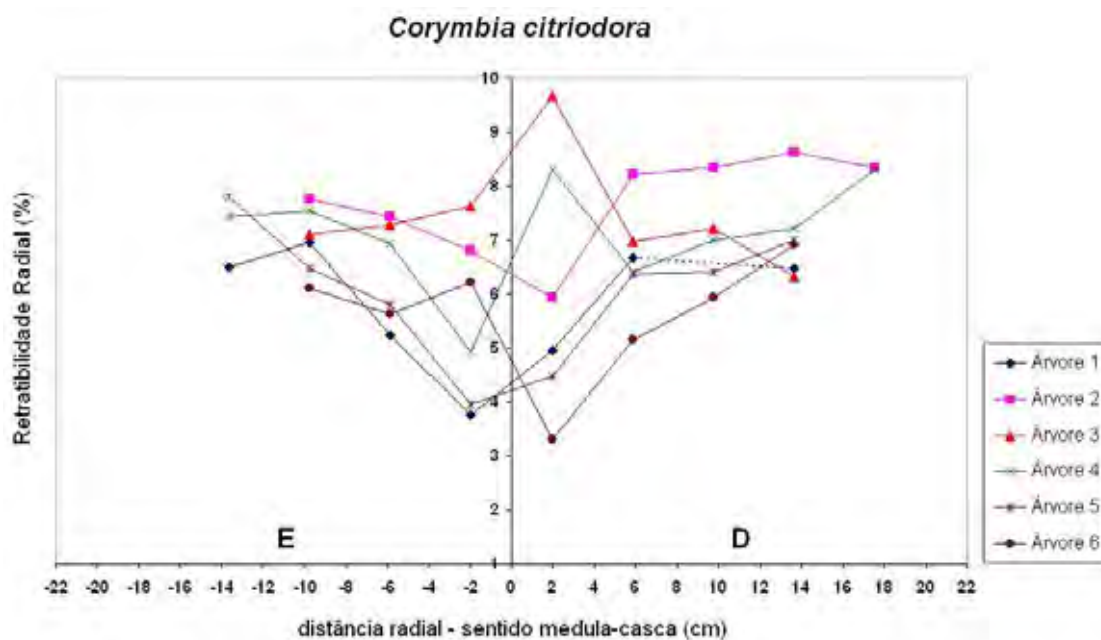


Figura 28 – Variações da retratibilidade radial das seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.

A Figura 28 evidencia uma variação mais acentuada da retratibilidade radial da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* até a posição 58,50 mm (madeira juvenil), apresentando variações mais leves a partir desse ponto (madeira adulta). Nota-se

ainda que a retratibilidade radial aumentou no sentido medula-casca, fato verificado também por Oliveira e Silva (2003) com árvores de *E. saligna*.

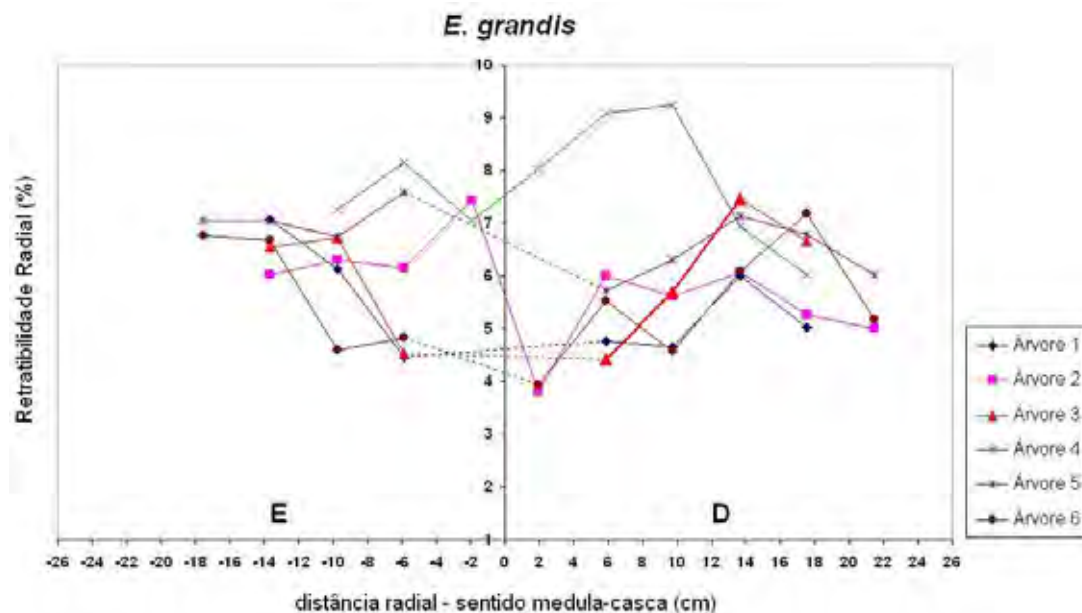


Figura 29 – Variações da retratibilidade radial das seis árvores de *E. grandis* no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.

Assim como ocorreu com a densidade aparente, a variação da retratibilidade radial para as seis árvores de *E. grandis* apresentou-se pouco uniforme como se pôde observar na Figura 29. A variação da retratibilidade radial teve uma tendência de aumento no sentido medula-casca, tendo sido observado, na maior parte das árvores, um aumento até aproximadamente metade do raio (madeira juvenil) seguido de uma diminuição até a casca (madeira adulta), porém com valores maiores do que aqueles apresentados nas proximidades da medula.

Observa-se mais uma vez, pelas Figuras 30 e 31, que as tendências de variação das retratibilidades radial e tangencial são as mesmas para cada árvore, nas duas espécies estudadas, com valores de retratibilidade tangencial em torno de 70% maiores que os valores de retratibilidade radial para *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. Já para a espécie *E. grandis* os valores de retratibilidade tangencial são praticamente o dobro dos valores de retratibilidade radial.

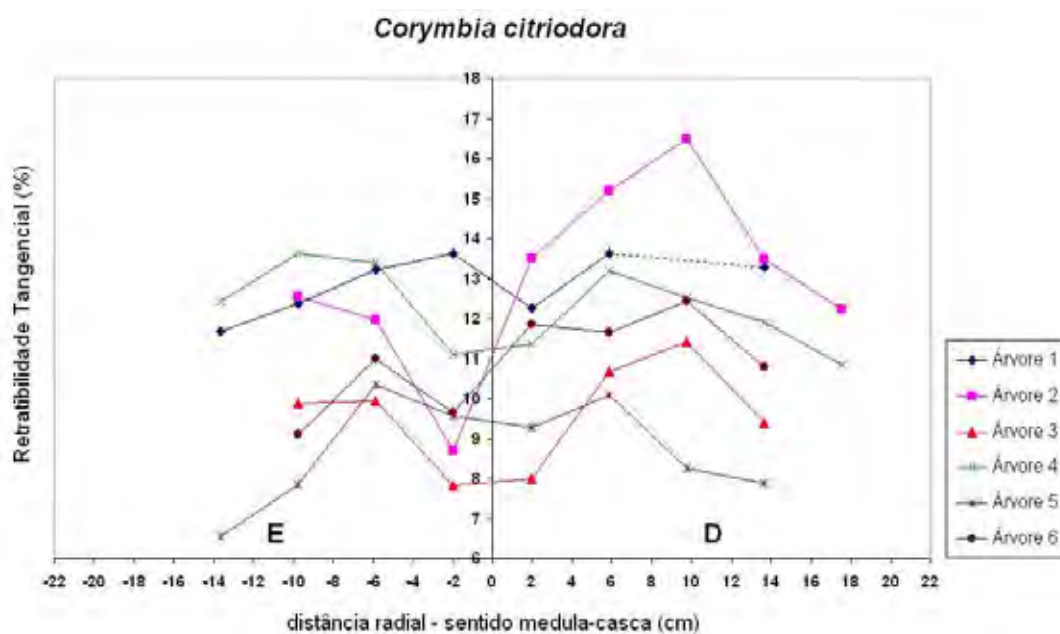


Figura 30 – Variações da retratibilidade tangencial das seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.

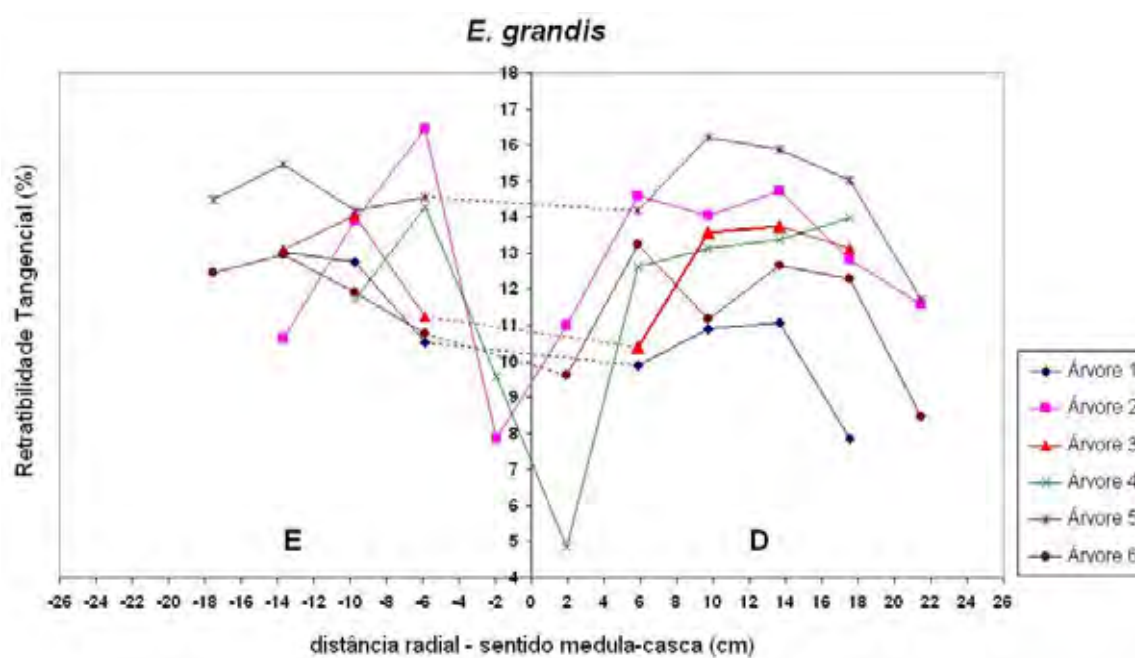


Figura 31 – Variações da retratibilidade tangencial das seis árvores de *E. grandis* no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.

7.5.3 Associações entre as propriedades físicas

Foram feitas associações entre todas as propriedades físicas estudadas e os resultados obtidos foram apresentados nos Quadros 20 e 21, respectivamente para as espécies *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*. Destaca-se ainda que foram respeitadas as abreviaturas das propriedades físicas, apresentadas no item 6.7.3.

O Quadro 20 mostra que para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* ocorreram correlações fortes (acima de 85%) e significativas a um nível de significância de 5% ($p\text{-valor} < 0,001$) entre a densidade básica do corpo-de-prova (d_{b_cp}) e as densidades aparentes do corpo-de-prova saturado e a 12% de umidade – d_{ap_sat} e d_{ap_cp} , respectivamente – entre a densidade aparente aferida na região de dureza (d_{ap_dureza}) e a densidade aparente (d_{ap_rX}) – ambas determinadas por densitometria de raios X – e finalmente entre as densidades aparentes do corpo-de-prova nas condições saturada e a 12% de umidade. Houve também, forte correlação entre as retratibilidades tangencial e volumétrica.

Não foram verificadas boas correlações entre as densidades aparentes do corpo-de-prova (condição saturada e a 12% de umidade) e as densidades aparentes aferidas por densitometria de raios X, talvez pelo fato de as primeiras serem resultados médios do corpo-de-prova e as últimas serem pontuais – média de valores que refletem todas as ocorrências anatômicas da madeira na lâmina analisada. Além disso, a lâmina utilizada para densitometria tinha 2 mm de altura e o corpo-de-prova, na mesma direção, tinha 75 mm. Verificou-se também, pelo teste de comparação de médias, que houve diferença estatística a um nível de significância de 5% entre a densidade aparente do corpo-de-prova a 12% de umidade e a densidade aparente aferida por densitometria de raios X e, não houve diferença estatística entre as densidades aparentes aferidas por raios X (d_{ap_rX} e d_{ap_dureza}). E, finalizando a análise para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, não foram verificadas boas correlações entre densidade e retratibilidade.

Quadro 20 – Resultados das correlações entre as propriedades físicas das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*.

Variável	Resultado do		Variáveis								
	Teste		d_b_cp	d_ap_sat	d_ap_rX	d_ap_dureza	d_ap_cp	ε _{r,r}	ε _{r,t}	ε _{r,l}	ε _{r,v}
d_ap_sat	r		0,953	1,000	.	.	.	.	.	.	.
	p-valor		0,000	0,000	.	.	.	.	.	.	.
d_ap_rX	r		0,608	0,571	1,000	.	.	.	.	.	.
	p-valor		0,000	0,000	0,000	.	.	.	.	.	.
d_ap_dureza	r		0,484	0,447	0,993	1,000	.	.	.	.	.
	p-valor		0,003	0,006	0,000	0,000	.	.	.	.	.
d_ap_cp	r		0,954	0,917	0,585	0,485	1,000	.	.	.	.
	p-valor		0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	.	.	.	.
ε _{r,r}	r		0,470	0,527	0,268	0,203	0,529	1,000	.	.	.
	p-valor		0,004	0,001	0,072	0,177	0,001	0,000	.	.	.
ε _{r,t}	r		-0,312	-0,133	0,019	0,112	-0,192	0,021	1,000	.	.
	p-valor		0,064	0,439	0,901	0,460	0,262	0,889	0,000	.	.
ε _{r,l}	r		-0,136	-0,117	-0,184	-0,100	-0,068	0,061	0,457	1,000	.
	p-valor		0,427	0,498	0,221	0,508	0,692	0,688	0,001	0,000	.
ε _{r,v}	r		-0,051	0,131	0,144	0,192	0,084	0,520	0,865	0,445	1,000
	p-valor		0,766	0,446	0,341	0,202	0,627	0,000	0,000	0,002	0,000

Quadro 21 – Resultados das correlações entre as propriedades físicas das árvores de *E. grandis*.

Variável	Variáveis									
	Resultado do	Teste								
		d_b_cp	d_ap_sat	d_ap_rX	d_ap_dureza	d_ap_cp	$\epsilon_{r,r}$	$\epsilon_{r,t}$	$\epsilon_{r,l}$	$\epsilon_{r,v}$
d_ap_sat	r	0,837	1,000	.	.	.	.	.	.	.
	p-valor	0,000	0,000	.	.	.	.	.	.	.
d_ap_rX	r	0,778	0,612	1,000	.	.	.	.	.	.
	p-valor	0,000	0,000	0,000	.	.	.	.	.	.
d_ap_dureza	r	0,728	0,569	0,940	1,000	.	.	.	.	.
	p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	.	.	.	.	.
d_ap_cp	r	0,966	0,827	0,783	0,725	1,000	.	.	.	.
	p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	.	.	.	.
$\epsilon_{r,r}$	r	0,029	0,306	0,082	0,104	0,278	1,000	.	.	.
	p-valor	0,046	0,034	0,569	0,468	0,061	0,000	.	.	.
$\epsilon_{r,t}$	r	0,139	0,333	0,141	0,099	0,094	0,269	1,000	.	.
	p-valor	0,346	0,021	0,323	0,489	0,536	0,056	0,000	.	.
$\epsilon_{r,l}$	r	0,253	0,276	0,238	0,181	0,245	0,024	-0,157	1,000	.
	p-valor	0,083	0,058	0,093	0,203	0,101	0,867	0,272	0,000	.
$\epsilon_{r,v}$	r	0,266	0,442	0,180	0,147	0,224	0,634	0,904	0,021	1,000
	p-valor	0,067	0,002	0,206	0,303	0,135	0,000	0,000	0,285	0,000

O Quadro 21 evidencia que, para a espécie *E. grandis*, apenas ocorreram boas correlações entre a densidade aparente do corpo-de-prova a 12% de umidade (d_{ap_cp}) e as densidades aparente saturada (d_{ap_sat}) e básica do corpo-de-prova (d_{b_cp}). Verificou-se também alta correlação entre a densidade aparente aferida na região de dureza (d_{ap_dureza}) e a densidade aparente (d_{ap_rX}) – ambas determinadas por densitometria de raios X. As correlações entre as retratibilidades foram baixas, assim como atestado por Silva (2002).

Aplicando-se o teste de comparação de médias, verificou-se que não houve diferença estatística a um nível de significância de 5% entre a densidade aparente do corpo-de-prova a 12% de umidade e a densidade aparente aferida por densitometria de raios X, como também, não houve diferença estatística entre as densidades aparentes aferidas por raios X (d_{ap_rX} e d_{ap_dureza}).

7.5.4 Efeitos dos fatores sobre as propriedades físicas

Com a análise de variância – modelo hierárquico –, os resultados apontaram que o modelo foi significativo a um nível de significância de 5% para os dados de densidade – tanto a densidade básica como todas as densidades aparentes estudadas – e para os dados de retratibilidade longitudinal, ou seja, o modelo acusou efeito de um ou mais fatores sobre as variáveis citadas. Em contrapartida, o modelo não foi significativo a um nível de significância de 5% para os valores das retratibilidades radial, tangencial e volumétrica, ou seja, o modelo adotado não acusou efeito de espécie, nem de lado (dentro de espécie) nem de característica (dentro de lado, dentro de espécie) para as variáveis retratibilidade radial, tangencial e volumétrica (Anexo D).

Quadro 22 – Resultados obtidos na análise de variância com as variáveis “propriedades físicas”.

Variável	Fatores	GL	soma dos quadrados	quadrado médio	F	p-valor
dens. bas. do corpo-de-prova	espécie	1	0,642	0,642	141,12	< 0,0001
	lado (espécie)	2	0,001	0,001	0,13	0,8772
	caract.(lado*espécie)	8	0,374	0,047	10,27	< 0,0001
dens. ap. do corpo-de-prova - sat.	espécie	1	0,089	0,089	71,59	< 0,0001
	lado (espécie)	2	0,001	0,001	0,54	0,5837
	caract.(lado*espécie)	8	0,061	0,008	6,10	< 0,0001
dens. ap. do corpo-de-prova - 12%	espécie	1	0,636	0,636	122,37	< 0,0001
	lado (espécie)	2	0,002	0,001	0,15	0,8595
	caract.(lado*espécie)	8	0,534	0,067	12,85	< 0,0001
dens. ap. rX - 12%	espécie	1	2,056	2,056	224,40	< 0,0001
	lado (espécie)	2	0,026	0,013	1,44	0,2466
	caract.(lado*espécie)	8	0,549	0,069	7,49	< 0,0001
dens. ap. rX - 12% - reg. dureza	espécie	1	1,914	1,914	146,57	< 0,0001
	lado (espécie)	2	0,018	0,009	0,69	0,5063
	caract.(lado*espécie)	8	0,697	0,087	6,67	< 0,0001
retratibilidade radial	espécie	1	2,348	2,348	2,14	0,1506
	lado (espécie)	2	1,535	0,767	0,70	0,5028
	caract.(lado*espécie)	8	8,074	1,009	0,92	0,5104
retratibilidade tangencial	espécie	1	33,539	33,539	8,73	0,0049
	lado (espécie)	2	4,764	2,382	0,62	0,5422
	caract.(lado*espécie)	8	22,563	2,820	0,73	0,6606
retratibilidade longitudinal	espécie	1	1,447	1,447	10,80	0,0020
	lado (espécie)	2	0,593	0,297	2,21	0,1208
	caract.(lado*espécie)	8	2,235	0,279	2,08	0,0569
retratibilidade volumétrica	espécie	1	25,274	25,274	5,59	0,0223
	lado (espécie)	2	5,625	2,812	0,62	0,5413
	caract.(lado*espécie)	8	23,481	2,935	0,65	0,7323

Os resultados apresentados no Quadro 22 ilustram que houve efeito de espécie e característica (dentro de lado, dentro de espécie) para densidade básica do corpo-de-prova, densidade aparente saturada e a 12% de umidade, densidades aferidas por densitometria de raios X. Os resultados apontaram ainda que houve efeito de espécie sobre as retratibilidades longitudinal, tangencial e volumétrica, embora o modelo não tenha sido significativo para esses dois últimos.

De forma complementar, os Quadros 23 e 24 ilustram os efeitos de espécie sobre as propriedades físicas, onde se notam, como esperado, valores sempre superiores para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, em relação aos valores verificados para a espécie *E. grandis*.

Quadro 23 – Valores médios de densidade e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito da espécie.

espécie	Variável				
	dens. bas. do corpo-de-prova (g/cm ³)	dens. ap. do corpo-de-prova - sat. (g/cm ³)	dens. ap. do corpo-de-prova - 12% (g/cm ³)	dens. ap. rX - 12% (g/cm ³)	dens. ap. rX - 12% - reg. dureza (g/cm ³)
	média	média	média	média	média
<i>C. citriodora</i>	0,799 a ¹	1,247 a	0,949 a	1,144 a	1,155 a
<i>E. grandis</i>	0,579 b	1,159 b	0,720 b	0,753 b	0,770 b

¹ Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem a um nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

Quadro 24 – Valores médios de retratibilidade e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito da espécie.

espécie	Variável			
	retratibilidade radial (%)	retratibilidade tangencial (%)	retratibilidade longitudinal (%)	retratibilidade volumétrica (%)
	média	média	média	média
<i>C. citriodora</i>	6,64 a ¹	12,33 a	0,366 a	18,08 a
<i>E. grandis</i>	6,23 a	10,96 b	0,094 b	16,94 b

¹ Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem a um nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

Para a avaliação específica do efeito da característica (cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta) sobre as variáveis densidade aparente e densidade básica, foi feito o teste de comparação de médias a um nível de significância de 5%. É importante ressaltar que o teste foi feito respeitando a hierarquia (característica dentro de lado, dentro de espécie), pressuposto maior do modelo estatístico adotado (Quadro 25). Não foram apresentados os resultados do teste de comparação de médias para os valores de retratibilidade, por não ter havido efeito de característica sobre as referidas variáveis.

