

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

**QUALIDADE DA MADEIRA DE ÁRVORES DE GUAPURUVU
(*Schizolobium parahyba* (Vell.) BLAKE) COM 15 ANOS
PROVENIENTES DE ÁREA DE RECUPERAÇÃO FLORESTAL**

JULIA CAROLINA ATHANÁZIO-HELIODORO

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

BOTUCATU – SP
Agosto de 2015

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

**QUALIDADE DA MADEIRA DE ÁRVORES DE GUAPURUVU
(*Schizolobium parahyba* (Vell.) BLAKE) COM 15 ANOS
PROVENIENTES DE ÁREA DE RECUPERAÇÃO FLORESTAL**

JULIA CAROLINA ATHANÁZIO-HELIODORO

Orientador: Adriano Wagner Ballarin

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

BOTUCATU – SP
Agosto de 2015

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

A865q Athanázio-Heliodoro, Julia Carolina, 1989-
Qualidade da madeira de árvores de guapuruvu (*Schizolo-*
bium parahyba (Vell.) Blake) com 15 anos provenientes de
área de recuperação florestal / Julia Carolina Athanázio-
Heliodoro. - Botucatu : [s.n.], 2015
xv, 150 f. : fots. color., grafs. color., ils. color.,
tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Adriano Wagner Ballarin
Inclui bibliografia

1. Madeira - Propriedades físicas. 2. Madeira - Proprie-
dades mecânicas. 3. Madeira - Densidade. 4. Reflorestamen-
to. I. Ballarin, Adriano Wagner. II. Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu).
Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNICAS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "QUALIDADE DA MADEIRA DE ÁRVORES DE GUAPURUVU (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) COM 15 ANOS PROVENIENTES DE ÁREA DE RECUPERAÇÃO FLORESTAL"

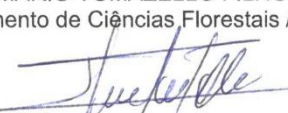
AUTORA: JULIA CAROLINA ATHANÁZIO HELIODORO

ORIENTADOR: Prof. Dr. ADRIANO WAGNER BALLARIN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ADRIANO WAGNER BALLARIN
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. MARIO TOMAZELLO FILHO
Departamento de Ciências Florestais / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP


Prof. Dr. HERNANDO ALFONSO LARA PALMA
Dep de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Data da realização: 28 de agosto de 2015.

*Aos meus pais, Rita de Cassia Athanázio e
Antônio de Pádua Heliodoro (Tuco), por
proporcionarem a oportunidade de continuar
estudando, pelos conselhos, carinho, paciência e
principalmente pelo amor da vida toda.*

AGRADECIMENTOS

- À Deus com a intercessão de Nossa Senhora que estão presentes em cada passo do meu dia iluminando e protegendo meu caminho, muitas vezes, sem que eu perceba.

- Ao professor Dr. Adriano Wagner Ballarin, meu orientador, que me recebeu desde o primeiro dia, pela sua dedicação à minha formação, por me fazer amar a pesquisa, me ensinar com toda atenção cada detalhe e fazer tudo isso com amizade e carinho.

- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

- À professora Carmen Regina Marcati que me auxiliou, com seus conhecimentos no desenvolvimento do meu projeto de pesquisa, com seu tempo e seu laboratório; e à equipe do laboratório de Anatomia da Madeira pela dedicação, ajuda e atenção, especialmente à Liliane Pereira, Marcela Blagitz e Paula.

- À professora Vera Lex Engel por permitir a retirada das árvores usadas na pesquisa.

- Ao professor Hernando Alfonso Lara Palma pela ajuda no desenvolvimento do trabalho e companhia de sempre.

- Ao professor Mário Tomazello Filho, à sua orientada Mariana Pires de Franco e à toda equipe do Laboratório de Anatomia da Madeira da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” de Piracicaba (ESALQ-USP), pela atenção, ajuda e pelos conhecimentos passados durante as análises no equipamento de densitometria de raios X.

- Ao técnico Ailton pela ajuda nas análises físicas e mecânicas e pela companhia de todos os dias e aos funcionários da manutenção, em especial ao Sílvio pela ajuda sempre pronta na confecção dos corpos de prova.