Para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (lado direito), os resultados mostraram que só não houve diferença estatística entre madeira juvenil e madeira adulta para a variável densidade aparente do corpo-de-prova saturado. Destaca-se ainda que não houve diferença estatística entre alburno de madeira adulta (AlAd) e cerne de madeira juvenil (CeJu) para as variáveis densidade aparente medida por raios X e densidade aparente medida por raios X na região de dureza. O que pode explicar esse fato é que, provavelmente para essas duas variáveis, o efeito causado pela diferenciação entre madeira juvenil e madeira adulta – aumento do valor de densidade de madeira juvenil para madeira adulta – embora significativo, não tenha sido tão marcante, e o efeito causado pela diferenciação entre cerne e alburno (este último tem densidade menor por possuir menor quantidade de extrativos), embora não-significativo estatisticamente, provocou reação contrária na variável – diminuição do valor de densidade de cerne para alburno – o que acabou por anular o efeito conjunto.

Para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (lado esquerdo), os resultados foram os mesmos, com exceção da variável densidade aparente medida por raios X, onde, ao contrário do que foi observado do lado direito, acusou diferença estatística entre alburno de madeira adulta (AlAd) e cerne de madeira juvenil (CeJu).

Para as árvores de *E. grandis* o efeito das características foi o mesmo em cada um dos lados para todas as variáveis estudadas, ou seja, houve diferença estatística entre cerne de madeira adulta (CeAd) e cerne de madeira juvenil (CeJu) e houve diferença estatística entre alburno de madeira adulta (AlAd) e cerne de madeira juvenil (CeJu).

Para as duas espécies e para os dois lados (dentro da espécie), não houve diferença estatística entre cerne de madeira adulta (CeAd) e alburno de madeira adulta (AlAd). Sendo assim, pode-se concluir que os efeitos sofridos pelas variáveis se devem, de forma mais marcante, às diferenciações entre madeira juvenil e madeira adulta.

Quadro 25 – Resultados obtidos no teste de comparação de médias – Tukey – avaliando o efeito de cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta sobre as propriedades físicas, dentro de cada lado (direito (D) e esquerdo (E)) e dentro de cada espécie (*Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (C) e *E. grandis* (G)).

espécie	lado	características comparadas	Variável									
			dens. bas. do corpo-de-prova (g/cm ³)		dens. ap. do corpo-de-prova - 12% (g/cm ³)		dens. ap. do corpo-de-prova - 12% (g/cm ³)		dens. ap. rX - 12% (g/cm ³)		dens. ap. rX - 12% - reg. dureza (g/cm ³)	
			média	desvpad	média	desvpad	média	desvpad	média	desvpad	média	desvpad
C	D	AlAd	0,897 a ¹	0,074	1,268 a	0,014	1,037 a	0,078	1,192 a b	0,063	1,172 a b	0,036
		CeAd	0,851 a	0,067	1,266 a	0,020	1,003 a	0,077	1,262 a	0,065	1,253 a	0,082
		CeJu	0,710 b	0,067	1,220 a	0,024	0,841 b	0,075	1,067 b	0,070	1,080 b	0,065
	E	AlAd	0,905 A ²	0,066	1,269 A	0,028	1,026 A	0,037	1,148 A	0,124	1,153 A B	0,128
		CeAd	0,848 A	0,073	1,262 A	0,016	1,010 A	0,072	1,200 A	0,081	1,261 A	0,121
		CeJu	0,710 B	0,098	1,224 A	0,026	0,880 B	0,107	1,006 B	0,138	1,012 B	0,158
G	D	AlAd	0,653 a	0,031	1,209 a	0,032	0,823 a	0,039	0,857 a	0,127	0,858 a	0,141
		CeAd	0,648 a	0,066	1,186 a	0,019	0,803 a	0,063	0,819 a	0,134	0,841 a	0,164
		CeJu	0,501 b	0,029	1,128 b	0,039	0,613 b	0,039	0,618 b	0,065	0,612 b	0,078
	E	AlAd	0,684 A	0,077	1,204 A	0,050	0,867 A	0,074	0,851 A	0,108	0,923 A	0,191
		CeAd	0,616 A	0,080	1,179 A	0,050	0,774 A	0,085	0,832 A	0,071	0,876 A	0,086
		CeJu	0,463 B	0,041	1,097 B	0,059	0,566 B	0,051	0,639 B	0,077	0,642 B	0,106

¹ Letras minúsculas comparam características dentro do lado direito de cada espécie.

Numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem a um nível de significância de 5% (p-valor >0,05).

² Letras maiúsculas comparam características dentro do lado esquerdo de cada espécie.

7.6 Propriedades mecânicas

A avaliação do comportamento da variação das propriedades mecânicas, no sentido medula-casca, será feita considerando-se, ao mesmo tempo, o comportamento da variação da densidade aparente medida por raios X.

7.6.1 Resistência à compressão paralela às fibras

A resistência à compressão paralela às fibras média das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi 48,11 MPa e desvio-padrão 10,85 MPa na condição saturada; a 12% de umidade o valor médio foi 72,75 MPa com desvio-padrão 11,27 MPa. Este último está acima do valor médio da espécie apresentado na NBR 7190 (ABNT, 1997) – 62,00 MPa – provavelmente em consequência da idade das árvores ser de 29 anos (Quadro 26).

Quadro 26 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras – *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Árvore	Resistência à compressão (MPa)	Corpos-de-prova (Raio D)							Corpos-de-prova (Raio E)					
			D1	D1	D3	D4	D5	D6	Média	E1	E2	E3	E4	E5	Média
<i>C. citriodora</i>		12% de umidade													
	1		47,18	66,06	.	81,36	.	.	64,87	49,89	.	.	81,93	.	65,91
	2		.	68,73	73,89	77,29	86,39	.	76,58	.	78,94	89,58	.	.	84,26
	3		67,83	77,16	87,06	83,65	.	.	78,93	.	85,36	91,19	.	.	88,28
	4		.	60,33	76,78	83,60	81,43	.	75,54	.	60,82	67,06	78,39	.	68,76
	5		.	66,79	77,08	73,05	.	.	72,31	.	76,20	79,69	68,89	.	74,93
	6		49,51	58,77	66,18	72,57	.	.	61,76	.	60,36	68,19	.	.	64,27
		saturado													
	1		32,13	30,82	.	52,31	.	.	38,42	26,27	.	.	56,86	.	41,57
	2		.	33,55	43,68	57,19	53,71	.	47,03	.	48,24	41,07	.	.	44,66
	3		45,68	54,82	61,40	64,43	.	.	56,58	.	61,74	57,53	.	.	59,64
	4		.	36,55	45,73	60,58	49,32	.	48,05	.	38,32	48,55	49,56	.	45,48
<i>E. grandis</i>	5		.	52,28	60,59	64,28	.	.	59,05	.	53,11	61,20	50,54	.	54,95
	6		26,46	31,88	46,78	48,91	.	.	38,51	.	40,72	45,04	.	.	42,88
		12% de umidade													
	1		.	.	51,29	57,65	71,24	.	60,06	.	45,66	55,19	64,20	.	55,02
	2		.	50,31	53,60	57,67	56,57	61,32	55,89	.	42,31	52,40	57,03	54,21	51,49
	3		.	44,28	54,32	66,40	69,31	.	58,58	.	45,64	55,70	68,73	.	56,69
	4		41,08	49,59	.	63,32	58,86	.	53,21	42,84	60,99	61,59	.	.	55,14
	5		.	51,54	61,98	68,98	69,91	66,28	63,74	.	48,61	53,58	56,07	56,87	53,78
	6		.	47,47	47,59	58,11	66,74	45,77	53,14	.	45,20	55,56	58,01	62,88	55,41
		saturado													
	1		.	.	31,54	41,04	43,56	.	38,71	.	25,54	32,52	30,35	.	29,47
	2		.	29,10	31,63	37,05	39,05	38,21	35,01	22,48	26,51	37,99	41,45	38,49	33,38
	3		.	25,27	30,70	36,07	43,22	.	33,82	.	25,39	29,66	41,86	.	32,30
	4		23,09	23,56	.	37,24	36,48	.	30,09	25,72	36,62	40,18	.	.	34,17
	5		.	28,95	36,17	37,37	40,37	42,12	37,00	.	26,25	26,56	32,08	37,06	30,49
	6		19,00	26,00	27,97	37,52	17,62	44,41	28,75	.	26,17	24,44	36,33	39,62	31,64

As árvores de *E. grandis* apresentaram valor médio de resistência à compressão paralela às fibras 32,81 MPa e desvio-padrão 7,07 MPa na condição saturada, já a 12% de umidade, a média das árvores foi 56,05 MPa – acima do valor médio de 40,30 MPa para espécie, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997) – com desvio-padrão 8,18 MPa. Os resultados apontaram que os valores de resistência apurados estiveram pouco dispersos em relação à média nas duas espécies (coeficientes de variação de 15% e 22% para madeira a 12% de umidade e saturada, respectivamente) (Quadro 26).

De modo geral, a tendência para as duas espécies foi de aumento do valor da resistência no sentido medula-casca.

7.6.1.a) Comparações entre a variação radial da densidade aparente e da resistência à compressão paralela às fibras (condição saturada) da madeira no sentido medula-casca

A Figura 32 ilustra as linhas de tendência de variação radial da densidade aparente média (medida por densitometria de raios X) e os diagramas de barras da resistência à compressão paralela às fibras (medida na madeira em condição saturada) com três das seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. Destaca-se que, nestas três árvores, foram realizadas as avaliações microscópicas do lenho.

Da mesma forma, a Figura 33 apresenta as linhas de tendência de variação radial da densidade aparente média – medida na densitometria de raios X – e da resistência à compressão paralela às fibras – medida na madeira na condição saturada – com as três árvores de *E. grandis*, nas quais também foram realizadas as avaliações microscópicas do lenho. Foi anexada ao gráfico, em escala, uma foto da madeira onde foi executada a densitometria de raios X, a fim de contribuir com as análises. Para as demais árvores, as linhas de tendência foram apresentadas no Anexo E.

Pôde-se observar, de forma geral, um aumento no valor médio da resistência à compressão paralela às fibras – condição saturada –, no sentido medula-casca, acompanhado, na maioria das vezes, pelo aumento da densidade aparente aferida por densitometria de raios X. Avaliando essas variações conjuntamente com o Quadro 9 (demarcação das regiões de madeira juvenil e madeira adulta e de cerne e alborno), não é possível estabelecer uma relação direta entre as mudanças de região de cerne de madeira

juvenil para cerne de madeira adulta ou de cerne de madeira adulta para alburno de madeira adulta e algumas das variações observadas na Figura 32. Cita-se como exemplo que, para a árvore *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* 2 – lado direito – houve aumento no valor médio de resistência à compressão paralela às fibras entre os corpos-de-prova D2 (CeJu), D3 (CeAd) e D4 (CeAd), seguido de diminuição no corpo-de-prova D5 (CeAd). Para a mesma árvore – lado esquerdo –, ocorreu uma diminuição no valor médio de resistência à compressão paralela às fibras entre os corpos-de-prova E2 (CeJu), E3 (CeAd).

Entre as árvores de *E. grandis* (Figura 33), observou-se uma variação mais uniforme dos valores médios de resistência à compressão paralela às fibras no sentido medula-casca, acompanhada de semelhante variação da densidade aparente medida por densitometria de raios X. A tendência foi de aumento no sentido medula-casca com ligeira queda verificada entre os corpos-de-prova E3 (CeAd) e E4 (AlAd) – *E. grandis* 1 –, entre os corpos-de-prova D5 (CeAd) e D6 (CeAd) – *E. grandis* 2 –, e entre os corpos-de-prova E4 (CeAd) e E5 (AlAd) – *E. grandis* 2.

Assim como verificado na espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, para a espécie *E. grandis* também não foi possível estabelecer uma relação direta entre as mudanças de região de cerne de madeira juvenil para cerne de madeira adulta ou de cerne de madeira adulta para alburno de madeira adulta e as quedas nos valores de resistência à compressão paralela às fibras citada.

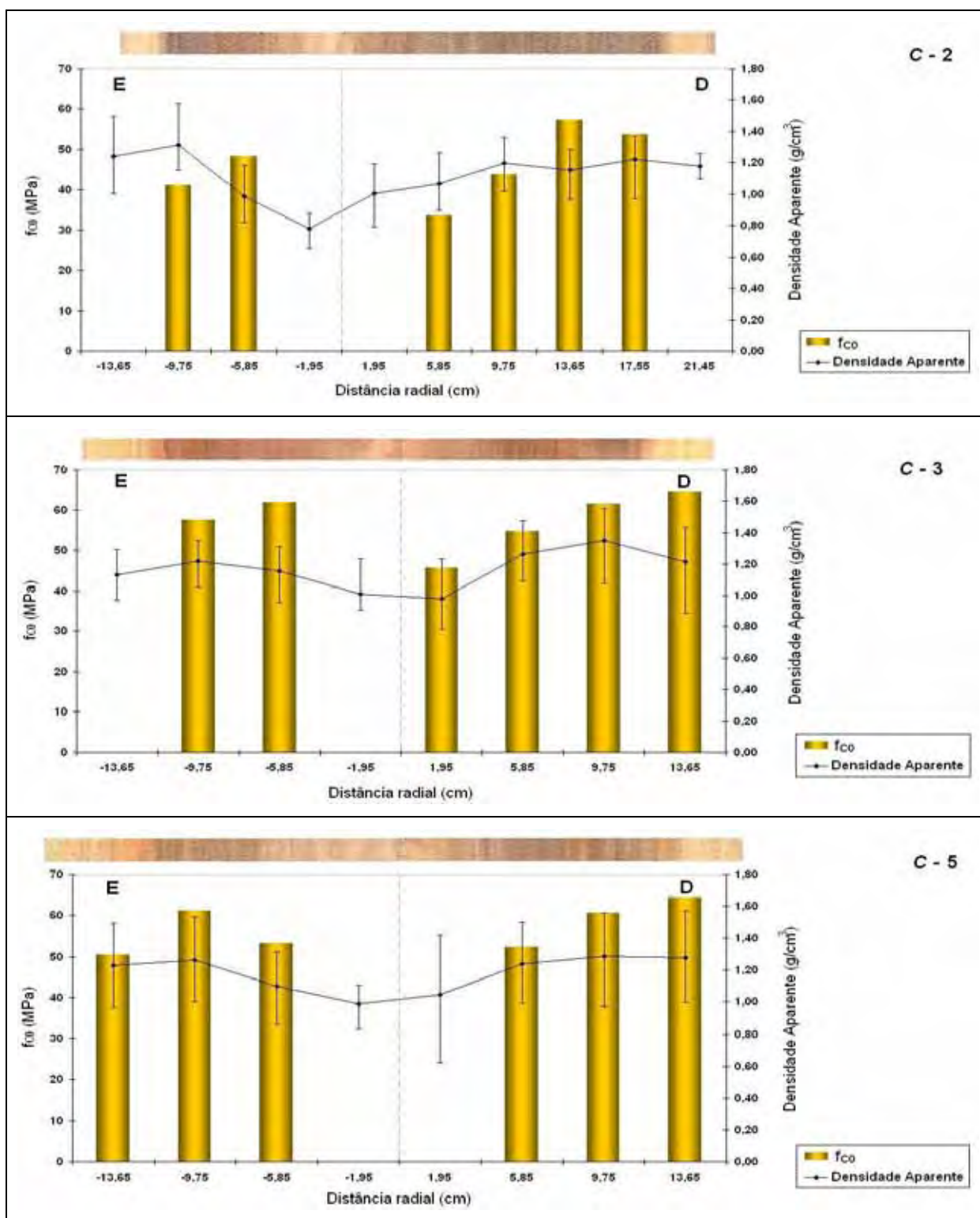


Figura 32 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira das árvores C2, C3 e C5 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.

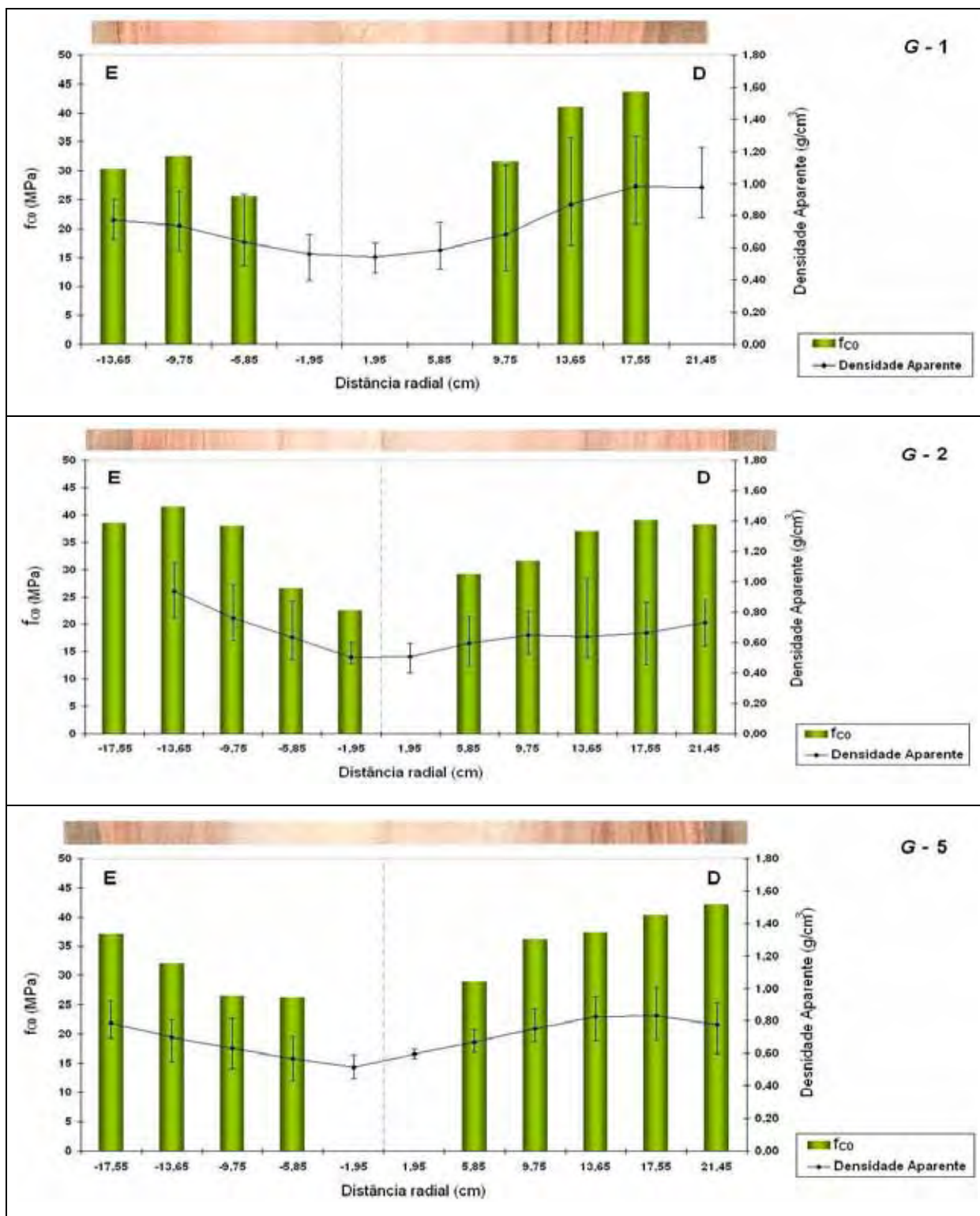


Figura 33 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira das árvores G1, G2 e G5 de *E. grandis*, na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.

7.6.1.b) Comparações entre a variação radial da densidade aparente e da resistência à compressão paralela às fibras (a 12% de umidade) da madeira no sentido medula-casca

A Figura 34 apresenta os perfis de variação radial da densidade aparente média – medida na densitometria de raios X – e da resistência à compressão paralela às fibras – medida na madeira a 12% de umidade – com três das seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. Destaca-se que, nestas três árvores, foram realizadas as avaliações microscópicas do lenho.

Da mesma forma, a Figura 35 ilustra os perfis de variação radial da densidade aparente média – medida na densitometria de raios X – e da resistência à compressão paralela às fibras – medida na madeira a 12% de umidade – com as três árvores de *E. grandis*, nas quais foram realizadas as avaliações microscópicas do lenho. Foi anexada ao gráfico, em escala, uma foto da madeira onde foi executada a densitometria de raios X para contribuir com as análises.

Os perfis de variação para as demais árvores foram apresentadas no Anexo F.

A Figura 34 mostra, claramente, a tendência de aumento dos valores médios de resistência à compressão paralela às fibras (a 12% de umidade), no sentido medula-casca, acompanhada da mesma tendência para densidade aparente medida por raios X. Observa-se ainda que houve pequena queda nos valores médios de resistência à compressão paralela às fibras quando houve mudança de cerne para alburno. O mesmo comportamento pôde ser observado para as árvores de *E. grandis* (Figura 35).

Conclui-se que, para a resistência à compressão paralela às fibras (a 12% de umidade), ocorreu uma diferença entre os valores médios aferidos na madeira de cerne e na madeira de alburno sendo observado, para estes últimos, os valores menores. Todavia não se pode afirmar, apenas com a impressão visual, se essa diferença é significativa ou não.

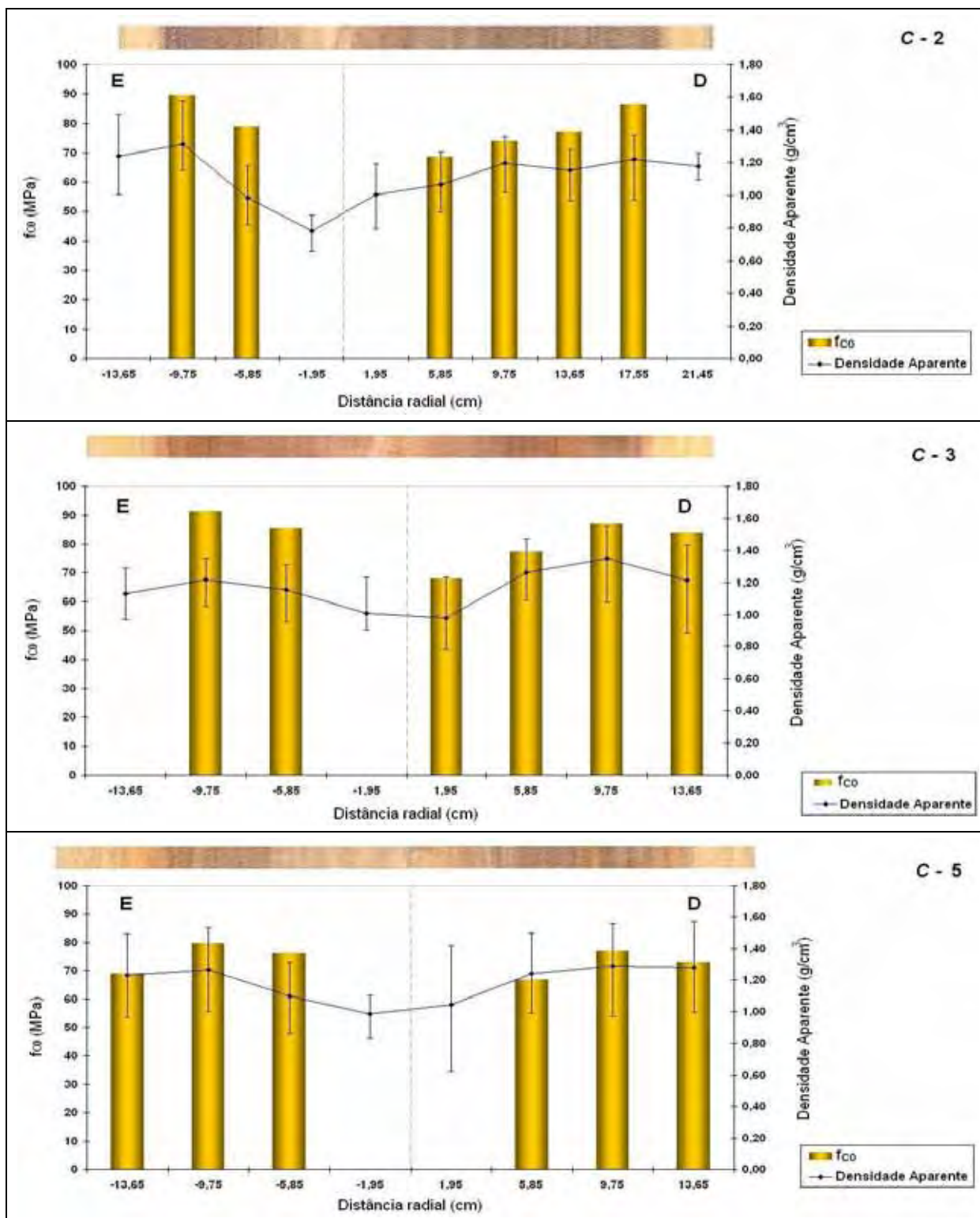


Figura 34 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira das árvores C2, C3 e C5 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – umidade de 12%.

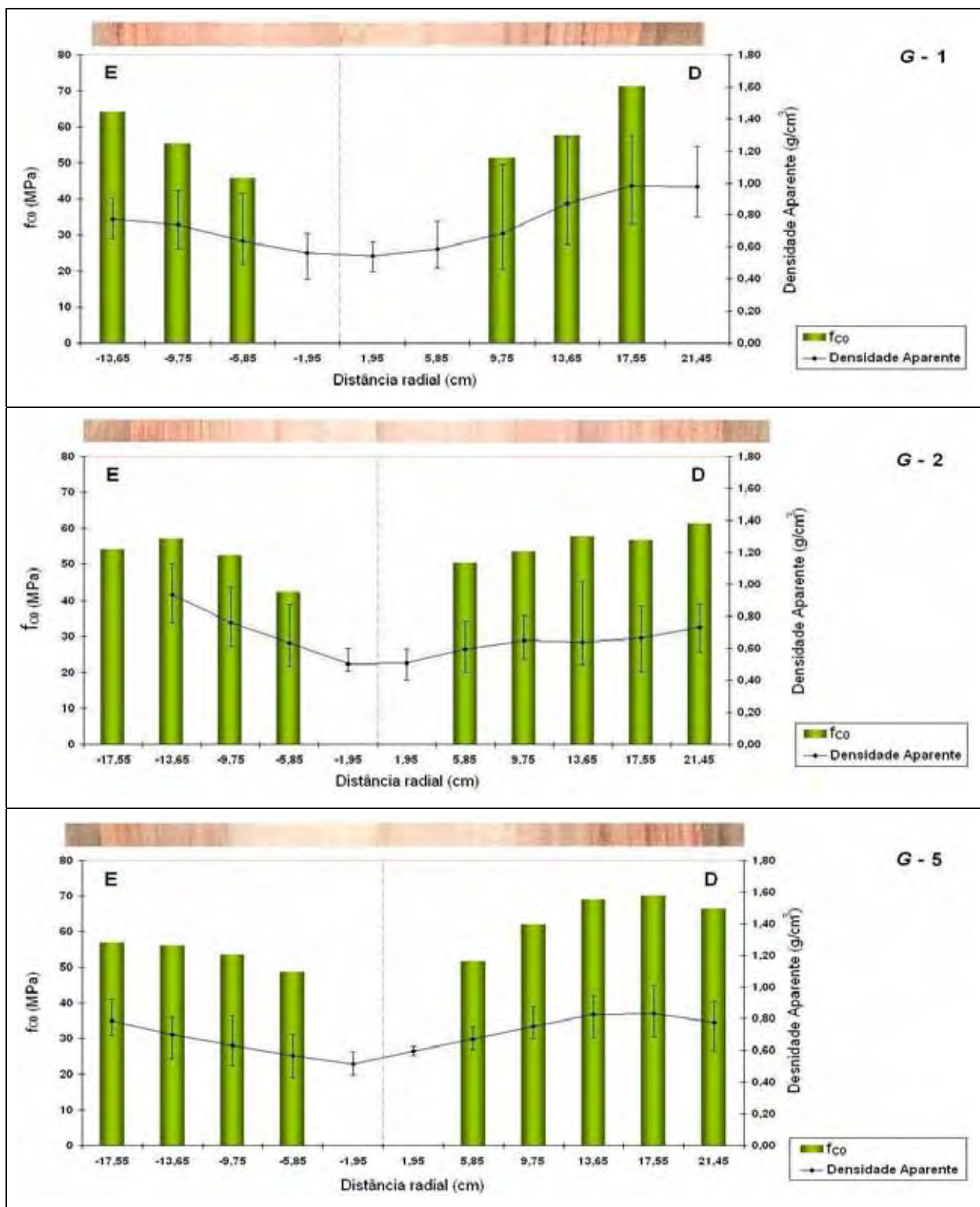


Figura 35 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira das árvores G1, G2 e G5 de *E. grandis*, na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – umidade de 12%.

7.6.2 Resistência à dureza paralela às fibras

A resistência à dureza paralela às fibras média das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi 70,98 MPa na condição verde e desvio-padrão 16,67 MPa; a 12% de umidade o valor médio foi de 79,96 MPa com desvio-padrão 20,57MPa.

Assim como ocorreu com os valores de resistência à compressão paralela às fibras, os valores médios de resistência à dureza paralela às fibras foram bem menores para as árvores de *E. grandis* em comparação com as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. As árvores de *E. grandis* apresentaram valor médio de resistência à dureza 38,59 MPa e desvio-padrão 12,8MPa na condição verde e 47,69 MPa a 12% de umidade com desvio-padrão de 17,90 MPa. No Quadro 27 são apresentados os valores de resistência à dureza paralela às fibras em todos os corpos-de-prova ensaiados nas condições verde e a 12% de umidade para as árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Quadro 27 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência à dureza paralela às fibras – *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Árvore	Resistência à dureza (MPa)	Corpos-de-prova (Raio D)							Corpos-de-prova (Raio E)					
			D1	D1	D3	D4	D5	D6	Média	E1	E2	E3	E4	E5	Média
C. citriodora	verde														
		1	43,60	60,55	.	93,38	83,93	.	70,37	57,59	60,21	93,38	74,70	.	71,47
		2	54,26	62,34	74,25	72,84	69,39	.	66,62	52,29	73,98	84,64	.	.	70,30
		3	50,57	79,21	90,71	92,97	.	.	78,37	64,60	86,19	95,30	.	.	82,03
		4	42,61	73,14	83,66	96,35	82,85	.	75,72	24,26	55,22	70,44	76,78	.	56,68
		5	57,55	66,46	91,22	88,79	.	.	76,01	71,52	76,91	100,50	84,34	.	83,32
		6	46,32	49,93	61,16	71,11	.	.	57,13	61,43	63,93	73,24	63,22	.	65,46
	12% de umidade														
		1	49,08	79,48	.	109,30	111,20	.	87,27	58,73	81,37	109,80	94,05	.	85,99
		2	39,54	65,55	94,52	103,80	89,73	.	78,63	80,69	94,73	108,40	.	.	94,61
		3	53,37	89,19	97,69	95,81	.	.	84,02	64,03	96,58	110,00	.	.	90,20
		4	39,81	66,36	99,92	90,00	92,30	.	77,68	32,55	70,71	89,43	93,44	.	71,53
		5	56,74	80,29	90,81	96,48	.	.	81,08	70,84	79,48	97,96	93,65	.	85,48
6	49,42	56,91	66,32	74,76	.	.	61,85	58,73	71,92	78,53	64,20	.	68,35		
E. grandis	verde														
		1	17,39	22,38	22,50	41,91	54,25	58,24	36,11	21,19	21,25	37,65	49,34	.	32,36
		2	35,35	33,51	41,75	46,44	47,86	49,01	42,32	24,89	34,40	44,42	62,23	.	41,49
		3	24,14	21,93	38,25	45,24	49,17	.	35,75	22,17	25,05	38,08	45,57	.	32,72
		4	24,71	27,35	52,23	51,96	56,35	.	42,52	36,17	38,19	52,40	.	.	42,25
		5	29,50	29,17	37,97	40,76	48,24	52,29	39,66	28,14	26,25	31,64	39,23	50,43	35,14
		6	24,40	25,26	26,76	40,12	55,79	69,23	40,26	25,72	27,87	36,93	55,40	61,03	41,39
	12% de umidade														
		1	27,76	33,73	32,79	54,48	80,69	77,05	51,08	21,19	21,25	37,65	49,34	.	32,36
		2	38,02	43,18	54,28	63,42	65,24	66,49	55,11	24,89	34,40	44,42	62,23	.	41,49
		3	34,14	34,68	52,49	68,68	71,38	.	52,27	22,17	25,05	38,08	45,57	.	32,72
		4	35,22	40,55	71,11	62,68	71,11	.	56,13	36,17	38,19	52,40	.	.	42,25
		5	39,77	53,23	52,39	56,30	64,43	74,62	56,79	28,14	26,25	31,64	39,23	50,43	35,14
6	38,52	39,87	38,12	60,05	81,64	99,99	59,70	25,72	27,87	36,93	55,40	61,03	41,39		

7.6.2.a) Comparações entre a variação radial da densidade aparente e da resistência à dureza paralela às fibras (condição verde) da madeira no sentido medula-casca

A densidade aparente apresentada nas figuras seguintes refere-se à média aritmética das densidades aparentes aferidas por densitometria de raios X no intervalo de 1 cm, correspondente à região de realização dos ensaios de dureza. A Figura 36 apresenta as linhas de tendência de variação radial da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras – medida na madeira na condição verde – com três das seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*.

Da mesma forma, a Figura 37 apresenta as linhas de tendência de variação radial da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras – medida na madeira na condição verde – com as três árvores de *E. grandis*, nas quais foram realizadas as avaliações microscópicas do lenho.

Por serem medições tomadas em uma região de tamanho reduzido (1 cm), os valores médios de resistência à dureza paralela às fibras e de densidade aparente, para as duas espécies de forma geral, apresentaram tendências de variação bem semelhantes no sentido medula-casca. Como a densidade, para este caso, foi medida em um intervalo reduzido e não ao longo de todo o corpo-de-prova, observa-se também uma variação bem pequena em torno de seus valores médios, salvo em situações como a observada (por densitometria de raios X) na árvore *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* 5 (C5), corpo-de-prova D2, nas quais ocorreram defeitos na madeira. As linhas de tendência para as demais árvores foram apresentadas no Anexo G.

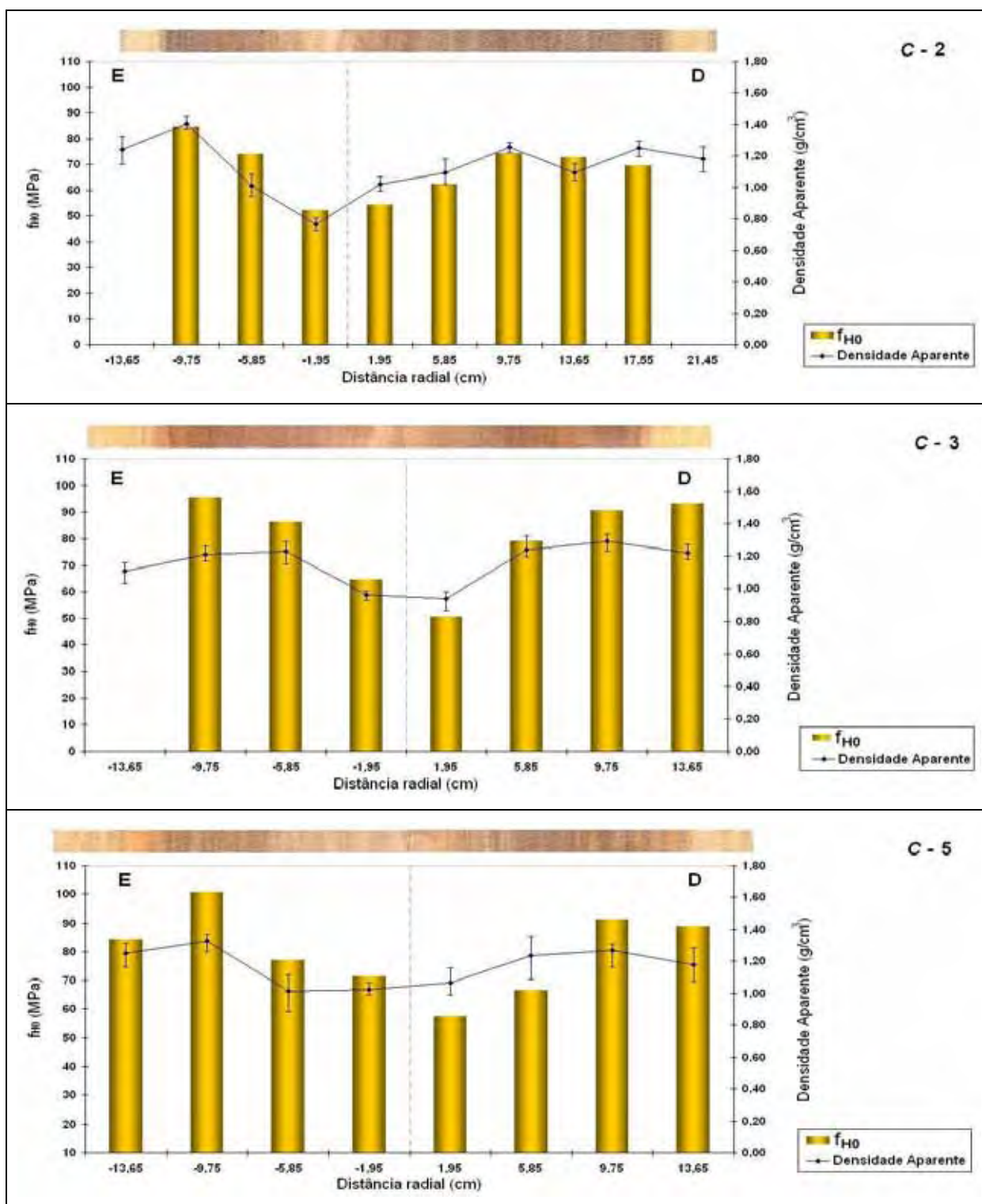


Figura 36 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira das árvores C2, C3 e C5 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.

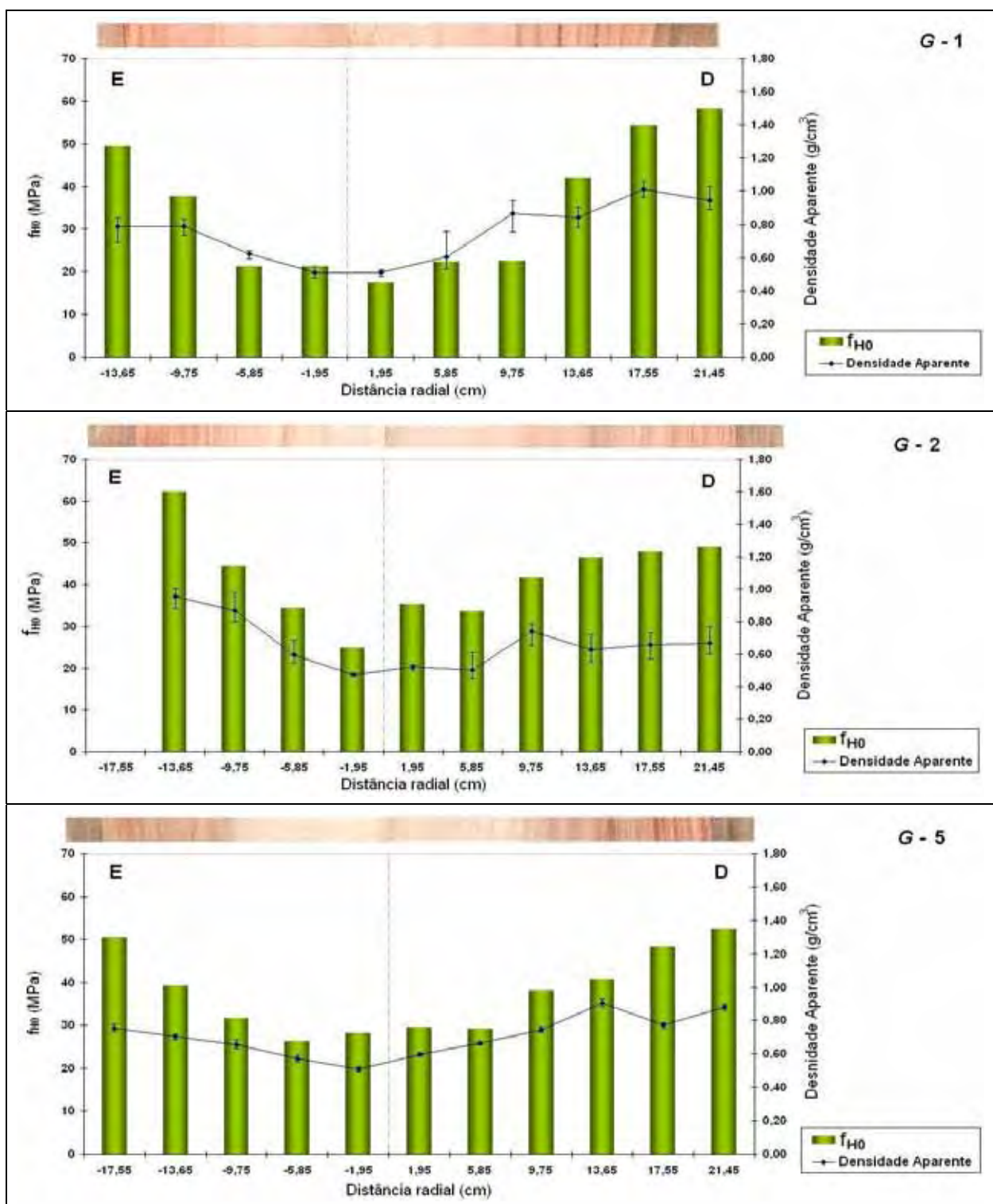


Figura 37 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira das árvores G1, G2 e G5 de *E. grandis*, na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.

7.6.2.b) Comparação entre a variação radial da densidade aparente e da resistência à dureza paralela às fibras (a 12% de umidade) da madeira no sentido medula-casca

A densidade aparente apresentada nos gráficos a seguir refere-se à média aritmética das densidades aparentes aferidas por densitometria de raios X no intervalo de 1 cm, correspondente à região de realização dos ensaios de dureza. De um modo geral, a variação da dureza da madeira no sentido medula-casca acompanhou a variação da densidade aparente média, e pôde-se observar uma tendência de aumento no sentido medula-casca. A Figura 38 apresenta as linhas de tendência de variação radial da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras – medida na madeira a 12% de umidade – com três das seis árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*.

Da mesma forma, a Figura 39 apresenta as linhas de tendência de variação radial da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras – medida na madeira na condição verde com as três árvores de *E. grandis* nas quais foram realizadas as avaliações microscópicas do lenho.

No Anexo H, foram apresentadas as linhas de tendência para as demais árvores.

Para as duas espécies estudadas, a variação dos valores médios de resistência à dureza (umidade de 12%) acompanhou a variação da densidade aparente. A tendência geral foi de aumento dos valores médios no sentido medula-casca, no entanto, nas árvores C3, C5 (*Corymbia (Eucalyptus) citriodora*) e G1 (*E. grandis*) observou-se pequena queda no valor médio de resistência à dureza na região de transição entre madeira de cerne e madeira de alburno. Observou-se ainda, na árvore C2, queda acentuada no valor médio de resistência, porém, os dois corpos-de-prova situavam-se em região de cerne.