- À Maria Marcia Pereira Sartori e Prof Dr. José Eduardo Corrente pela indispensável ajuda na estatística e análise de dados.

- Ao Fernando Arena e Marcenaria Arena pela ajuda na produção de corpos de prova.

- À empresa Caribeia Indústria Madeireira Ltda. pela disponibilidade de sempre.

- Aos colegas de mestrado, Sabrina Galetti Cherelli e Humberto de Jesus Eufrade Junior, pela ajuda, companhia, troca de conhecimentos e amizade.

- Aos alunos de iniciação científica Luana Pacheco, João Theodoro e Natália Gaiad pela ajuda nas análises.

- Aos funcionários da biblioteca da FCA – UNESP Botucatu pela ajuda na busca de bibliografias e dedicação de sempre.

- Ao Colégio La Salle, responsável por parte de minha formação, aos professores, funcionários e amigos que lá conquistei, que hoje mesmo longe, estão sempre perto.

- Aos funcionários e professores da Fazenda Lageado, campus da UNESP, que foram responsáveis pelo meu aprendizado e crescimento pessoal.

- À minha mãe, Rita de Cássia Athanázio, incentivadora, companheira e amiga de todos os dias, pelo amor, paciência, orientação e ajuda em cada parte do meu trabalho.

- Ao meu pai, Antônio de Pádua Heliodoro (Tuco) que com muito amor esteve ao meu lado, sempre me apoiando.

- À minha irmã Maria Letícia Athanázio Heliodoro pelo carinho e amizade.

- Ao meu avô Antônio Athanázio Sobrinho, que me apoia em cada decisão e é meu maior incentivador.

- À minha vózinha Maria José de Barros Athanázio (*in memorian*) que me ensinou a amar os livros e está olhando por mim do céu.

- Aos meus avós Benedito Heliodoro e Terezinha Vendrame Heliodoro que estão sempre torcendo por mim.

- Ao meu tio Carlos Alberto Athanázio Neto (*in memorian*) pela amizade, apoio e exemplo de amor e dedicação àquilo que se faz.

- Aos amigos da XX Turma da Engenharia Florestal da UNESP, pelos momentos inesquecíveis que passamos juntos.

- Ao meu padrasto Edson Victoriano, pela atenção de sempre e ajuda na revisão.

- A toda a minha família, meus tios e primos, especialmente às minhas madrinhas Antônia de Fátima Heliodoro e Meire Cristina Paganini Athanázio, e meus primos Bruna e Felipe Paganini Athanázio pelo amor de sempre e pela torcida por mim.

- Ao meu amigo e namorado Lucas Lucchesi de Oliveira, pelo companheirismo, carinho, amor e dedicação.

*Para ser grande, sê inteiro:
Nada teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és
No mínimo que fazes.
Assim em cada lago a lua toda
Brilha, porque alta vive.*

*Fernando Pessoa
(Ricardo Reis)*



Noite estrelada sobe o ródano, Vincent Van Gogh, 1888.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XII
RESUMO	1
SUMMARY	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 O GUAPURUVU	6
3.2 POTENCIAL TECNOLÓGICO DA MADEIRA DE GUAPURUVU	9
3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MADEIRA - CERNE E ALBURNO	10
3.4 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DO LENHO	13
3.4.1 Madeira juvenil e adulta	13
3.4.2 Madeira de reação	14
3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	17
3.5.1 Densidade básica e aparente	17
3.5.2 Retratibilidade	18
3.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	19
3.6.1 Caracterização de lotes da madeira	22
3.7 QUALIDADE DA MADEIRA DE GUAPURUVU	23
3.8 CLASSIFICAÇÃO E DESTINAÇÃO FINAL DA MADEIRA DE GUAPURUVU	25
3.9 SÍNTESE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL EXPERIMENTAL	28
4.1.1 Coleta do lenho das árvores	28
4.1.2 Desdobro e preparo dos corpos de prova	31
4.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MADEIRA - CERNE E ALBURNO	33
4.3 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA	33
4.3.1 Madeira juvenil e adulta	33
4.3.2 Madeira de reação	36
4.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	37
4.4.1 Densidade Básica	37
4.4.2 Densidade Aparente	38
4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	38
4.6 QUALIDADE DA MADEIRA	41
4.6.1 Variação radial das propriedades físicas da madeira	41
4.6.1.1 Retratibilidade	41
4.6.1.2 Densidade aparente por densitometria de raios X	42
4.6.2 Variação radial de propriedades mecânicas	45
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49