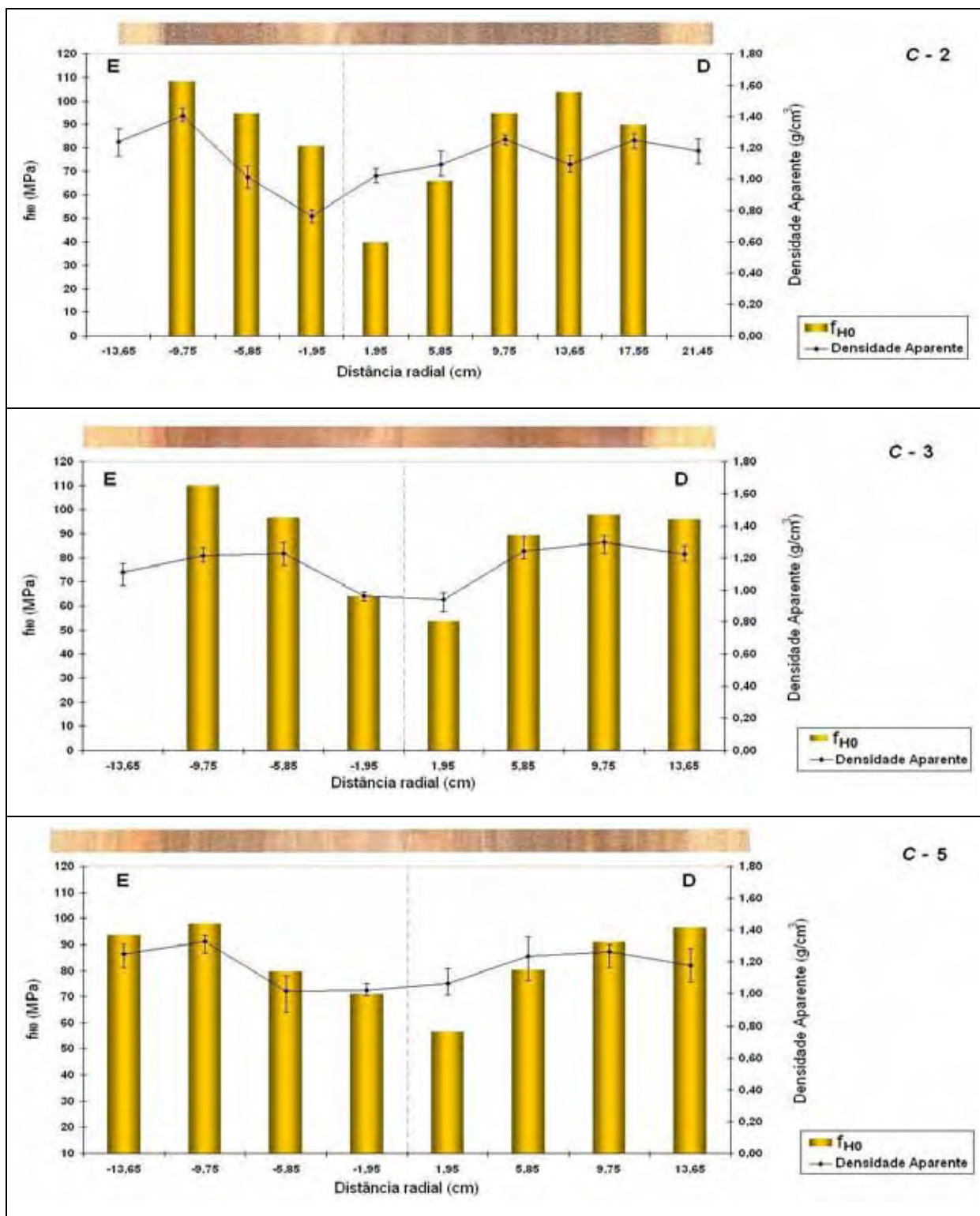


Figura 38 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira das árvores C2, C3 e C5 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – umidade de 12%.

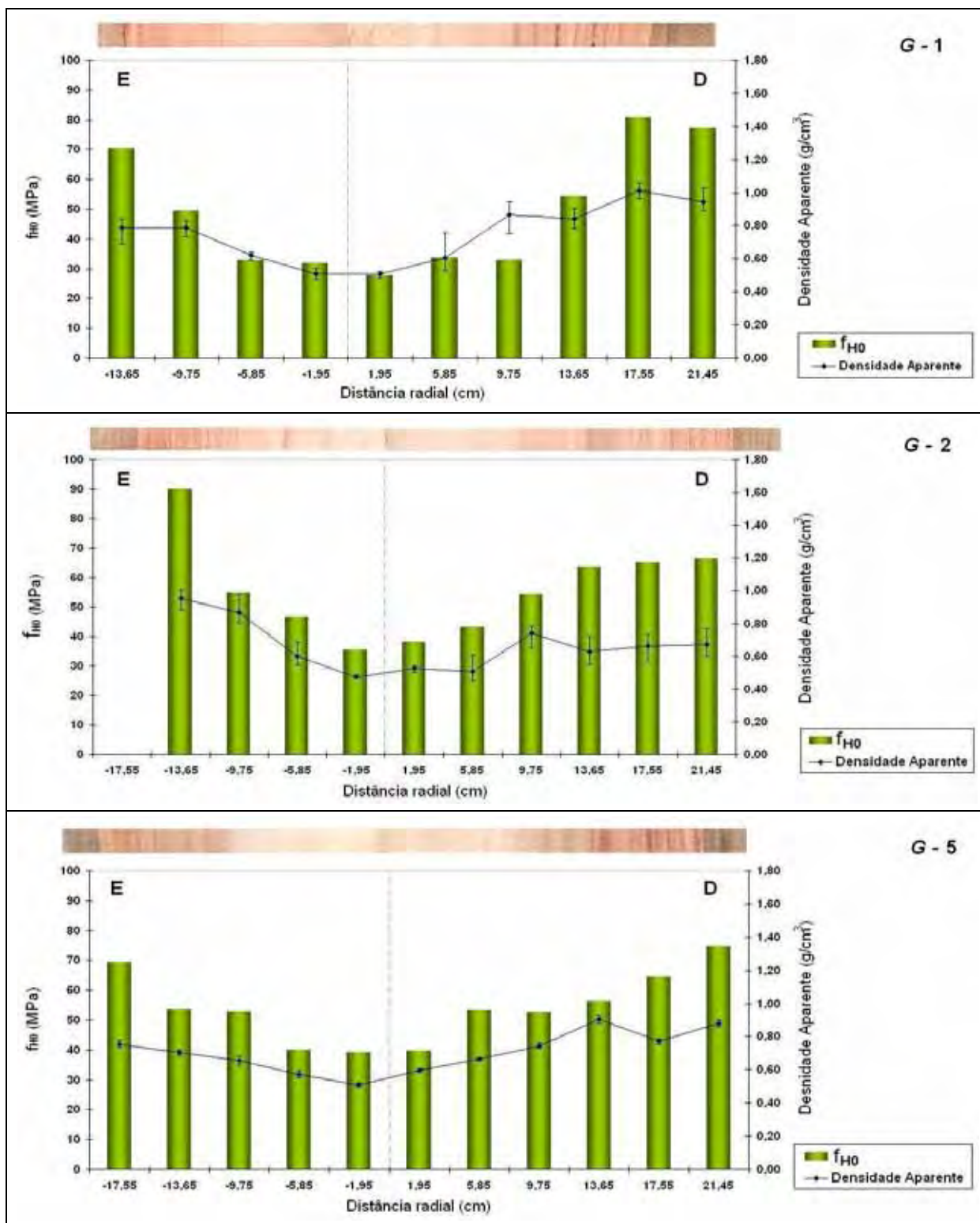


Figura 39 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira das árvores G1, G2 e G5 de *E. grandis*, na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – umidade de 12%.

7.6.3 Associações entre as propriedades mecânicas

Foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson entre todas as propriedades mecânicas estudadas. Os resultados obtidos evidenciaram existir, para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, forte ($r > 80\%$) e significativa ($p\text{-valor} < 0,01$) correlação entre a resistência à dureza paralela às fibras (condição verde) e as demais propriedades mecânicas (Quadro 28). Ocorreu ainda, forte correlação entre a resistência à compressão paralela às fibras e a resistência à dureza paralela às fibras (ambas na umidade de 12%). Para a espécie *E. grandis*, apenas a resistência à dureza paralela às fibras (na umidade de 12%) apresentou boas correlações com a resistência à dureza paralela às fibras (condição verde) e com a resistência à compressão paralela às fibras (na umidade de 12%).

Quadro 28 – Coeficientes de correlação entre as propriedades mecânicas para as duas espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Variável	Resultado do teste	Variável			
			f _{H0_v}	f _{C0_sat}	f _{H0_12}	f _{C0_12}
<i>Corymbia citriodora</i>	f _{H0_v}	r	1,000	.	.	.
		p-valor	0,000	.	.	.
	f _{C0_sat}	r	0,801	1,000	.	.
		p-valor	0,000	0,000	.	.
	f _{H0_12}	r	0,874	0,722	1,000	.
		p-valor	0,000	0,000	0,000	.
	f _{C0_12}	r	0,811	0,778	0,864	1,000
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,0000
<i>Eucalyptus grandis</i>	f _{H0_v}	r	1,000	.	.	.
		p-valor	0,000	.	.	.
	f _{C0_sat}	r	0,732	1,000	.	.
		p-valor	0,000	0,000	.	.
	f _{H0_12}	r	0,961	0,696	1,000	.
		p-valor	0,000	0,000	0,000	.
	f _{C0_12}	r	0,622	0,610	0,934	1,000
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,0000

7.6.4 Efeitos dos fatores sobre as propriedades mecânicas

Com a aplicação da técnica de análise de variância – modelo hierárquico –, os resultados apontaram que o modelo foi significativo a um nível de significância de 5% para todas as variáveis referentes às propriedades mecânicas, ou seja, o modelo acusou efeito de um ou mais fatores sobre as referidas variáveis. Por meio do Quadro 29 pode-se observar que houve efeito de espécie e de característica (dentro de lado, dentro de espécie) sobre todas as variáveis (propriedades mecânicas) estudadas. O Quadro 30 apresenta os valores médios das variáveis, ratificando o efeito da espécie sobre as mesmas.

Quadro 29 – Resultados obtidos na análise de variância com as variáveis “propriedades mecânicas”.

Variável	Fatores	GL	soma dos quadrados	quadrado médio	F	p-valor
f_{C0} - saturado	espécie	1	2994,610	2994,610	53,29	< 0,0001
	lado (espécie)	2	19,836	9,918	0,18	0,8388
	caract.(lado*espécie)	8	1873,211	234,151	4,17	0,0008
f_{C0} - 12%	espécie	1	3353,027	3353,027	58,83	< 0,0001
	lado (espécie)	2	41,846	20,923	0,37	0,6948
	caract.(lado*espécie)	8	2184,251	273,031	4,79	0,0003
f_{H0} - verde	espécie	1	10912,450	10912,450	135,27	< 0,0001
	lado (espécie)	2	13,009	6,504	0,08	0,9227
	caract.(lado*espécie)	8	8028,618	1003,577	12,44	< 0,0001
f_{H0} - 12%	espécie	1	4909,719	4909,719	36,69	< 0,0001
	lado (espécie)	2	48,230	24,115	0,18	0,8356
	caract.(lado*espécie)	8	13396,893	1674,612	12,51	< 0,0001

Quadro 30 – Valores médios das propriedades mecânicas e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito da espécie.

Variável				
espécie	f_{C0} - saturado (MPa)	f_{C0} - 12% (MPa)	f_{H0} - verde (MPa)	f_{H0} - 12% (MPa)
	média	média	média	média
<i>C. citriodora</i>	48,75 a ¹	72,99 a	73,98 a	83,02 a
<i>E. grandis</i>	35,03 b	57,15 b	44,06 b	61,76 b

¹ Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem a um nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

A fim de que se pudesse estudar, de forma mais detalhada, o efeito das características sobre as propriedades mecânicas, foi feito teste de comparação de médias (Tukey) e os resultados apontaram que, para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (lado direito), houve, para todas as variáveis estudadas, diferença estatística a um nível de significância de 5% entre cerne de madeira juvenil (CeJu) e cerne de madeira adulta (CeAd) e entre cerne de madeira juvenil (CeJu) e alburno de madeira adulta (AlAd) (Quadro 31). Para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (lado esquerdo), não foi observada diferença estatística a um nível de significância de 5% entre as características, para a variável resistência à compressão paralela às fibras (condição saturada). Para as demais variáveis, houve diferença estatística apenas entre cerne de madeira juvenil (CeJu) e cerne de madeira adulta (CeAd).

Para a espécie *E. grandis* (lado direito), não foi observada diferença estatística a um nível de significância de 5% entre as características, para a variável resistência à compressão paralela às fibras (condição saturada). Para resistência à dureza paralela às fibras nas condições verde e a 12% de umidade, houve diferença estatística a um nível de significância de 5% entre cerne de madeira juvenil (CeJu) e cerne de madeira adulta (CeAd) e entre cerne de madeira juvenil (CeJu) e alburno de madeira adulta (AlAd). A variável resistência à compressão paralela às fibras (a 12% de umidade) apresentou diferença estatística apenas entre cerne de madeira juvenil (CeJu) e cerne de madeira adulta (CeAd). Para a espécie *E. grandis* (lado esquerdo), não foi observada diferença estatística a um nível de significância de 5% entre as características, para a resistência à compressão paralela às fibras nas condições saturada e a 12% de umidade.

Finalizando, como não houve diferença estatística entre alburno de madeira adulta e cerne de madeira adulta, conclui-se que os efeitos sobre as variáveis, causados pelas diferenças entre madeira juvenil e madeira adulta, são mais marcantes que os efeitos causados pelas diferenças entre cerne e alburno.

Quadro 31 – Resultados obtidos no teste de comparação de médias – Tukey – avaliando o efeito de cerne/alburno e madeira juvenil/madeira adulta sobre as propriedades mecânicas, dentro de cada lado (direito (D) e esquerdo (E)) e dentro de cada espécie (*Corymbia (Eucalyptus) citriodora* (C) e *E. grandis* (G)).

espécie	lado	características comparadas	Variável					
			f _{C0} - saturado (MPa)		f _{C0} - 12% (MPa)		f _{H0} - verde (MPa)	
			média	desvpad	média	desvpad	média	desvpad
C	D	AlAd	59,21 a ¹	8,92	76,42 a	6,26	84,20 a	9,48
		CeAd	54,08 a	5,72	78,58 a	6,93	82,71 a	13,04
		CeJu	38,88 b	9,92	63,18 b	7,26	57,21 b	6,21
	E	AlAd	53,70 A ²	4,47	75,41 A B	9,22	74,09 A B	10,57
		CeAd	50,78 A	8,43	80,28 A	10,11	86,78 A	11,54
		CeJu	44,73 A	12,41	68,59 B	13,60	62,34 B	12,92
G	D	AlAd	41,00 a	4,08	56,97 a b	10,38	59,03 a	7,24
		CeAd	35,84 a	9,19	66,19 a	4,61	50,25 a	4,43
		CeJu	29,69 a	4,47	51,48 b	3,99	31,19 b	4,15
	E	AlAd	36,15 A	5,06	60,43 A	5,43	55,19 A	8,27
		CeAd	38,23 A	3,60	59,57 A	4,97	50,61 A	8,42
		CeJu	27,81 A	2,21	49,79 A	2,73	30,48 B	5,52

¹ Letras minúsculas comparam características dentro do lado direito de cada espécie.

Numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem a um nível de significância de 5% (p-valor >0,05).

² Letras maiúsculas comparam características dentro do lado esquerdo de cada espécie.

7.7 Associações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas

Buscando avaliar a interação entre as características anatômicas e as propriedades físico-mecânicas, foram calculados coeficientes de correlação de Pearson e os resultados obtidos foram apresentados nos Quadros 32 a 34.

Corymbia (Eucalyptus) citriodora

De um modo geral, as correlações entre propriedades físicas e características anatômicas não foram boas. Destacaram-se, em meio às inúmeras correlações estabelecidas, as fortes ($r > 80\%$) e significativas ($p\text{-valor} < 0,005$) entre a densidade aparente aferida na região de dureza e a maior parte das características anatômicas. Este fato sugere que as características anatômicas podem ser ótimos indicadores na estimativa das propriedades físicas, desde que tomados em intervalos mais amplos, com exceção da fração parede que, mesmo tendo sido avaliada em estreito intervalo, apresentou fortes correlações com as densidades aparente e básica (Quadro 32).

As propriedades mecânicas não se correlacionaram bem com as características anatômicas, com exceção da resistência à dureza paralela às fibras (condição verde) que apresentou correlação de aproximadamente 90% com a fração parede (ambas medidas no mesmo intervalo de 1 cm) (Quadro 33).

Como já era esperado, tanto a densidade básica quanto a densidade aparente se correlacionam bem com as propriedades mecânicas de modo geral (correlações acima de 80%) (Quadro 34). Em contrapartida, as retratibilidades linear e volumétrica não se correlacionaram bem com as características anatômicas, nem com as propriedades mecânicas.

Quadro 32 – Resultados das correlações entre as características anatômicas e propriedades físicas para as espécies *Corymbia* (*Eucalyptus*) *citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Variável	Resultado do teste	Variável								
			d_b_cp	d_ap_sat	d_ap_rX	d_ap_dureza	d_ap_cp	ε _{r,r}	ε _{r,t}	ε _{r,l}	ε _{r,v}
Corymbia citriodora	freq. vasos	r	-0,470	-0,308	-0,431	-0,383	-0,415	0,128	0,253	0,047	0,289
		p-valor	0,287	0,502	0,247	0,309	0,354	0,742	0,511	0,904	0,451
	área vasos	r	-0,360	-0,384	-0,742	-0,806	-0,457	-0,018	-0,097	0,375	-0,075
		p-valor	0,427	0,395	0,022	0,009	0,302	0,963	0,804	0,320	0,848
	% vasos	r	-0,357	-0,386	-0,751	-0,814	-0,408	-0,032	-0,111	0,370	-0,095
		p-valor	0,431	0,393	0,020	0,008	0,302	0,936	0,776	0,327	0,808
	diam. vasos	r	0,211	0,027	0,008	-0,077	0,101	-0,095	-0,357	0,125	-0,345
		p-valor	0,649	0,954	0,983	0,843	0,829	0,809	0,345	0,749	0,361
	fração par.	r	0,924	0,877	0,964	0,950	0,876	0,019	0,081	-0,320	0,065
		p-valor	0,003	0,010	0,000	0,000	0,010	0,961	0,835	0,401	0,867
Eucalyptus grandis	freq. vasos	r	0,399	0,392	-0,260	-0,375	0,759	0,319	-0,596	-0,029	-0,453
		p-valor	0,433	0,442	0,499	0,320	0,137	0,538	0,211	0,957	0,367
	área vasos	r	-0,266	-0,300	-0,120	0,140	-0,518	-0,361	0,433	0,163	0,292
		p-valor	0,610	0,563	0,758	0,720	0,371	0,481	0,391	0,757	0,574
	% vasos	r	-0,275	-0,313	-0,118	0,145	-0,518	-0,356	0,429	0,163	0,290
		p-valor	0,598	0,546	0,762	0,709	0,371	0,489	0,396	0,758	0,578
	diam. vasos	r	0,155	0,063	0,539	0,722	-0,294	-0,588	0,444	0,622	0,245
		p-valor	0,769	0,905	0,134	0,028	0,631	0,220	0,377	0,187	0,640
	fração par.	r	0,765	0,841	0,755	0,672	0,754	0,328	0,553	0,350	0,625
		p-valor	0,076	0,036	0,019	0,047	0,141	0,525	0,255	0,496	0,184

Quadro 33 – Resultados das correlações entre as características anatômicas e propriedades mecânicas para as espécies *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Variável	Resultado do teste	Variável				
			freq. vasos	área vasos	% vasos	diam. vasos	fração par.
<i>Corymbia citriodora</i>	fH0_v	R	-0,649	-0,612	-0,616	0,288	0,899
		p-valor	0,059	0,080	0,077	0,453	0,001
	fC0_sat	R	-0,604	0,210	0,214	0,654	0,505
		p-valor	0,151	0,651	0,644	0,111	0,248
	fH0_12	R	-0,506	-0,672	-0,678	0,101	0,681
		p-valor	0,165	0,048	0,045	0,795	0,044
	fC0_12	R	0,092	-0,270	-0,284	-0,311	0,500
		p-valor	0,844	0,553	0,537	0,498	0,2530
	fH0_v	R	0,094	-0,305	-0,308	0,316	0,862
		p-valor	0,810	0,425	0,420	0,408	0,003
<i>Eucalyptus grandis</i>	fC0_sat	R	0,048	0,068	0,051	0,454	0,754
		p-valor	0,929	0,899	0,923	0,366	0,083
	fH0_12	R	0,163	-0,319	-0,320	0,327	0,824
		p-valor	0,676	0,403	0,401	0,391	0,006
	fC0_12	R	0,022	0,301	0,304	0,389	0,716
		p-valor	0,971	0,622	0,619	0,518	0,1740

E. grandis

Para a espécie *E. grandis*, as correlações de forma geral não foram boas. As características anatômicas e propriedades físicas não apresentaram boas correlações entre si, exceto entre a densidade aparente saturada e a fração parede ($r = 84\%$) (Quadro 32). Entre características anatômicas e propriedades mecânicas, a única boa correlação ocorreu entre a densidade aparente saturada e a fração parede com $r = 82,4\%$ (Quadro 33).

Entre as propriedades físicas e mecânicas, a dureza paralela às fibras apresentou correlações altas (da ordem de 90%) com as densidades básica e aparente. A resistência à compressão paralela às fibras apresentou correlações medianas (da ordem de 65% no geral), com as densidades básica e aparente (Quadro 34).

Assim como ocorreu com a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, para *E. grandis* as retratibilidades linear e volumétrica não apresentaram boas correlações com as características anatômicas, nem com as propriedades mecânicas.

Quadro 34 – Resultados das correlações entre as propriedades físicas e propriedades mecânicas para as espécies *Corymbia* (*Eucalyptus*) *citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Variável	Resultado do teste										Variável			
		teste	d_b_cp	d_ap_sat	d_ap_rX	d_ap_dureza	d_ap_cp	ε _{r,r}	ε _{r,l}	ε _{r,l}	ε _{r,v}				
<i>Corymbia citriodora</i>	fH0_v	r	0,809	0,749	0,757	0,708	0,843	0,316	-0,184	-0,197	-0,005				
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,222	0,190	0,975				
	fH0_12	r	0,826	0,802	0,662	0,618	0,901	0,420	-0,015	0,034	0,195				
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,920	0,820	0,193				
	fC0_sat	r	0,856	0,798	0,587	0,382	0,796	0,417	-0,511	-0,363	-0,256				
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,011	0,001	0,030	0,132				
	fC0_12	r	0,857	0,842	0,596	0,494	0,907	0,591	-0,185	-0,181	0,116				
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,280	0,291	0,500				
	fH0_v	r	0,890	0,748	0,801	0,754	0,910	0,251	0,151	0,375	0,278				
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075	0,290	0,007	0,048				
<i>Eucalyptus grandis</i>	fH0_12	r	0,880	0,749	0,824	0,774	0,916	0,237	0,129	0,405	0,258				
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,094	0,367	0,003	0,067				
	fC0_sat	r	0,685	0,596	0,666	0,615	0,704	0,061	0,173	0,193	0,199				
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,679	0,239	0,189	0,175				
	fC0_12	r	0,706	0,584	0,666	0,608	0,757	0,267	0,293	-0,183	0,322				
		p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,072	0,048	0,224	0,029				

7.8 Compilação dos resultados

Diante do discutido neste capítulo, pode-se resumir os resultados obtidos como segue:

Dados gerais

- As árvores estudadas apresentaram valores de DAP, altura e volume bem uniformes em ambas as espécies;
- A densidade básica média dos discos amostrados no DAP das árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi 0,768 g/cm³, valor bem próximo à média aferida nos corpos-de-prova (0,80g/cm³);
- A densidade básica média dos discos amostrados no DAP das árvores de *E. grandis* foi 0,583 g/cm³, valor idêntico à média aferida nos corpos-de-prova (0,58g/cm³);

Densitometria

- A variabilidade dos valores médios de densidade aparente no sentido medula-casca foi maior para as árvores de *E. grandis*;
- A tendência geral observada nas duas espécies foi de aumento da densidade aparente no sentido medula-casca;
- O padrão predominante de variação dos valores médios de densidade aparente na direção radial da espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi de crescimento a partir da medula, seguido de um trecho de estabilização e finalizando com decréscimo perto da casca. Para a espécie *E. grandis* predominou um comportamento de variação crescente a partir da medula, seguido de um trecho de estabilização em direção à casca. Ainda em relação à densidade aparente, os corpos-de-prova nas árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* apresentaram valores mais uniformes em relação àqueles aferidos nas árvores de *E. grandis*;

Características anatômicas

- Nas duas espécies estudadas, tendência geral de variação da frequência de vasos no sentido medula-casca foi de diminuição até a metade do raio aproximadamente, seguida de aumento até a casca.
- A tendência de variação do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca foi de aumento até a metade do raio aproximadamente, seguido de estabilização até a casca. Em relação ao comportamento das árvores na espécie, os dados se apresentaram bem uniformes, com coeficientes de variação baixos para as duas espécies. Para as árvores de *E. grandis* a variação da densidade aparente acompanhou a variação do diâmetro dos vasos;
- Nas árvores *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* observou-se aumento dos valores médios de fração parede no sentido medula-casca. Comparando-se os valores médios de fração parede, apurados nas duas espécies, pôde-se concluir que são estatisticamente iguais. A variação da densidade aparente acompanhou a variação da fração parede no sentido medula-casca;
- As correlações não foram boas entre as características anatômicas, com exceção dos valores de porcentagem de vasos e área de vasos que se correlacionaram bem nas duas espécies e dos valores de frequência de vasos e diâmetro dos vasos que se correlacionaram bem apenas para a espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*;

Propriedades físicas

- Os valores de retratibilidade radial e tangencial apresentaram tendência de aumento no sentido medula-casca na região de madeira juvenil, seguido de diminuição para as duas espécies.
- Em relação às propriedades físicas, observou-se que as densidades aparentes se correlacionam bem, de modo geral, com a densidade básica. Para as duas espécies estudadas não foram observadas boas correlações entre densidade aparente e retratibilidade;

Propriedades mecânicas

- Os valores médios de resistência à compressão paralela às fibras apurados nas árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foram 48,75 MPa (condição saturada) e 72,99 MPa (na umidade de 12%). As árvores de *E. grandis* apresentaram valores médios de resistência à compressão paralela às fibras 34,00 MPa (condição saturada) e 57,15 MPa (na umidade de 12%);
- A resistência à compressão paralela às fibras (condição saturada) apresentou tendência de aumento no sentido medula-casca no lado direito da medula e de diminuição no lado esquerdo – árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. Para a espécie *E. grandis*, a tendência geral foi de aumento dos dois lados da medula (direito e esquerdo);
- A resistência à compressão paralela às fibras (na umidade de 12%) teve tendência de aumento no sentido medula-casca, apresentando ligeira queda na transição entre cerne e alburno, para as duas espécies estudadas. A variação da densidade aparente acompanhou, de forma geral, a variação da resistência à compressão paralela às fibras no sentido medula-casca;
- Os valores médios de resistência à dureza paralela às fibras apurados nas árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foram 73,98 MPa (condição verde) e 83,02 MPa (na umidade de 12%). As árvores de *E. grandis* apresentaram valores médios de resistência à dureza paralela às fibras 44,06 MPa (condição verde) e 61,76 MPa (na umidade de 12%);
- A resistência à dureza paralela às fibras apresentou variação com tendência crescente e uniforme no sentido medula-casca para *E. grandis*. Para *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* houve tendência de crescimento seguido de estabilização ou queda perto da casca;
- Nas árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*, dentre as propriedades mecânicas, apenas a resistência à dureza paralela às fibras se correlacionou bem com todas as outras propriedades mecânicas. Para as árvores de *E. grandis* ocorreram apenas duas boas correlações: entre resistência à dureza paralela às fibras (na umidade de 12%) e resistência à dureza paralela às fibras (condição verde) e entre resistência à dureza

paralela às fibras e resistência à compressão paralela às fibras (ambas na umidade de 12%);

Correlações entre as propriedades

- Dentre as características anatômicas, apenas a fração parede apresentou boas correlações com as densidades básica e aparente. Também se correlacionou bem com a dureza paralela às fibras;
- As densidades básica e aparente se correlacionaram bem com todas as propriedades mecânicas;
- Houve efeito da espécie sobre: todas as densidades estudadas, as retratibilidades tangencial, longitudinal e volumétrica, todas as propriedades mecânicas aferidas e a fração parede.
- Não houve efeito de lado sobre qualquer das variáveis estudadas;
- Houve efeito da característica (madeira juvenil/madeira adulta e cerne/alburno) sobre todas as densidades e propriedades mecânicas avaliadas e sobre a fração parede.

8 CONCLUSÕES

Para as árvores amostradas no presente estudo, pôde-se constatar que:

- Houve efeito da característica (madeira juvenil/madeira adulta e cerne/alburno) sobre a densidade aparente medida por raios X, densidades básica e aparente medidas nos corpos-de-prova, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à dureza paralela às fibras e fração parede. Porém, por meio dos resultados apurados constatou-se que os efeitos causados pelas diferenças entre madeira juvenil e madeira adulta são mais marcantes que os efeitos causados pelas diferenças entre madeira de cerne e madeira de alburno.
- O padrão predominante de variação dos valores médios de densidade aparente na direção radial da espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* foi de crescimento a partir da medula, seguido de um trecho de estabilização e finalizando com leve decréscimo perto da casca (madeira de alburno). Para a espécie *E. grandis* predominou um comportamento de variação crescente a partir da medula, seguido de um trecho de estabilização em direção à casca. De forma geral, conclui-se que houve tendência de aumento da densidade aparente no sentido medula-casca.
- Na direção radial, a variação da resistência à compressão paralela às fibras teve tendência de aumento (próximo à medula), apresentando ligeira queda na transição entre cerne e alburno (próximo à casca). Esta variação acompanhou, de forma geral, a

variação da densidade aparente no sentido medula-casca, para as duas espécies estudadas.

- A resistência à dureza paralela às fibras apresentou variação com tendência crescente e uniforme no sentido medula-casca para *E. grandis*. Para *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* houve tendência de crescimento seguido de estabilização ou queda perto da casca.
- Houve efeito de espécie sobre a fração parede e todas as propriedades físicas (com exceção da retratibilidade radial) e propriedades mecânicas, ou seja, os valores das referidas variáveis diferem entre as espécies *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.
- Não houve efeito de lado sobre quaisquer das características anatômicas, propriedades físicas ou propriedades mecânicas.
- Para as duas espécies estudadas, dentre as características anatômicas, apenas a fração parede apresentou boas correlações com as densidades básica e aparente. A fração parede também se correlacionou bem com a dureza paralela às fibras.
- As densidades básica e aparente se correlacionaram bem com todas as propriedades mecânicas. Na continuidade deste trabalho, considera-se como fundamental uma amostragem com maior número de corpos-de-prova, a fim de se obter resposta mais clara sobre o comportamento das características anatômicas em função das transições entre as três regiões características observadas na direção radial (cerne de madeira juvenil, cerne de madeira adulta e alburno de madeira adulta).
- Houve efeito da característica (madeira juvenil/madeira adulta e cerne/alburno) sobre todas as densidades e propriedades mecânicas avaliadas e sobre a fração parede.

9 BIBLIOGRAFIA

- ALFONSO, V.A. Caracterização anatômica da madeira e casca das principais espécies de eucalipto do Estado de São Paulo. *Silvicultura*, São Paulo, 8(28): p.720-725, 1983.
- ALZATE, S.B.A. Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla*. Piracicaba, USP, 2004. 133p. Tese (Doutoramento). – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of ASTM. Denver, 1997, p. 23-53 (D 143-94 – Standard methods of testing small clear specimens of timber).
- AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus* sp por meio da densitometria de raios X. *Revista Ciência e Tecnologia*, Piracicaba, v.11/12, n.6, p. 17-23, 1998.
- AMOS, G.C.; BISSET, I.J.W.; DADSWELL, H.E. Wood structure in relation to growth in *Eucalyptus delegatensis*. *Australian Journal of Scientific Research – Biological Science*, n. 3, p. 393-412. 1950.
- ARULCHELUAM, K. Variation of fiber length and density in *Eucalyptus robusta* grown in Ceylon. *The Ceylon Forester*, 10(1/2): p. 19-32. 1971.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de madeira (NBR 7190). Rio de Janeiro, ABNT, 1997, 107 p.

- BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.3, p.371-380, 2003.
- BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. Caracterização elástica da madeira de *Eucalyptus citriodora*. *Revista Cerne*, Lavras, v.9, n.1, p.69-83, 2003.
- BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. por ultra-som. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.19-28, 2005.
- BAMBER, R.K.; HUMPHREYS, F.R. A preliminary study of some wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Journal of the Institute of Wood Science*, v. 11, p. 66-70, 1963.
- BAMBER, R.K.; FLOYD, A.G.; HUMPHREYS, F.R. Wood properties of flooded gum. *Australian Forestry*, Canberra, v. 33, p. 3-12, 1969.
- BAMBER, R.K.; CURTIN, R.A. Some properties of wood in blackbutt trees of two ages. *Australian Forestry*, Canberra, v.36, n.3, p.226-34. 1978.
- BAMBER, R.K.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the wood properties of *Eucalyptus grandis*. *Australian Forest Research*, v. 12, p. 163-167, 1982.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Madeira de *Eucalyptus* como matéria prima para indústria de celulose e papel. *PRODEPEF*, v. 13, 145p.1976.
- BENDTSEN, B.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. *Wood and Fiber Science*, Madison, v.18, n.1, p. 21-38,1986.
- BENJAMIN, C.A. Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos. p. 131. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- BISSET, I.J.W.; DADSWELL, H.E. The variation of fiber length within one tree of *Eucalyptus regnans*. *Australian Forestry*, Camberra, 13(2): p. 81-96, 1949.

- BODIG, J.; JAYNE, B.A. Mechanics of wood and wood composites. Malabar: Krieger, 712p. 1993.
- BRASIL, M.A.M.; VEIGA, R.A.A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica nas seções transversais do caule, da base do tronco para a copa em *Eucalyptus grandis*. *IPEF*, Piracicaba, v.15, p.73-82, 1977.
- BRASIL, M.A.M.; VEIGA, R.A.A.; MELO, H.A. Densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 3 anos de idade. *IPEF*, Piracicaba, v.19, p. 63-76, 1979.
- CARVALHO, A. Estudos, Ensaio e Observações de Madeira de Eucalipto - *Eucalyptus globulus* . Estudos e Divulgação Técnica Direção Geral dos Serviços Florestais e Agrícolas. 1963. 159p.
- CHUDNOFF, M.; TISCHLER, K. Fiber morphology of *Eucalyptus camaldulensis* and the relation of wood anatomy to certain physical and mechanical properties. LaYaaran (Suplement 1): p. 1-22, 1963.
- CLARKE, C.R.E. The estimation of genetic parameters of pulp and paper properties in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and their implications for tree improvement. MSc Thesis, Department of Genetics, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1990.
- CRUZ, C.R.; LIMA, J.T.; MUNIZ, G.I.B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. *Scientia Florestalis*, n. 64, p. 33-47, 2003.
- DADSWELL, H.E. Wood structure variations occurring during growth and their influence on properties. *Journal of the Institute of Wood Science*, v.1, n. 1, p. 2-233, 1958.
- DADSWELL, H. E. Tree growth-wood property inter -relationships. In: *Special Field Institute in Forest Biology - Proceedings*. p. 3-86, 1960.
- DAVIDSON, J. Variation association and inheritance of morphological and wood characters in an improvement program for *Eucalyptus deglupta*. Thesis PhD. Australian National University, Canberra. 1972. 263p.

- DOWNES, G.M.; HUDSON, I.L.; RAYMOND, C.A.; DEAN, G.H.; MICHELL, A.J.; SCHIMLECK, L.R.; EVANS, R.; MUNERI, A. Sampling plantation eucalypts for wood and fiber properties. Australia: CSIRO Publishing, 1997. 132p.
- FERNANDES, P. de S.; BORGES FLORSHEIM, S.M.; ROCHA, F.T.; MONTAGNA, R.G.; COUTO, H.T.Z. Tensões de crescimento em procedências de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas relações com as características das fibras e densidade básica. *Review Instituto Florestal* – S.P., v.1, p. 215-234, 1989.
- FERRAZ, E.S.B. Growth rings and climate in *Eucalyptus*. *Silvicultura*, v.21, p. 821-822, 1983.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. Piracicaba, USP, 1968. 72p. Tese (Doutoramento). – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1968.
- FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira em povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. *IPEF*, Piracicaba, v.4, p. 65-89, 1972.
- FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: *Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos*, 3., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: EMBRAPA/ SIF/ IPEF, 1997. p. 15-22.
- FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; GARCIA, W.; BRITO, J.O. Celulose kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. *IPEF*, Piracicaba, n. 12, p. 127-142, 1976.
- HANS, A.S. Variation in wood density of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Eucalyptus tereticornis* Sm. *Zambian Journal of Science and Technology*, v. 1, p. 109-112, 1976.
- HANS, A.S.; BURLEY, J.; WILLIAMSON, P. Wood quality in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, grown in Zambia. *Holzforschung*, v. 26, p. 138-141, 1972.
- HASELEIN, C.R.; LOPES, M.C.; SANTINI, E.J.; LONGHINI, S.J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D.L.G.; MENEZES, L.F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

- HELLMEISTER, J.C. Sobre a determinação das características físicas da madeira. São Carlos: EESC/USP, 119p., 1982. (Apostila).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. São Paulo: IPT, 189 p., 1985. (Boletim ABPM n. 36).
- JANKOWSKY, I.P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. *Circular Técnica IPEF*, Piracicaba, v.81, p. 1-18, 1979.
- JOHANSEN, D.A. Plant microtechnique. New York: MacGraw-Hill. 1940. 533p.
- JOZSA, L.A.; MIDDLETON, G.R. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Special publication No SP-34. Forintek Canada Corp. Vancouver. B.C., 1994, 42p.
- LARA PALMA, H.A.; BALLARIN, A.W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. *Scientia Florestalis*, n. 64, p. 13-22, 2003.
- LOBÃO, M.S.; DELLA LÚCIA, R.M.; MOREIRA, M.S.S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. *R. Árvore*, v. 28, n.6, p. 889-894, 2004.
- MALAN, F.S. Wood density variation in four trees of South African grown *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *South African Forestry Journal*, Pretoria, v. 144, p. 36-42, 1988.
- MALAN, F.S. *Eucalyptus* improvements for lumber production. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria, São Paulo, 1995. Anais... São Paulo, IPEF/IPT, 1995, p. 1-19.
- MALAN, F.S.; GERISCHER, G.F.R. Wood property differences in South African grown *Eucalyptus grandis* trees of different growth stress intensity. *Holzforschung*, v. 41, p. 331-335, 1987.
- McALISTER, R.; CLARK, A. Shrinkage of juvenile and mature wood of loblolly pine from the locations. *Forest Products Journal*, v.42,n.7/8,p. 25-28, 1992.
- McALISTER, R.; POWERS, H. Physical and mechanical properties of half-sib families of rust-resistant loblolly pine. *Forest Products Journal*, v.42,n.11/12,p. 15-20, 1992.

- McALISTER, R.; POWERS, H. A comparison of some physical and mechanical properties of full-sib and half-sib loblolly pine. *Forest Products Journal*, v.44,n.2,p. 42-44, 1994.
- MEGRAW, R.A. Wood quality factors in Loblolly pine. *Tappi*, Press Atlanta, Georgia, 1985. 89p.
- MOKFIENSKI, A.; GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibra. In: *Colóquio Internacional sobre celulose kraft de Eucalipto*. Viçosa, p. 15-38, 2003.
- MOTHE, F.; DUCHANOIS, G.; ZANNIER, B.; LEBAN, J.M. Microdensitometric analysis of wood samples: data computation method used at Inra-ERQB (Cerd Program). *Annals des Forestiers Sciences*, v.55, n.3, p. 301-313, 1998.
- NICHOLLS, J.W.P.; GRIFFIN, A.R. Variation in wood characteristics in a field trial of *Eucalyptus obliqua*, *E. regnans* and some intermediate forms. *Australian Forest Research*, v. 8, p. 93-102, 1978.
- NOGUEIRA, M.C.J.A.; LAHR, F.A.R. Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, 1992, São Carlos. *Anais ...* São Carlos: LaMEM, EESC, USP, 1992. v.1., p. 37-48.
- OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. *Revista Árvore*, Viçosa, v 27, n. 3, p. 381-385, 2003.
- OLIVEIRA, J.T.S.; HELLMEISTER, J.C.; SIMÕES, J.W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil. *Scientia Forestalis, IPEF*, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, 1999.
- OLIVEIRA, J.T.S.; HELLMEISTER, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de Eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa, v 29, n. 1, p. 115-127, 2005.
- PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. Textbook of wood technology. New York: Mc-Graw Hill, 4.ed, 722p. 1980.

- PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1. 1995. Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba: IPEF, ESALQ, USP, 1995. p. 50-58.
- RAMSAY, W.; BRIGGS, D. Juvenile wood: has it come of age? In: *A technical workshop: juvenile wood – what does it mean to forest management and forest products*, Madison, 1985. Proceedings. Madison: Forest Products Research Society, p. 5-11, 1986.
- REZENDE, M.A.; ESCOBEDO, J.F.; FERRAZ, E.S.B. Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. *IPEF*, Piracicaba, n. 39, p. 33-40, 1988.
- RODRIGUES, R.A.D. Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.
- ROQUE, R.A.M. Variação da anatomia e da densidade básica da madeira de *Gmelina arborea* (Roxb.), em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. Piracicaba, USP, 2005. 181p. Tese (Doutoramento). – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2005.
- RUDMAN, P.; MALAJCZUK, N. Wood density and fiber length variation in *Eucalyptus urophylla*. Australian National University, Canberra (não publicado). 1968. 20p.
- RUDMAN, P.; HIGGS, M.; DAVIDSON, J.; MALAJCZUK, N. Breeding Eucalypts for wood properties. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 2, Washington. p. 7-16, 1969.
- RUDMAN, P. The influence of genotype and environment on wood properties of juvenile *Eucalyptus camaldulensis*. *Silvae Genetica*, Frankfurt, v.19, n.2-3, p. 49-54, 1970.
- SALES, A.; LAHR, F.A.R. Características de resistência mecânica de espécies de eucalipto do Estado de São Paulo. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM

- ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, 1992, São Carlos. *Anais ...* São Carlos: LaMEM, EESC, USP, 1992. v.3, p. 91-101.
- SASS, J.E. Botanical microtechnique. 2nd. Iowa: State College Press. 1951. 228p.
- SILVA, D.A. da; TRUGILHO, P.F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se metodologia de análises de imagem submetida a diferentes temperaturas. *Revista Cerne*, Lavras, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.
- SILVA, J.C. Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. Curitiba, UFPR, 2002. 159p. Tese (Doutoramento). – Universidade Federal do Paraná, 2002.
- STERN-COHEN, S.; FAHN, A. Structure and variation of wood fibers of *Eucalyptus gomphocephala* along and across the stem. *La-Yaaran*, v.14, n.4, p. 1-13, 1964.
- TAJIMA, T. The growth and wood properties. Fac. Agr. Tokyo, Univ. Tokyo, 1967. 208 p.
- TAYLOR, F.W. Variation in anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. *Appita Journal*, v. 27, p. 171-178, 1973a.
- TAYLOR, F.W. Differences in the wood of *Eucalyptus grandis* grown in different parts of South Africa. Special Report . Hout 75. Council for Scientific and Industrial Research: Pretoria, South Africa, 1973b.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. *IPEF*, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, 1985a.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. *IPEF*, Piracicaba, n. 30, p. 45-54, 1985b.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. *IPEF*, Piracicaba, n. 36, p. 35-42, 1987.

- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. *Revista Cerne*, Lavras, v.9, n. 1, p. 66-80, 2003.
- USDA – United States Department of Agriculture – Wood handbook: wood as an engineering material. Madison: FPL, 474p. 1999.
- WENZL, H.F.J. The chemical technology of wood. New York, Academic Press. 692 p. 1970.
- WILKINS, A.P. Influence of silvicultural treatment on growth and wood density of *Eucalyptus grandis* grown on a previous pasture site. *Australian Forestry*, Canberra, v. 53, p. 168-172, 1990.
- WILKINS, A.P.; HORNE, R. Wood-density variation of young plantation grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. *Forest Ecology and Management*, v. 40, p. 39-50, 1991.
- YING, L.; KRETSCHMANN, D.; BENDTSEN, B. Longitudinal shrinkage in fast-grown loblolly pine plantation wood. *Forest Products Journal*, Madison, v.44, n.1, p. 58-62, 1994.
- ZOBEL, B.J. Inherent differences affecting wood quality in fast-grown plantations. IUFRO Conf Div 50 Oxford, England, p. 169-188, 1980.
- ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. Wood variation: its causes and control. Germany: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

ANEXOS

ANEXO A

Resultados obtidos na microscopia

Quadro 35 – Área e porcentagem dos vasos para três árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *E. grandis*.