5.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MADEIRA - CERNE E ALBURNO	49
5.2	CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA	50
5.2.1	Madeira juvenil e adulta	50
5.2.2	Presença de madeira de tração	53
5.3	PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	54
5.3.1	Densidade básica e densidade aparente	54
5.4	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	56
5.4.1	Resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0})	56
5.4.2	Resistência à compressão normal às fibras (f_{c90})	59
5.4.3	Resistência à tração paralela às fibras (f_{t0})	60
5.4.4	Resistência à tração normal às fibras (f_{t90})	62
5.4.5	Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0})	64
5.4.6	Caracterização do lote de madeira estudado	66
5.5	QUALIDADE DA MADEIRA	69
5.5.1	Variação radial das propriedades físicas	69
5.5.1.1	Densidade aparente por densitometria de raios X	69
5.5.1.2	Retratibilidade	74
5.5.2	Variação radial das propriedades mecânicas	82
5.5.2.1	Compressão paralela às fibras (f_{c0})	82
5.5.2.2	Flexão estática (f_M e E_M)	85
5.5.2.3	Dureza Janka (f_H)	90
5.6	CLASSIFICAÇÃO E DESTINAÇÃO FINAL DA MADEIRA DE GUAPURUVU	96
6.	CONCLUSÕES	101
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
	APÊNDICE	116
	APÊNDICE I	117
	APÊNDICE II	129
	APÊNDICE III	148

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1:	Crescimento de <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake em experimentos em quatro estados do Brasil.....	8
Tabela 2:	Propriedades LVL de guapuruvu.....	10
Tabela 3:	Comportamento da madeira de reação e produtos compostos de madeira de reação em comparação à madeira normal.....	16
Tabela 3:	Comportamento da madeira de reação e produtos compostos de madeira de reação em comparação à madeira normal (continuação).....	17
Tabela 4:	Propriedades mecânicas do guapuruvu.	21
Tabela 5:	Classes de resistência das madeiras de coníferas	22
Tabela 6:	Classes de resistência das madeiras de eudicotiledôneas	22
Tabela 7:	Dados de DAP (com casca), altura comercial e altura total de cada uma das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> estudadas	30
Tabela 8:	Comprimento dos raios direito e esquerdo (RD e RE) sem casca e a relação entre eles	30
Tabela 9:	Condições de ensaio e característica dos corpos de prova das propriedades mecânicas da madeira.....	38
Tabela 10:	Distâncias radiais da medula até o final de cada anel de crescimento e regiões do lenho oposto (esquerdo) das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> estudadas	49
Tabela 11:	Distância radial da medula ao final cerne, largura da faixa de transição e de alburno, distância da medula à casca (cm) e porcentagem de cerne nos raios esquerdos (lenho oposto) das árvores de <i>Schizolobium parahyba</i>	50
Tabela 12:	Comprimento das fibras (μm) nas regiões de madeira juvenil e adulta, no lenho oposto das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i>	50
Tabela 13:	Distância radial da medula ao final da madeira juvenil, largura da faixa da madeira adulta, distância da medula à casca (cm) e porcentagem de madeira juvenil nos raios esquerdos (lenho oposto) das árvores de <i>Schizolobium parahyba</i>	52
Tabela 14:	Densidade básica e aparente da madeira (discos) de <i>Schizolobium parahyba</i>	54
Tabela 15:	Resistência (f_{c0}) e rigidez (E_{c0}) da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> à compressão paralela às fibras a 12 % de umidade.....	56