Espécie	Árvore	Corpo-de-prova	Área de vasos (mm ²)			Porcentagem de vasos (%)		
			médias	desvpad	cv	médias	desvpad	cv
<i>Corymbia citriodora</i>	2	E1	0,76 (0,60; 1,02)	0,16	20,62	11,59 (9,14; 15,54)	2,39	20,62
		E2	0,70 (0,62; 0,79)	0,06	9,13	10,56 (9,38; 12,04)	0,96	9,13
		E3	0,37 (0,31; 0,40)	0,04	10,96	5,57 (4,76; 6,10)	0,61	10,96
	3	D1	0,79 (0,66; 0,95)	0,12	15,35	11,95 (10,05; 14,50)	1,83	15,35
		D3	0,56 (0,45; 0,63)	0,06	11,68	8,43 (6,82; 9,54)	0,98	11,68
		D4	0,71 (0,58; 0,88)	0,12	17,32	10,77 (8,86; 13,33)	1,87	17,32
	5	E1	0,65 (0,60; 0,71)	0,05	7,28	9,94 (9,05; 10,81)	0,72	7,28
		E3	0,54 (0,46; 0,74)	0,13	24,66	8,19 (6,95; 11,20)	2,02	24,66
		E4	0,39 (0,31; 0,45)	0,07	16,66	5,97 (4,78; 6,80)	0,99	16,66
	1	D1	0,61 (0,46; 0,79)	0,11	18,63	9,19 (7,05; 11,93)	1,71	18,63
		D3	0,77 (0,71; 0,86)	0,06	7,96	11,74 (10,77; 13,10)	0,93	7,96
		D6	0,62 (0,53; 0,69)	0,05	8,92	9,35 (8,11; 10,55)	0,83	8,92
<i>E. grandis</i>	2	E1	0,57 (0,50; 0,69)	0,06	10,86	8,70 (7,67; 10,43)	0,94	10,86
		E3	0,61 (0,54; 0,66)	0,04	6,87	9,20 (8,24; 10,03)	0,63	6,87
		E4	0,50 (0,41; 0,57)	0,06	11,16	7,63 (6,21; 8,63)	0,85	11,16
	5	D1	0,71 (0,63; 0,77)	0,06	8,37	10,73 (9,54; 11,74)	0,90	8,37
		D4	0,74 (0,60; 0,91)	0,11	14,15	11,31 (9,14; 13,89)	1,60	14,15
		D6	0,73 (0,61; 0,89)	0,10	13,95	11,02 (9,19; 13,52)	1,54	13,95

ANEXO B

Resultados dos testes de comparação de médias

Quadro 36 – Valores de p-Tukey do teste de comparação de médias para avaliação de diferença estatística entre as características a um nível de significância de 5% (variável característica anatômica).

espécie	lado	características comparadas	Variável				
			frequência de vasos	área de vasos	diâmetro dos vasos	porcentagem de vasos	fração parede
			P - Tukey	P - Tukey	P - Tukey	P - Tukey	P - Tukey
C	D	AlAd - CeAd	0,97911	0,42826	0,98240	0,41814	0,92536
C	D	AlAd - CeJu	0,53622	0,77014	0,70435	0,77039	0,01639 **
C	D	CeAd - CeJu	0,44430	0,20535	0,80017	0,20038	0,02151 **
C	E	CeAd - CeJu	0,98866	0,07606	0,80292	0,07644	0,00774 **
G	D	AlAd - CeAd	0,89202	0,75130	0,99202	0,73126	0,38016
G	D	AlAd - CeJu	0,90263	0,95196	0,46183	0,93396	0,00373 **
G	D	CeAd - CeJu	0,71287	0,87451	0,64230	0,87771	0,02142 **
G	E	CeAd - CeJu	0,70942	0,70557	0,91445	0,72519	0,73120

Quadro 37 – Valores de p-Tukey do teste de comparação de médias para avaliação de diferença estatística entre as características a um nível de significância de 5%(variável propriedade física).

espécie	lado	características comparadas	Variável				
			dens. bas. do corpo-de -prova	dens. ap. do corpo-de-prova - sat.	dens. ap. do corpo-de-prova - 12%	dens. ap. rX - 12%	dens. ap. rX - 12% - reg. dureza
			P - Tukey	P - Tukey	P - Tukey	P - Tukey	P - Tukey
C	D	AlAd - CeAd	0,60507	0,99703	0,77809	0,45423	0,47727
C	D	AlAd - CeJu	0,00084 **	0,15073	0,00104 **	0,08954	0,38761
C	D	CeAd - CeJu	0,00205 **	0,07596	0,00093 **	0,00255 **	0,03074 **
C	E	AlAd - CeAd	0,57889	0,97673	0,96382	0,63888	0,27068
C	E	AlAd - CeJu	0,00258 **	0,27449	0,04307 **	0,04648 **	0,11261
C	E	CeAd - CeJu	0,00398 **	0,17643	0,01204 **	0,00262 **	0,00116 **
G	D	AlAd - CeAd	0,99546	0,61243	0,91880	0,81336	0,96990
G	D	AlAd - CeJu	0,00731 **	0,00571 **	0,00044 **	0,00089 **	0,00439 **
G	D	CeAd - CeJu	0,00128 **	0,01803 **	0,00011 **	0,00182 **	0,00300 **
G	E	AlAd - CeAd	0,33642	0,57906	0,17196	0,96851	0,87368
G	E	AlAd - CeJu	0,00009 **	0,00024 **	0,00000 **	0,02432 **	0,01109 **
G	E	CeAd - CeJu	0,00084 **	0,00054 **	0,00003 **	0,00280 **	0,00232 **

Quadro 38 – Valores de p-Tukey do teste de comparação de médias para avaliação de diferença estatística entre as características a um nível de significância de 5% (variável propriedade mecânica).

espécie	lado	características comparadas	Variável			
			f_{C0} - saturado	f_{C0} - 12%	f_{H0} - verde	f_{H0} - 12%
			P - Tukey	P - Tukey	P - Tukey	P - Tukey
C	D	AlAd - CeAd	0,60115	0,91421	0,96419	0,95356
C	D	AlAd - CeJu	0,00109 **	0,04368 **	0,00007 **	0,00010 **
C	D	CeAd - CeJu	0,00284 **	0,00269 **	0,00003 **	0,00005 **
C	E	AlAd - CeAd	0,88761	0,72299	0,12334	0,15491
C	E	AlAd - CeJu	0,31698	0,51555	0,16464	0,29974
C	E	CeAd - CeJu	0,38505	0,03659 **	0,00006 **	0,00039 **
G	D	AlAd - CeAd	0,59671	0,20635	0,29297	0,33771
G	D	AlAd - CeJu	0,09406	0,56297	0,00004 **	0,00003 **
G	D	CeAd - CeJu	0,33884	0,00424 **	0,00168 **	0,00085 **
G	E	AlAd - CeAd	0,91878	0,98580	0,80804	0,77634
G	E	AlAd - CeJu	0,26659	0,12527	0,00415 **	0,00118 **
G	E	CeAd - CeJu	0,05143	0,07442	0,00089 **	0,00017 **

ANEXO C

Variação da retratibilidade volumétrica da madeira no sentido medula-casca

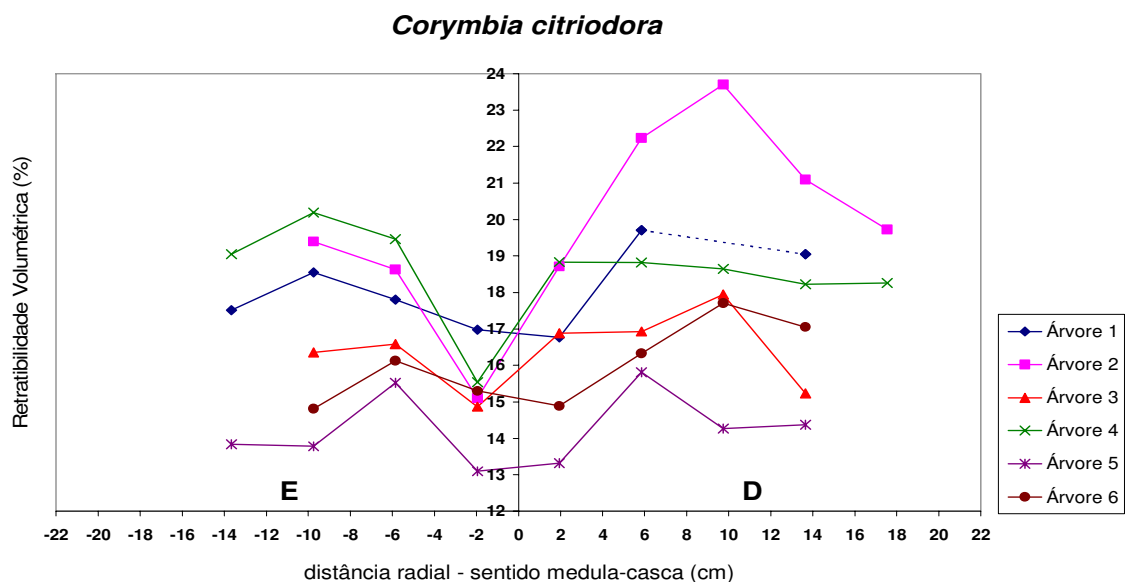


Figura 40 – Variações da retratibilidade volumétrica das 6 árvores de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.

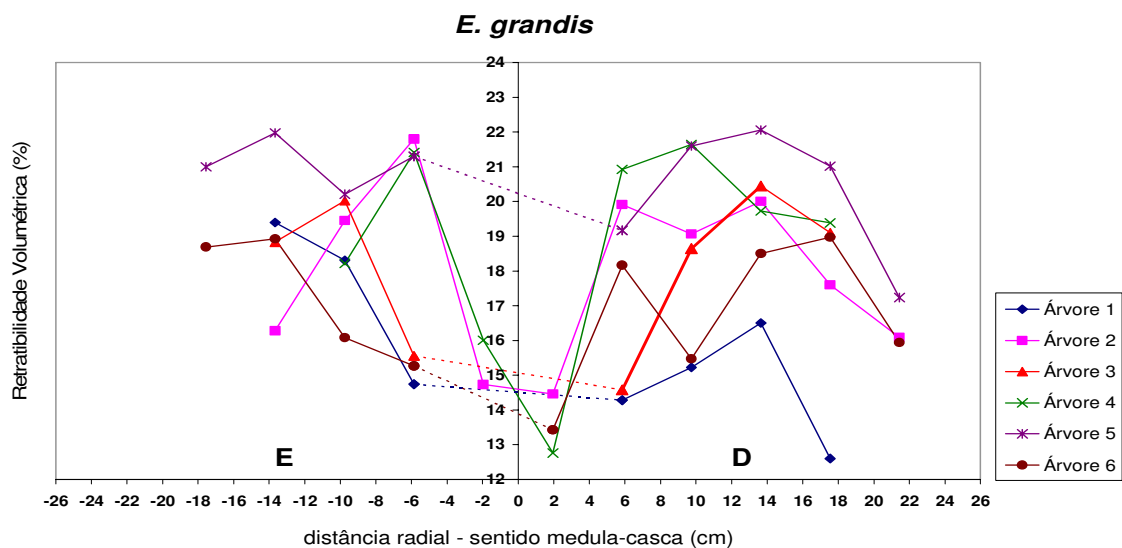


Figura 41 – Variações da retratibilidade volumétrica das 6 árvores de *E. grandis* no sentido medula-casca, medidas dos lados esquerdo (E) e direito (D) da medula.

ANEXO D

Valores de p-valor para o teste de variância – modelo hierárquico – significância de 5%.

Quadro 39 – Avaliação do modelo – característica anatômica.

Variável	Modelo	
	F	p-valor
frequência de vasos	0,75	0,6634
área de vasos	3,13	0,1426
diâmetro dos vasos	0,75	0,6638
porcentagem de vasos	3,09	0,1454
fração parede	23,23	0,0043**

Quadro 40 – Avaliação do modelo – propriedade física.

Variável	Modelo	
	F	p-valor
dens. bas. do corpo-de -prova	21,51	< 0,0001 **
dens. ap. do corpo-de-prova - sat.	12,70	< 0,0001 **
dens. ap. do corpo-de-prova - 12%	22,60	< 0,0001 **
dens. ap. rX - 12%	30,00	< 0,0001 **
dens. ap. rX - 12% - reg. dureza	21,35	< 0,0001 **
retratibilidade radial	0,95	0,5049
retratibilidade tangencial	1,29	0,2630
retratibilidade longitudinal	2,45	0,0168 **
retratibilidade volumétrica	0,97	0,4884

Quadro 41 – Avaliação do modelo – propriedade mecânica.

Variável	Modelo	
	F	p-valor
f_{C0} - saturado	8,12	< 0,0001 **
f_{C0} - 12%	9,41	< 0,0001 **
f_{H0} - verde	24,50	< 0,0001 **
f_{H0} - 12%	13,91	< 0,0001 **

ANEXO E

Variação da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras (condição saturada) da madeira no sentido medula-casca

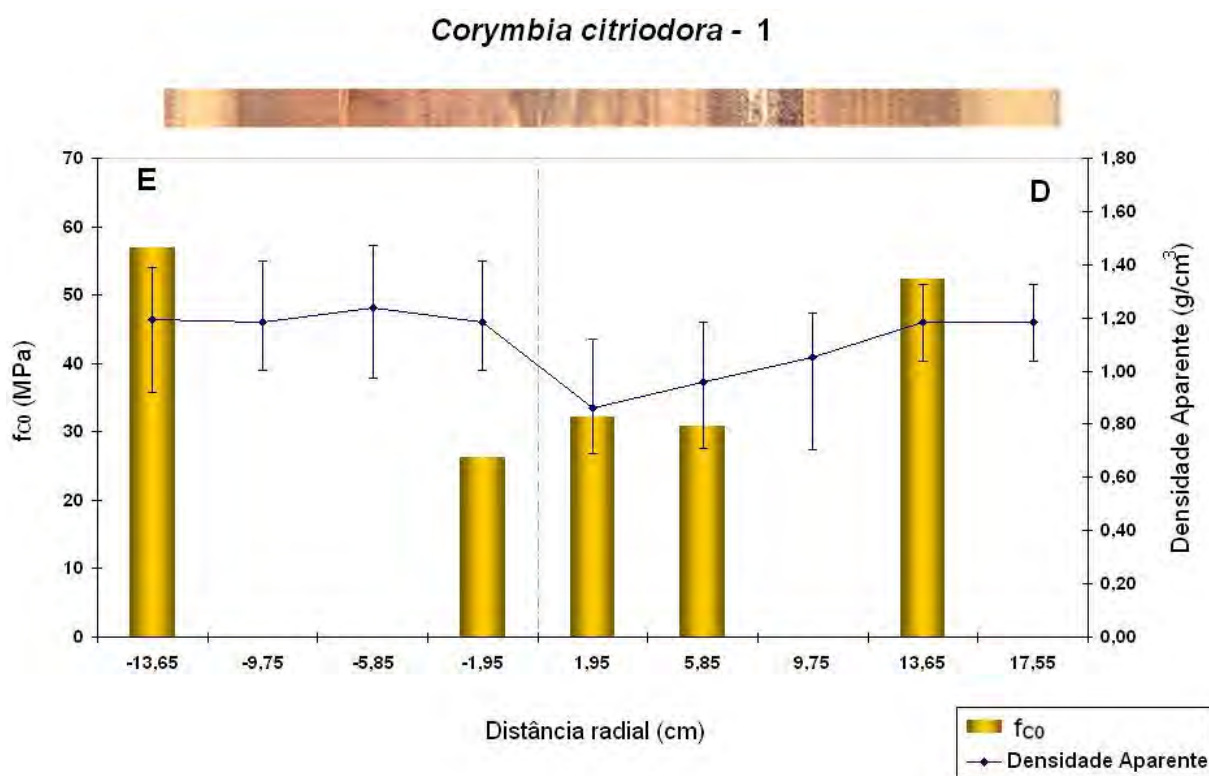


Figura 42 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore C1 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.

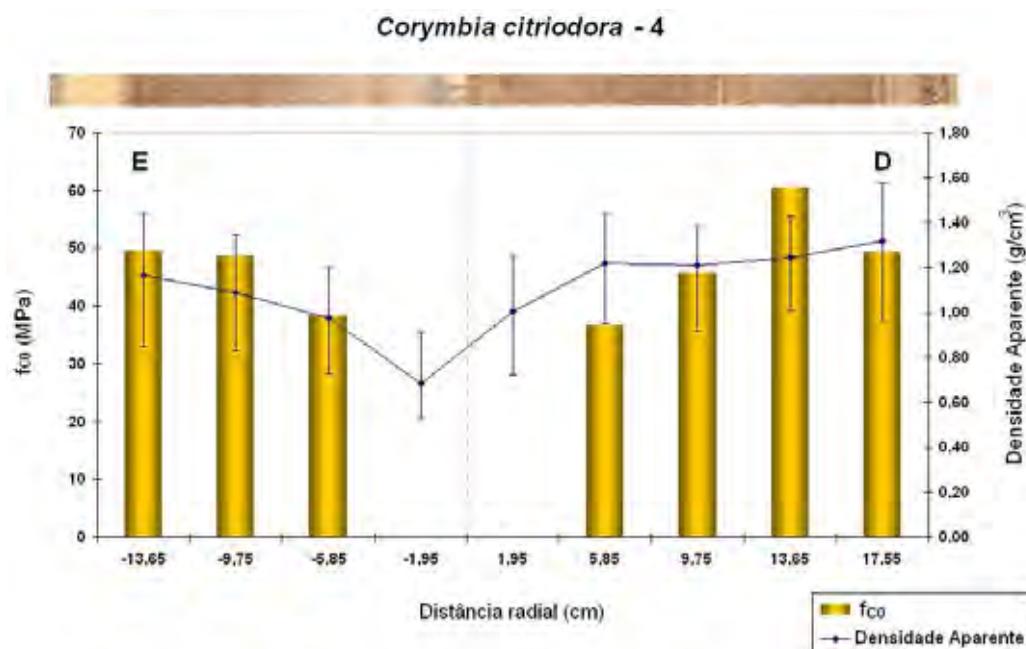


Figura 43 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore C4 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.

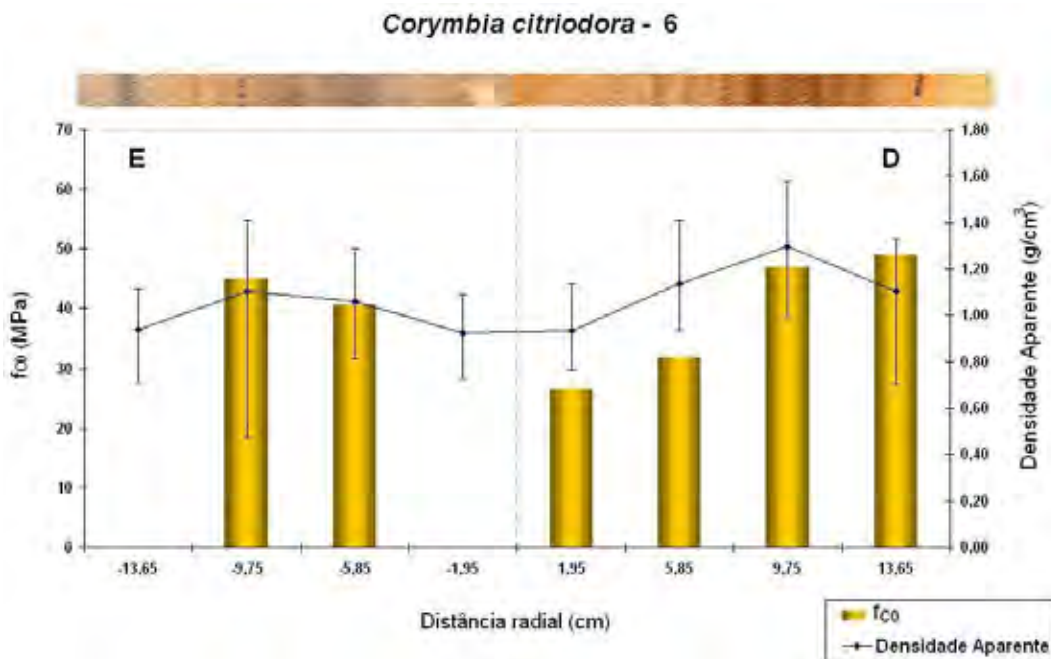


Figura 44 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore C6 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.

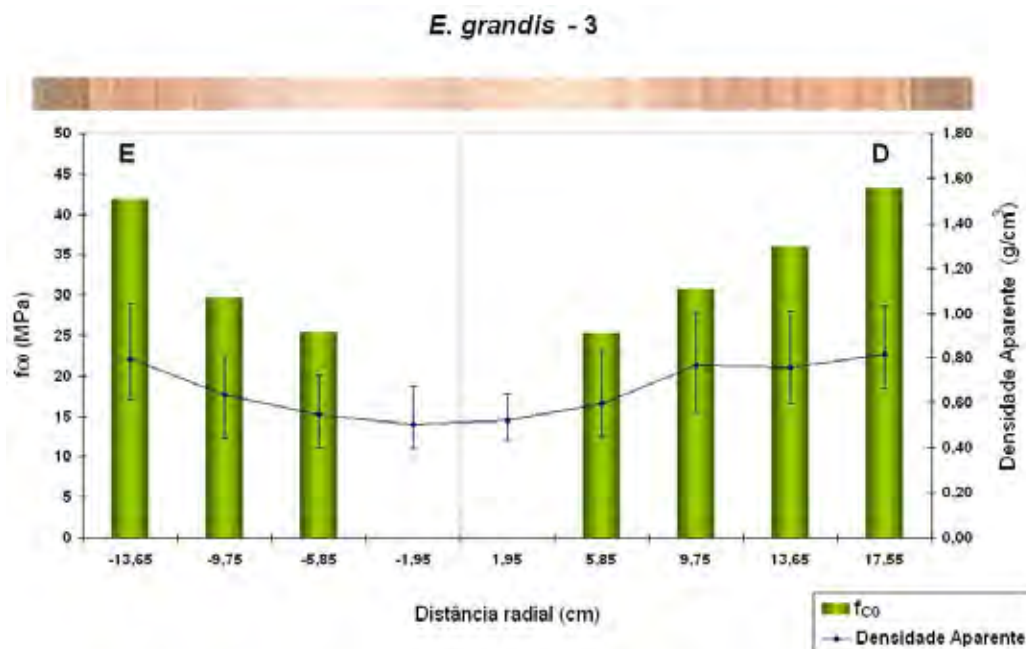


Figura 45 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore G3 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.

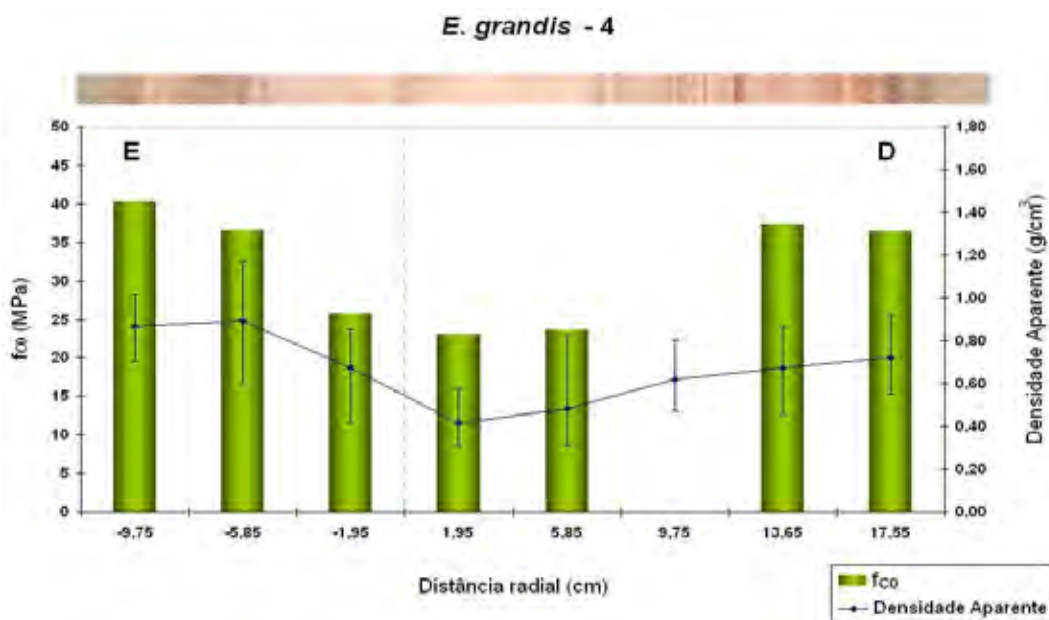


Figura 46 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore G4 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.

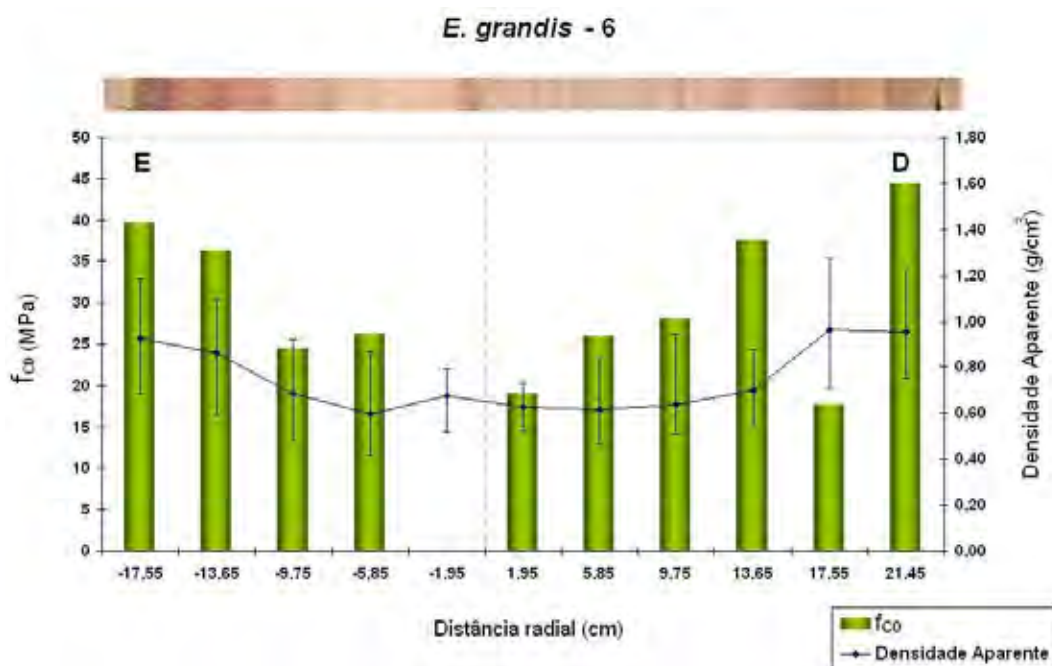


Figura 47 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore G6 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição saturada.

ANEXO F

Variação da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras (12% de umidade) da madeira no sentido medula-casca

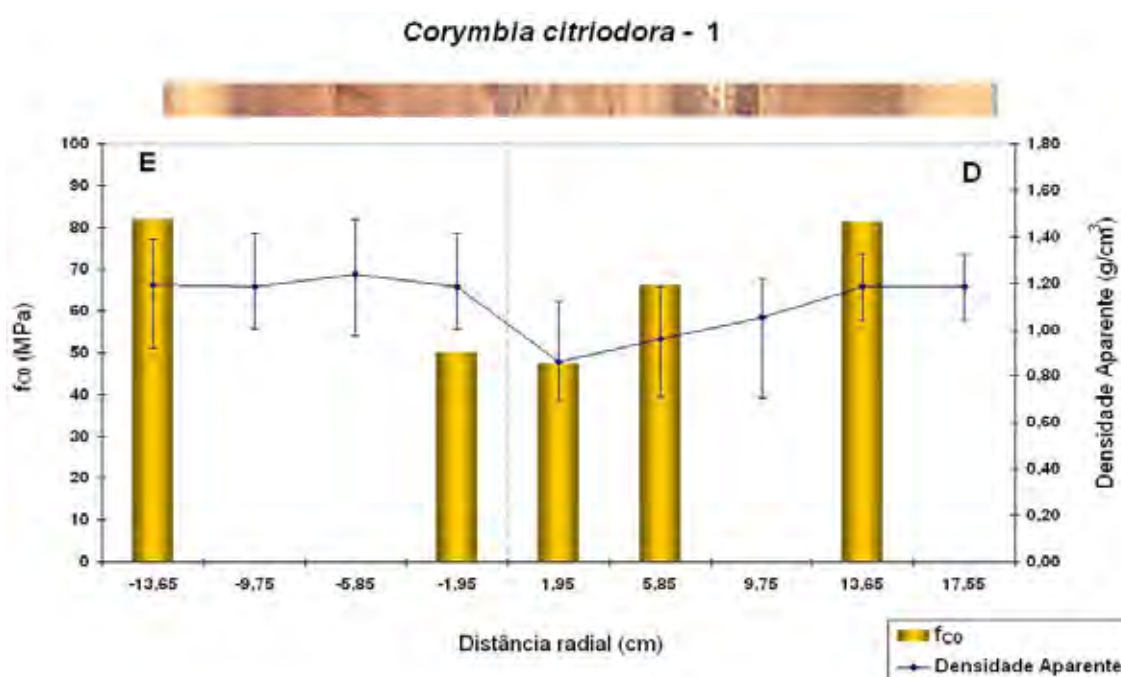


Figura 48 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore C1 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – na umidade de 12%.

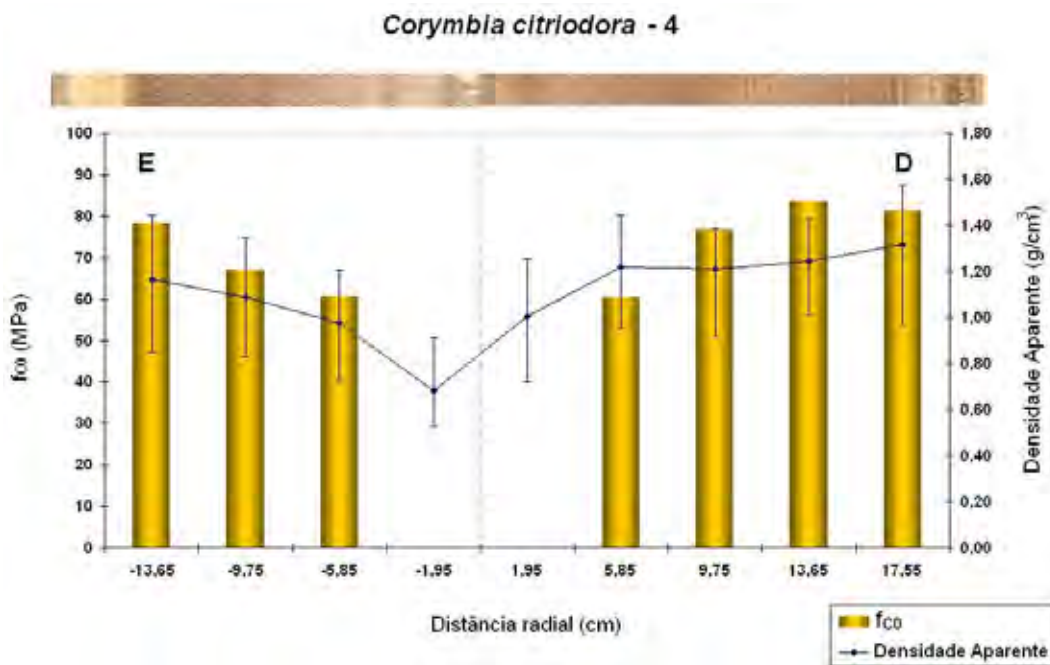


Figura 49 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore C4 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – na umidade de 12%.

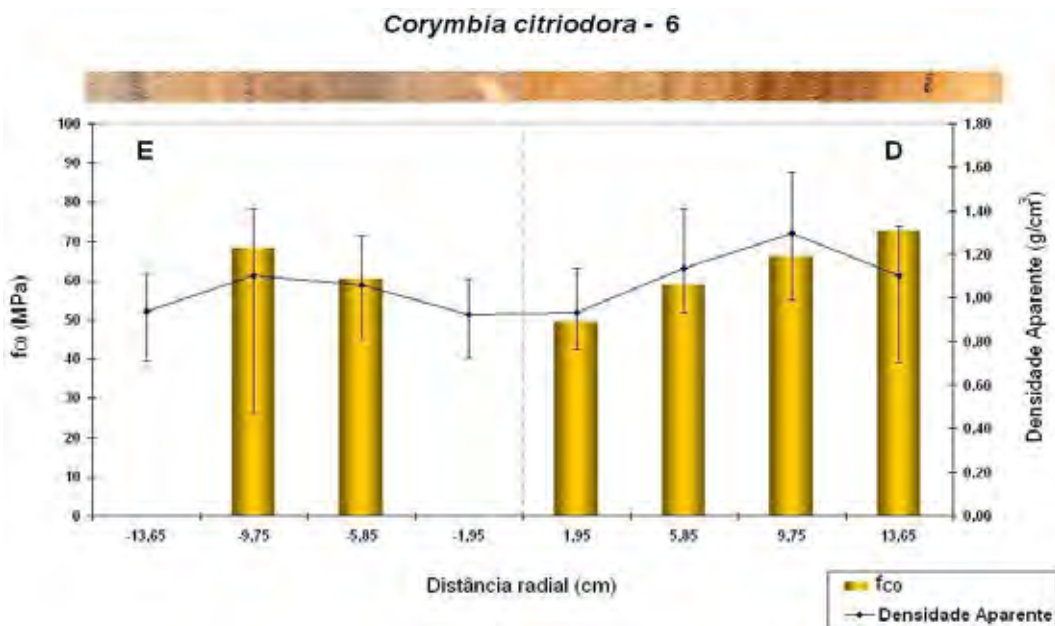


Figura 50 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore C6 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – na umidade de 12%.

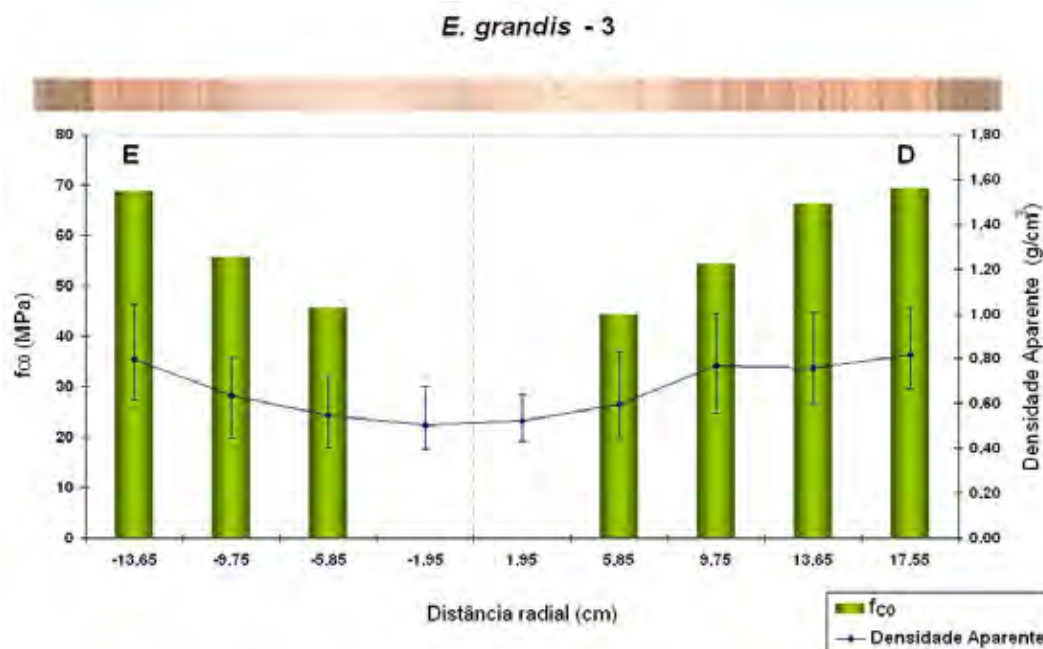


Figura 51 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore G3 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – na umidade de 12%.

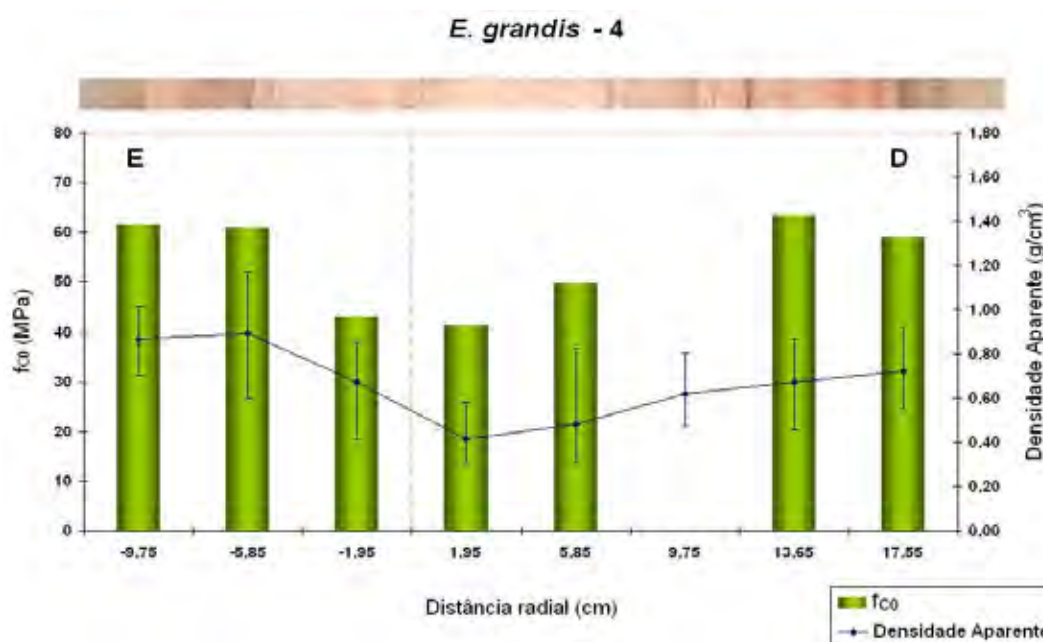


Figura 52 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore G4 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – na umidade de 12%.

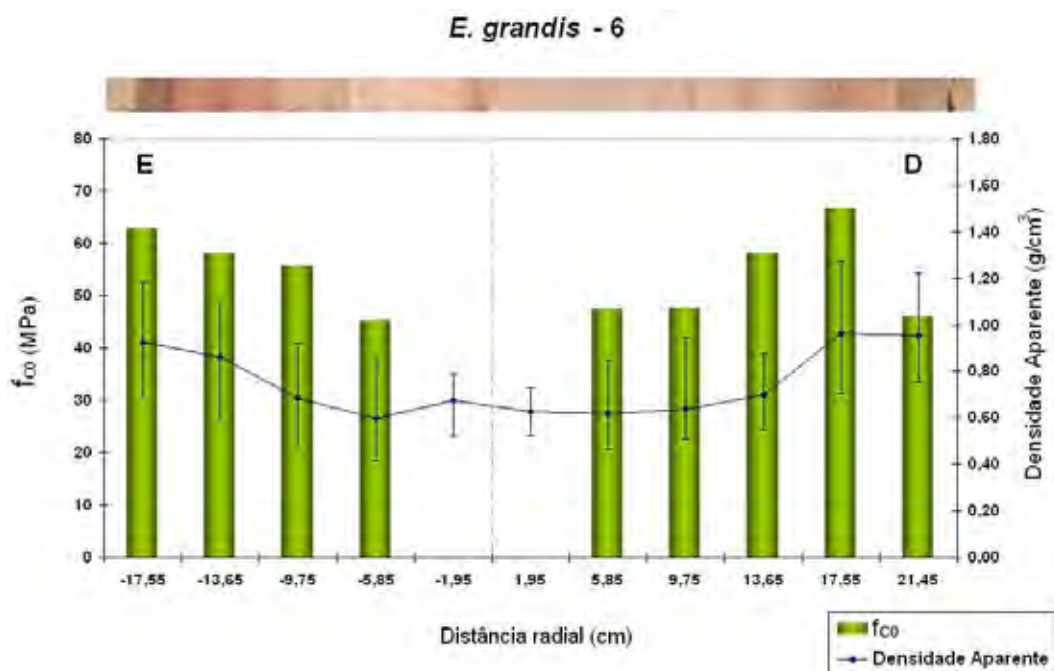


Figura 53 – Variações da densidade aparente média e da resistência à compressão paralela às fibras da madeira da árvore G6 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – na umidade de 12%.

ANEXO G

Variação da densidade aparente média – medida na região correspondente ao ensaio de dureza – e da resistência à dureza paralela às fibras (condição verde) da madeira no sentido medula-casca

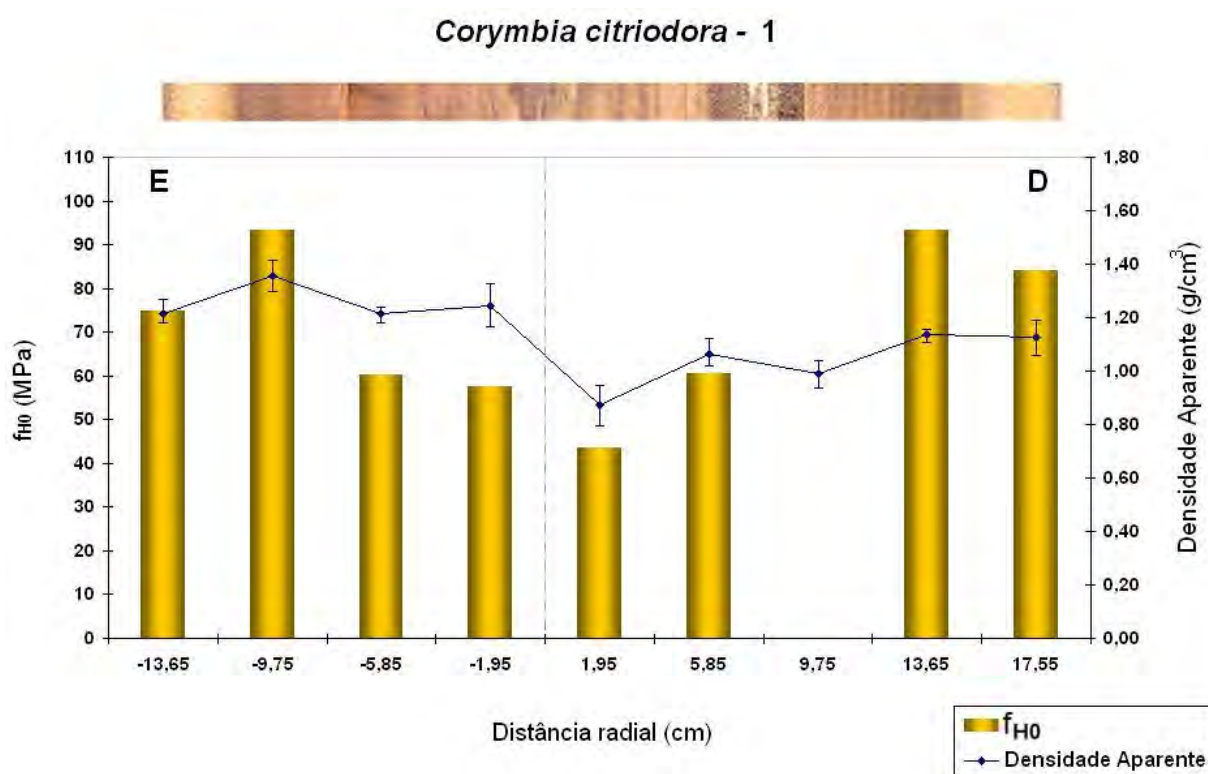


Figura 54 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore C1 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.