Tabela 16:	Caracterização do tipo de ruptura no ensaio de compressão paralela às fibras a 12% de umidade	59
Tabela 17:	Resistência (f_{c90}) e rigidez (E_{c90}) à compressão normal às fibras da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> a 12 % de umidade	60
Tabela 18:	Relação entre as propriedades f_{c90}/f_{c0} para diversas espécies comerciais	60
Tabela 19:	Resistência à tração paralela às fibras da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> a 12 % de umidade	61
Tabela 20:	Classificação do tipo de ruptura dos corpos de prova no ensaio de tração paralela às fibras	62
Tabela 21:	Resistência à tração normal às fibras da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> a 12 % de umidade	63
Tabela 22:	Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> a 12 % de umidade	65
Tabela 23:	Propriedades mecânicas da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	66
Tabela 24:	Valores característicos e médios das propriedades físico-mecânicas obtidas neste trabalho para a madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> e do referencial teórico (NBR 7190, ABNT, 1997)	68
Tabela 25:	Valores de propriedades mecânicas relativizadas (em relação à densidade aparente) obtidas neste trabalho para a madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> , e os do referencial teórico (NBR 7190, ABNT, 1997)	68
Tabela 26:	Resumo das resistências características obtidas nos ensaios para a madeira de <i>Schizolobium parahyba</i>	69
Tabela 27:	Resultados de densidade aparente (12%) obtidos por densitometria de raios X em g/cm ³ para a madeira de <i>Schizolobium parahyba</i>	70
Tabela 28:	Densidade aparente ponderada nas regiões de cerne, transição e alburno de <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) blake, obtidos pelo método de densitometria de raios X ..	72
Tabela 29:	Densidade aparente das cinco árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> nas regiões de madeira juvenil, madeira de transição e adulta	73
Tabela 30:	Densidade aparente dos lenho de tração (direito) e oposto (esquerdo) das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i>	74
Tabela 31:	Retratibilidade e outros parâmetros relativos à estabilidade dimensional da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i>	75
Tabela 32:	Índice de anisotropia, qualidade e uso da madeira	77

Tabela 33:	Valores comparativos de retratibilidade (%) para diferentes espécies	78
Tabela 34:	Resistência à Compressão Paralela às fibras de <i>Schizolobium parahyba</i>	83
Tabela 35:	Resistência e módulo de elasticidade à flexão estática de <i>Schizolobium parahyba</i>	86
Tabela 36:	Relação entre resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) e a resistência convencional à flexão (f_M) de espécies folhosas e coníferas	87
Tabela 37:	Tipos de ruptura sofridos no ensaio de flexão estática	88
Tabela 38:	Resultados obtidos no ensaio de Dureza Janka de <i>Schizolobium parahyba</i> ..	90
Tabela 39:	Valores médios de propriedades mecânicas nas regiões de madeira juvenil e adulta de <i>Schizolobium parahyba</i>	92
Tabela 40:	Compilação dos resultados obtidos nos ensaios físicos, mecânicos e de qualidade da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i>	94
Tabela 41:	Classificação da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> com base nos critérios propostos por Araújo (2002)	96
Tabela 42:	Classificação da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> com base nos critérios propostos IPT (1990?)	96
Tabela 43:	Classificação da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> com base nos critérios propostos Nahuz (1974) <i>apud</i> NOGUEIRA (1991) e BORTOLETTO(1993)	96
Tabela 44:	Classificação da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> com base nos critérios propostos Sallenave (1955) <i>apud</i> NOGUEIRA (1991) e BORTOLETTO(1993)	97
Tabela 45:	Classificação da madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> com base nos critérios propostos Nogueira (1991)	97
Tabela 46:	Classificação segundo Nogueira (1991)	98
Tabela 47:	Relação propriedades mecânicas e densidade aparente de espécies de <i>Eucalyptus spp.</i> e <i>Schizolobium parahyba</i>	99