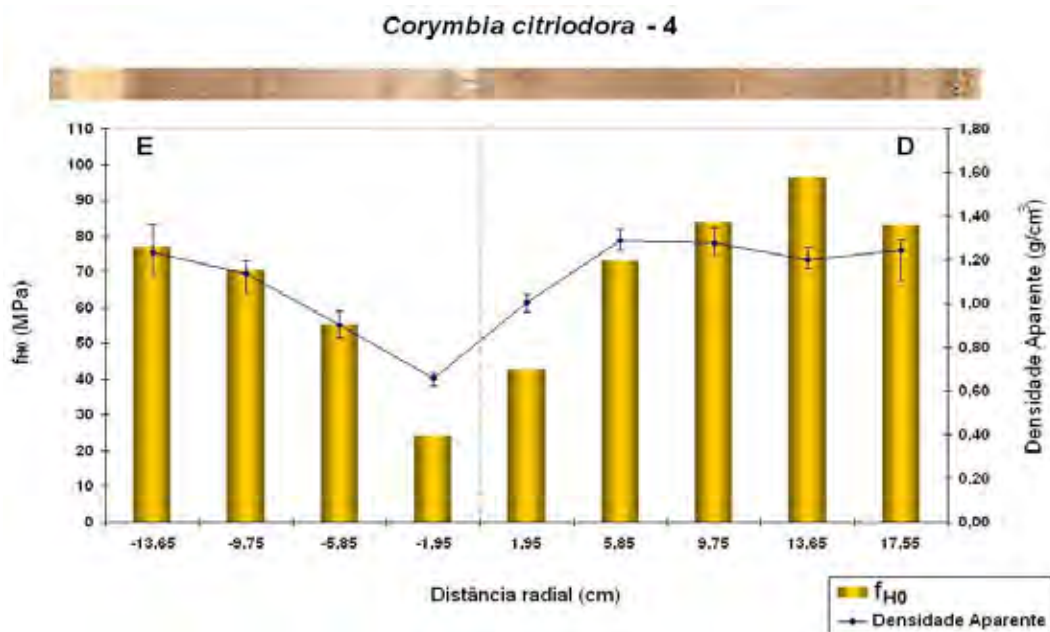


Figura 55 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore C4 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.

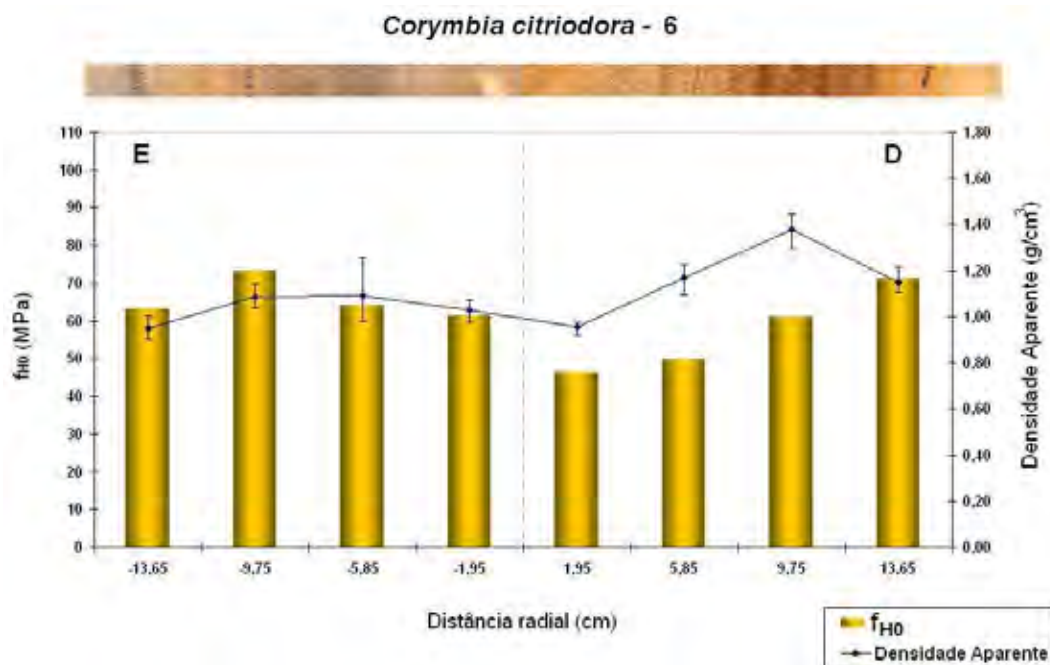


Figura 56 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore C6 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.

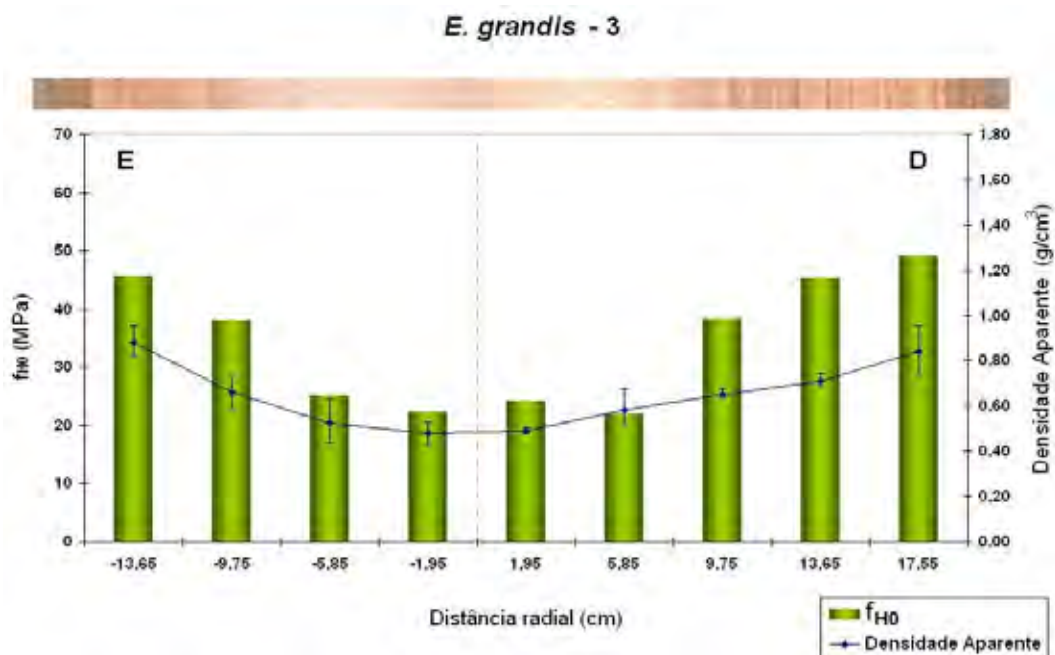


Figura 57 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore G3 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.



Figura 58 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore G4 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.

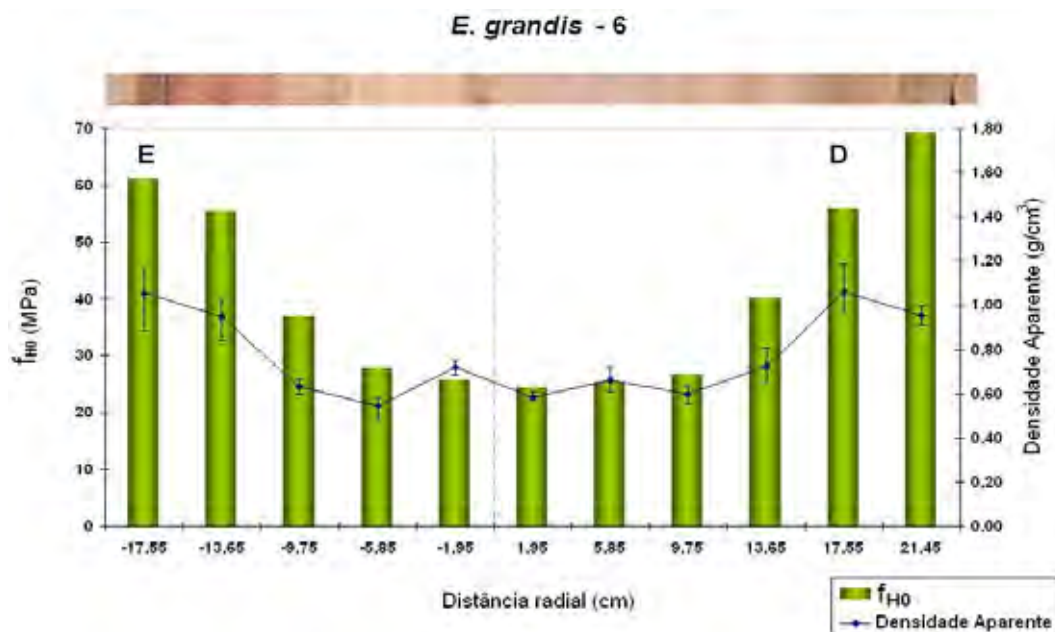


Figura 59 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore G6 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – condição verde.

ANEXO H

Variação da densidade aparente média – medida na região correspondente ao ensaio de dureza – e da resistência à dureza paralela às fibras (12% de umidade) da madeira no sentido medula-casca

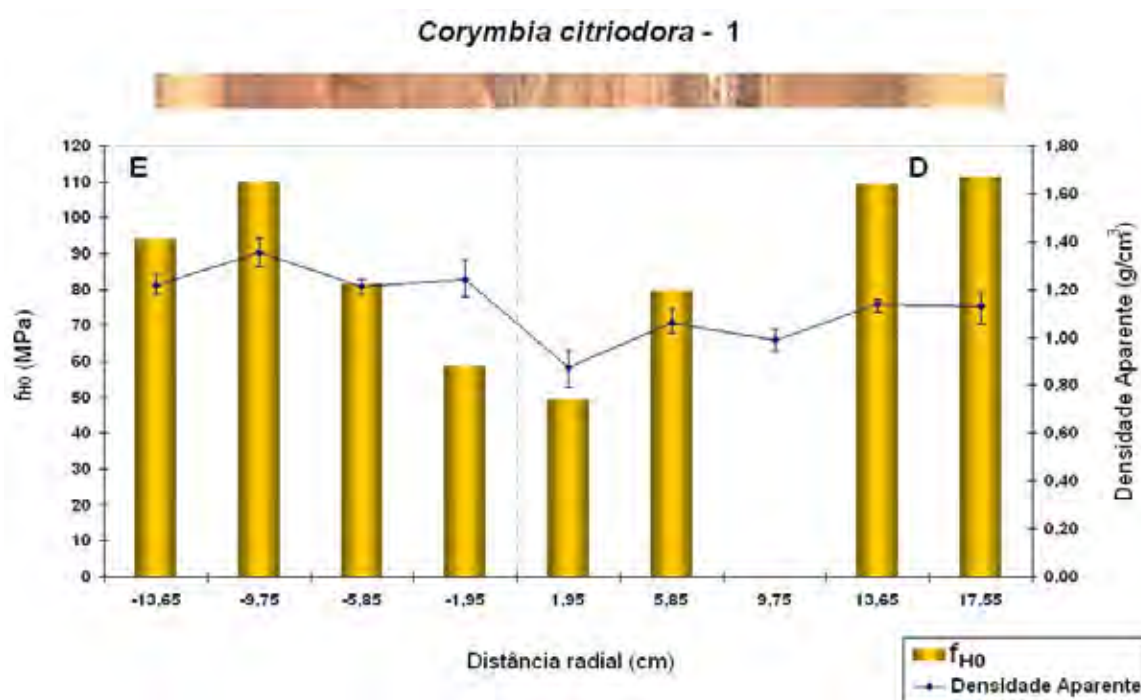


Figura 60 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore C1 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – a 12 % de umidade.

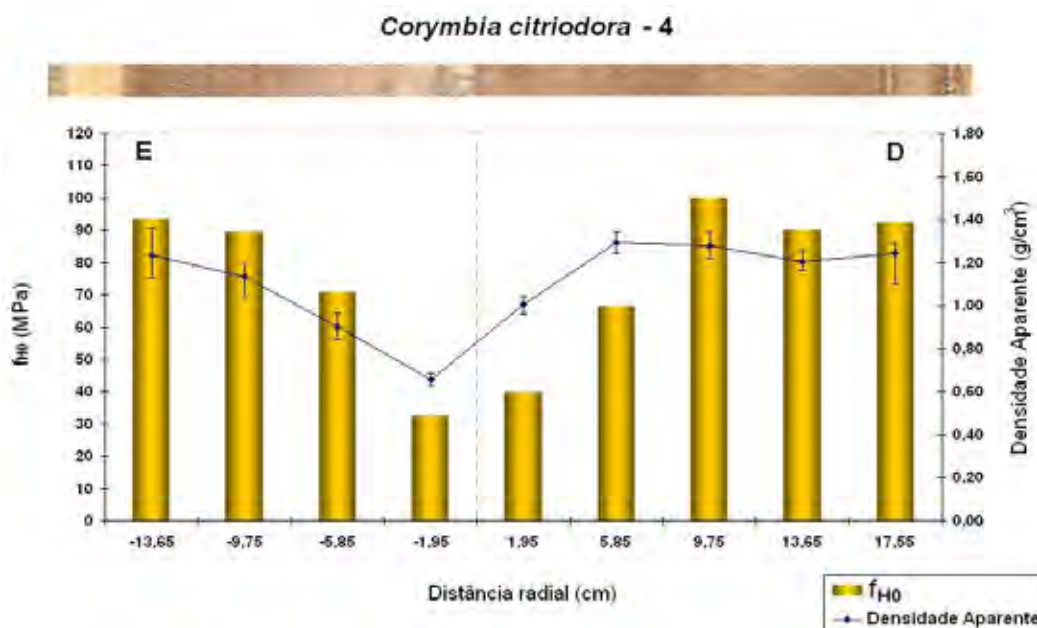


Figura 61 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore C4 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – a 12 % de umidade.

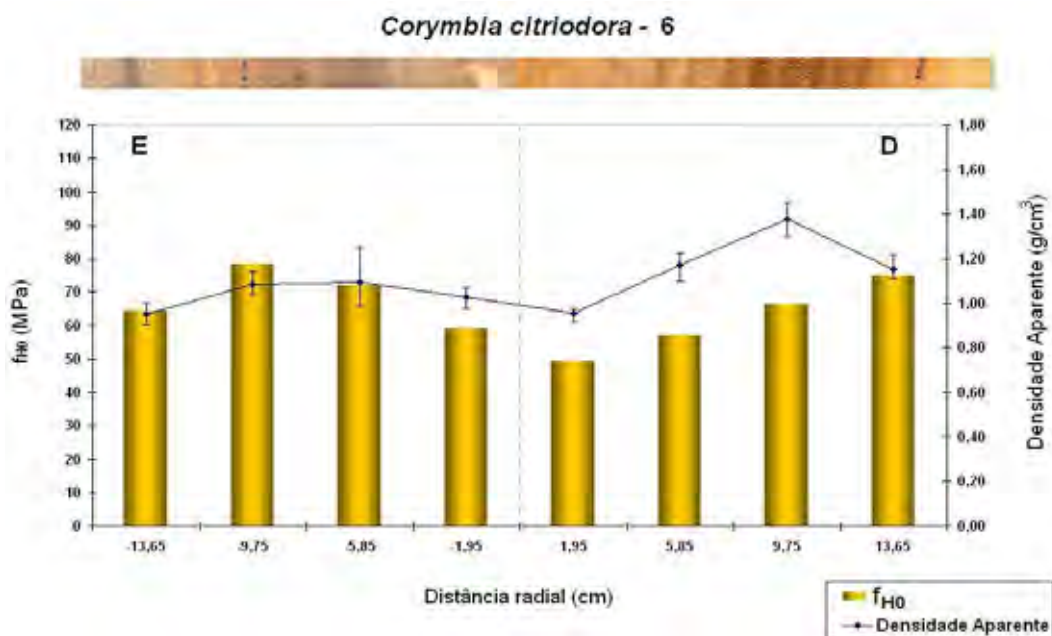


Figura 62 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore C6 de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – a 12 % de umidade.

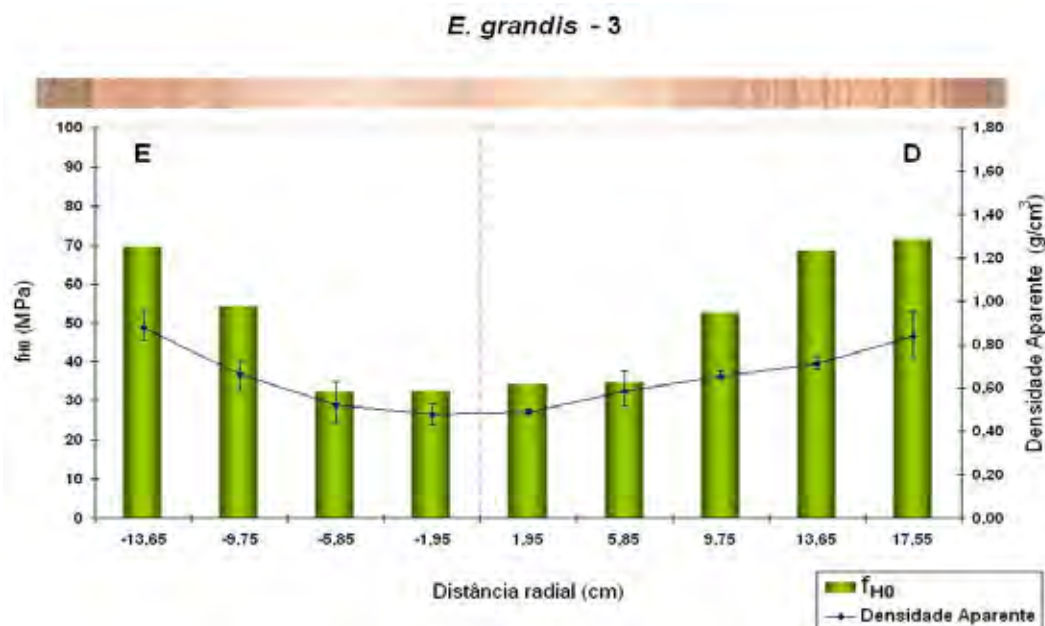


Figura 63 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore G3 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – a 12 % de umidade.

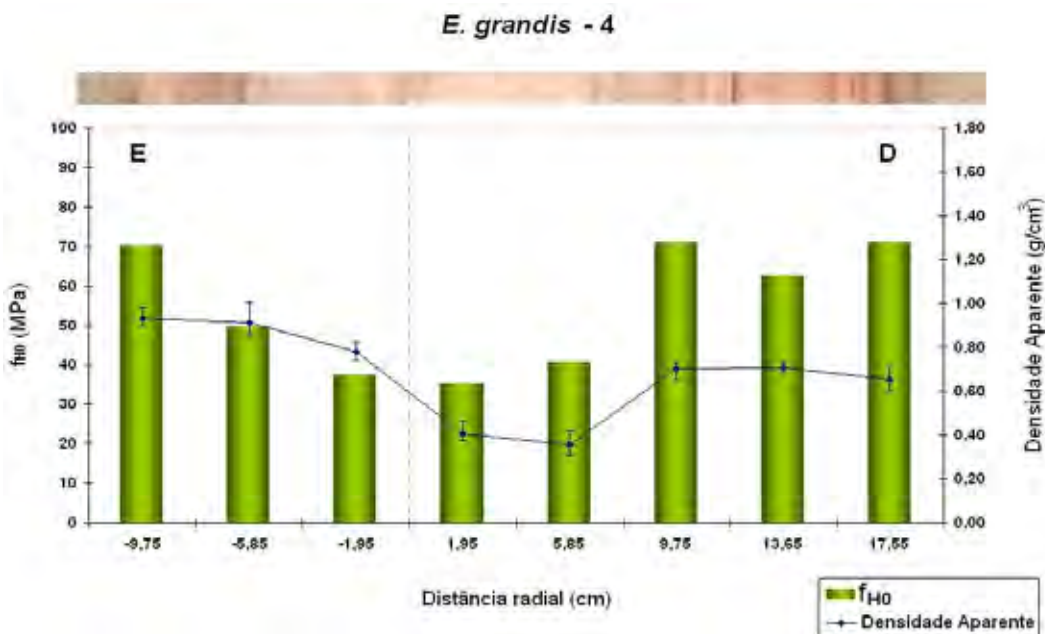


Figura 64 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore G4 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – a 12 % de umidade.

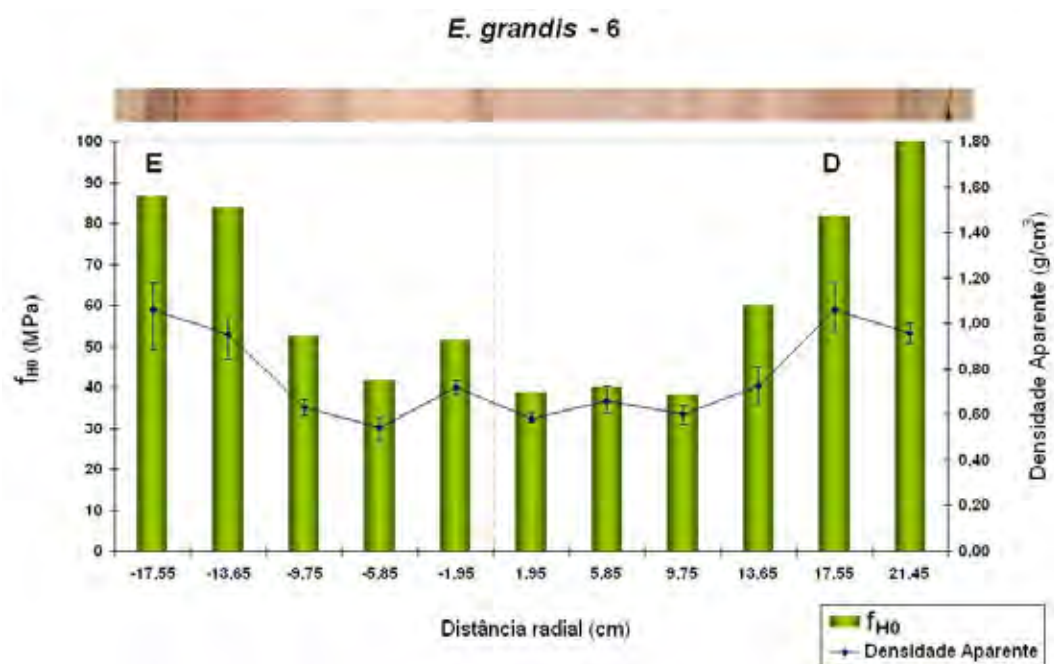


Figura 65 – Variações da densidade aparente média e da resistência à dureza paralela às fibras da madeira da árvore G6 de *E. grandis* na direção radial, medidas a partir da extremidade esquerda, passando pela medula e caminhando até a extremidade direita – a 12 % de umidade.