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Corte longitudinal evidenciando possível interação entre madeira juvenil e adulta e entre cerne e alburno de acordo com Jozsa e Middleton (1994), modificado por Benjamin (2006)..... 24
- Figura 2.** Coleta das árvores. a) Vista geral do plantio; b) Abate das árvores; c) Carregamento das toras; d) Toras agrupadas na serraria..... 29
- Figura 3.** Esquema de desdobro das toras, prancha superior para produção dos corpos de prova para ensaios mecânicos e prancha interior para produção dos corpos de prova para o estudo tecnológico; esquema de Leonello (2011) modificado pelo autor 30
- Figura 4.** a; b) Desdobro do pranchão central das toras de *Schizolobium parahyba*; c;d) Operações na marcenaria da FCA/UNESP, Botucatu para confecção dos corpos de prova com sobre-medida..... 31
- Figura 5.** Produção dos corpos de prova; (a) desdobro da prancha central de 8 cm de espessura, de onde foi retirada a faixa diametral; (b) prancha e caibros; (c) corpos de prova utilizados no ensaio de resistência à compressão paralela às fibras (10 cm), retratibilidade (10 cm) e flexão (55 cm), segundo esquema de Benjamin (2006), modificado pelo autor.. 32
- Figura 6.** Cores da madeira de acordo com Zenid e Ceccantini (2007)..... 33
- Figura 7.** Demarcações no raio esquerdo do lenho (1 a 15); regiões de cerne (CE), transição (TR) e alburno (AL); corpos de prova para ensaios (E1 a E4) 34
- Figura 8.** a) Amostragem para análise anatômica: 1) faixa diametral da árvore; 2) amostras retiradas dos 15 anéis de crescimento; 3) “palitos” retirados de cada amostra; Dissociação das células: b) palitos em solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio para análise; c) frascos vedados; d) aquecimento em estufa por 24 horas; e) lavagem do material em água e álcool; f) material em corante safranina; g) Etapas da montagem das lâminas (material com glicerina e corante safranina, dissociação das células da amostra, lâmina pronta); h) Imagem do software Axio Vision 4.8 usado na medição do comprimento das fibras 35
- Figura 9:** Localização das amostras retiradas para determinação da presença de lenho de tração; a) e b) amostras retiradas de região de cerne, c) amostra retirada de região de transição; d) amostra retirada de região de alburno..... 36
- Figura 10:** Lâminas semi-permanentes utilizadas para análise da presença de madeira de reação 37
- Figura 11.** Visão geral dos ensaios mecânicos da madeira de guapuruvu e corpos de prova ensaiados; a) ensaio de compressão paralela às fibras; b) ensaio de compressão normal às fibras; c) ensaio de tração paralela às fibras; d) ensaio de tração normal às fibras; e) ensaio de cisalhamento 39
- Figura 12:** Tipos de ruptura de corpos de prova do ensaio de compressão paralela às fibras de acordo com a norma americana ASTM D143-94 (ASTM, 2007)..... 40

Figura 13. Tipos de ruptura de corpos de prova do ensaio de tração paralela às fibras; a) <i>splintering tension</i> ; b) <i>combined tension and shear</i> ; c) <i>shear</i> e d) <i>brittle tension</i> ; de acordo com Bodig e Jayne (1993).....	40
Figura 14. Medição dos corpos de prova nos ensaios de retratibilidade.....	41
Figura 15. Etapas do preparo das amostras e realização dos ensaios de raios X: (a) colagem da amostra em suporte de madeira; (b) dupla serra circular utilizada para a retirada de amostras com espessura constante; (c) retirada do filete de 2 mm de espessura; (d) amostras prontas em estágio de climatização; (e) amostra na base do equipamento; (f) equipamento de densitometria de raios X; (g) tela do software utilizado no ensaio de densitometria de raios X; (h) perfil diametral de densidade aparente	44
Figura 16. Imagens obtidas da madeira de guapuruvu– (a) – Scanner EPSON; (b, c) – Raios X digital Faxitron X-ray, modelo LX 60.....	45
Figura 17. Ensaio de flexão estática.....	46
Figura 18. Tipos de ruptura no ensaio de flexão estática de acordo com ASTM D143-94 (ASTM, 2007)	46
Figura 19. a) Ensaio Dureza Janka; b) Porção do disco C onde foram realizados os ensaios de dureza Janka mostrando que as medições foram realizadas nas mesmas direções de onde foram retirados os caibros para confecção dos corpos de prova (3,5 cm) para os ensaios mecânicos e de retratibilidade (E1, E2, E3, E4)e as demarcações de perda de madeira pelo desgaste da serra (4 mm)	47
Figura 20. Regressões segmentadas obtidas para a variação do comprimento das fibras no raio esquerdo (lenho oposto) das árvores 2 a 6 de <i>Schizolobium parahyba</i>	51
Figura 21. Fibra bifurcada formando duas extremidade, devido ao crescimento intrusivo (anel de crescimento 12 – árvore 3) de <i>Schizolobium parahyba</i>	53
Figura 22. Madeira de tração identificada pela presença de fibras com camadas gelatinosas coloridas em azul de astra no lenho de <i>Schizolobium parahyba</i>	54
Figura 23: Densidades aparentes (ρ_{12}) de várias madeiras de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e Almeida <i>et al.</i> (2013) modificado pelo autor. 2014.....	55
Figura 24. Valores da resistência à compressão paralela às fibras do <i>Schizolobium parahyba</i>	57
Figura 25. Valores da rigidez à compressão paralela às fibras do <i>Schizolobium parahyba</i>	57
Figura 26: Médias da resistência à compressão paralela às fibras (f_{co}) de várias madeiras de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e Almeida <i>et al.</i> (2013) modificado pelo autor. 2014	58
Figura 27. Gráfico comparativo entre os valores médios da resistência à tração paralela às fibras de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e Almeida <i>et al.</i> (2013) modificado pelo autor. 2014.....	62

Figura 28.	Gráfico comparativo entre os valores médios da resistência à tração normal às fibras de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) modificado pelo autor. 2014	64
Figura 29.	Gráfico comparativo entre os valores médios da resistência ao cisalhamento de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e Almeida <i>et al.</i> (2013) modificado pelo autor. 2014	65
Figura 30.	Árvore 2 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de guapuruvu e da imagem obtida pelo equipamento de raios X digital..	70
Figura 31.	Diferença da densidade aparente de <i>Schizolobium parahyba</i> na região da casca e da medula	71
Figura 32.	Densidade aparente das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake nas regiões de cerne, transição e alburno	71
Figura 33.	Densidade aparente das cinco árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> nas regiões de madeira juvenil, madeira de transição e adulta	72
Figura 34.	Densidade aparente do lenho de tração e lenho oposto de <i>Schizolobium parahyba</i> mensurada por densitometria de Raios X	73
Figura 35.	Variação radial da retração tangencial – Árvore 1 a 3	79
Figura 36.	Variação radial da retração tangencial – Árvore 4 a 6	79
Figura 37.	Variação radial da retração radial – Árvore 1 a 3	79
Figura 38.	Variação radial da retração radial – Árvore 4 a 6	80
Figura 39.	Variação radial da variação volumétrica – Árvore 1 a 3	80
Figura 40.	Variação radial da variação volumétrica – Árvore 4 a 6	80
Figura 41.	Curvas de regressão para as médias dos valores de retratibilidade tangencial, radial, longitudinal e volumétrica, índice de anisotropia e desempenho das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> estudadas, e comparação entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), com dados dos respectivos desvios padrão.	81
Figura 42.	Variação radial da resistência à compressão paralela – Árvore 1 a 3	83
Figura 43.	Variação radial da resistência à compressão paralela – Árvore 4 a 6	84
Figura 44.	Curvas de regressão para as médias dos valores de compressão paralela às fibras das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> estudadas, e comparação entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), com dados dos respectivos desvios padrão.	84
Figura 45.	Variação radial da resistência à flexão estática – Árvore 1 a 3	88
Figura 46.	Variação radial da resistência à flexão estática – Árvore 4 a 6	89
Figura 47.	Curvas de regressão para as médias dos valores de flexão estática das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> estudadas, e comparação entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), com dados dos respectivos desvios padrão.	89

Figura 48.	Variação radial da dureza Janka – Árvore 1 a 3	91
Figura 49.	Variação radial da dureza Janka – Árvore 4 a 6	91
Figura 50.	Curvas de regressão para as médias dos valores de dureza Janka das seis árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> estudadas, e comparação entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), com dados dos respectivos desvios padrão.	92

QUALIDADE DA MADEIRA DE ÁRVORES DE GUAPURUVU (*Schizolobium parahyba* (Vell.) BLAKE) COM 15 ANOS PROVENIENTES DE ÁREA DE RECUPERAÇÃO FLORESTAL. Botucatu, 2015. 165 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: JULIA CAROLINA ATHANÁZIO HELIODORO

Orientador: DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

RESUMO

Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell) Blake) é uma espécie nativa da Floresta Atlântica reconhecida como de rápido desenvolvimento e grande ganho em volume. Alguns levantamentos pioneiros sobre o potencial tecnológico da madeira de guapuruvu foram feitas ressaltando o exuberante crescimento da espécie e apontando possibilidades de aproveitamento industrial, faltando para tal um estudo das propriedades físico-mecânicas e de qualidade da sua madeira. Qualificada como espécie pioneira na sucessão florestal, tem sido utilizada no plantio misto de espécies nativas em áreas degradadas onde um aspecto condicionante é a seleção de espécies que possam desempenhar bem seu papel ambiental e, ainda, gerar algum retorno financeiro ao proprietário da floresta por meio de um possível aproveitamento para fins madeireiros durante a segunda fase da sucessão, quando estas espécies puderem ser retiradas através de manejo florestal. Este trabalho visou a definição do potencial tecnológico da madeira de guapuruvu (*S. parahyba*), obtida de plantios de recuperação florestal da Mata Atlântica na região de Botucatu-SP através da avaliação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade da madeira, a partir da variação radial dessas propriedades e da densidade aparente - obtida por atenuação de raios X, e da caracterização dos diferentes tipos de lenho. Nestas condições a madeira apresentou resistência característica à compressão paralela às fibras de 21,47MPa, sendo posicionada na classe de resistência C20 - eudicotiledôneas da NBR7190. A densidade aparente foi 336 kg/m³ e a básica de 290 kg/m³. Em todos os ensaios, a espécie apresentou coeficientes de variação médios, sem diferença estatística entre os raios apesar da presença de lenho de reação mostrando a homogeneidade da madeira. Demonstrou potencial de uso em algumas das categorias como construção civil leve, uso temporário e chapas compensadas.

Palavras chave: guapuruvu; propriedades físicas; propriedades mecânicas; densitometria de raios X; variação radial; *Schizolobium parahyba*; madeira juvenil e adulta, qualidade da madeira.

WOOD QUALITY OF GUAPURUVU'S (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) TREES WITH 15 YEARS FROM FOREST RECOVERY AREAS. Botucatu, 2014. 165 p. Dissertation (Master of Science in Forestry) – College of Agricultural Sciences, São Paulo State University.

Author: JULIA CAROLINA ATHANÁZIO HELIODORO

Advisor: DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

SUMMARY

Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell) Blake) is a native species of Atlantic Forest that has rapid development and large gain in volume. Some pioneers studies about the technological potential of guapuruvu's wood highlighting the exuberant growth of the species and pointing out some possibilities of industrial use, missing for that a study about the physical and mechanical properties and the quality of its wood. Qualified as a pioneer species in forest succession, has been used in forest recovery áreas where a conditioning aspect is the selection of species that perform well their environmental paper and also generate a financial return to the forest owner by a possible commercial use during the second phase of the forest succession, when these species can be withdrawn through forest. This study aimed to define the technological potential of wood guapuruvu (*S. parahyba*), obtained from forest recovery areas of the Atlantic Forest in the region of Botucatu-SP city by evaluating the physical and mechanical properties and the wood quality of these trees starting by radial variation of these properties and specific gravity - obtained by X-ray attenuation – characterization of different types of wood. Under these conditions, the wood has compressive strength parallel to the fibers of 21.47MPa, being positioned in the C20 - eudicotyledonous strength class of NBR7190. Specific gravity was 336 kg/m³ and basic density it was 290 kg/m³. In all tests, the species had medium coefficients of variation without difference-statistic between the sides of the wood, despite the presence of reaction wood, showing the homogeneity of this wood. Demonstrated potential for use in categories as lightweight construction, temporary use and offset plates.

Keywords: guapuruvu; Physical properties; mechanical properties; X-ray densitometry; radial variation; *Schizolobium parahyba*; juvenile and mature wood, wood quality.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Schizolobium parahyba* (Vell) Blake, popularmente conhecida como guapuruvu, é natural da Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecídua e pertence à Família Fabaceae (Leguminosae Caesalpinioideae). A espécie tem baixa exigência quanto à fertilidade do solo e é classificada na sucessão florestal como pioneira, secundária inicial ou clímax exigente de luz. Suas árvores de grande porte, apresentam rápido crescimento, chegando a 25 cm de DAP aos 10 anos e 80 cm aos 20 anos, podendo ser plantada a pleno sol (CARVALHO, 2005), motivo pelo qual a espécie é uma das mais utilizadas na recuperação de áreas degradadas. A espécie é considerada uma das 12 mais importantes (entre 55 selecionadas) para estabelecimento de reflorestamentos apresentando, ainda, grande adaptação para uso em sistemas lavoura-pecuária-floresta (REITZ *et al.*, 1979; PULROLNIK *et al.*, 2010).

Na sucessão florestal, após um período benéfico de sombreamento para as espécies secundárias e clímax no reflorestamento, o guapuruvu passa a competir com elas, prejudicando assim seu desenvolvimento. A retirada destes indivíduos da área de recuperação, além de aumentar a disponibilidade de água, luz e nutrientes para as espécies da segunda fase da sucessão ecológica, permite um retorno financeiro ao investidor ou ao proprietário da área, visto que a espécie vem demonstrando, em estudos iniciais, potencial para algumas aplicações.

Houve um aumento no consumo de madeira proveniente de florestas plantadas de 1,8% entre 2012 e 2013, chegando a 185,3 milhões de metros cúbicos no Brasil. O custo real, em dólares, da produção dessa madeira no país aumentou 93% entre os anos de 2003 e 2013 (IBÁ, 2014).

Para atender a essa crescente demanda e apresentar alternativas aos altos preços da madeira serrada que o mercado tem a oferecer atualmente, apenas as produções das espécies exóticas de rápido crescimento e daquelas provenientes da Amazônia Legal não serão suficientes em curto prazo. Será necessária a inserção no mercado de espécies alternativas, como as nativas de rápido crescimento, que possam concorrer comercialmente com as demais para suprir o consumo de madeira.

Além disso, para incentivar produtores e investidores a recuperar áreas degradadas da Mata Atlântica, é importante o estudo da possibilidade de um retorno financeiro mais rápido, a partir do aproveitamento comercial de espécies florestais usadas nesses empreendimentos ainda em idades jovens.

O guapuruvu desponta como espécie potencial nessas situações. Existem poucas pesquisas e trabalhos sobre a espécie. Sabe-se da potencialidade da madeira de *Schizolobium amazonicum*, o paricá, que, segundo Mainieri e Chimelo (1993), possui madeira muito semelhante à do guapuruvu quanto ao aspecto, peso e características anatômicas e já vem sendo plantada comercialmente, principalmente na região Norte do país, tendo atingido 87.500 ha de plantios comerciais em 2013 (ABRAF, 2013).

Contudo não há estudos conclusivos sobre os possíveis usos do lenho desta espécie, principalmente quando obtido a partir de árvores jovens (15 anos), como é feito neste trabalho. É imprescindível, portanto, a realização do estudo tecnológico com caracterização físico-mecânica de sua madeira, bem como da qualidade e homogeneidade de sua madeira e do desempenho de seus produtos potenciais, buscando-se provar a hipótese de que a madeira de guapuruvu proveniente de árvores jovens tem potencial tecnológico para diversos usos comerciais.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal definir o potencial de uso da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) a partir da avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira conforme preconizado pela NBR 7190/97 (ABNT, 1997), da variação radial dessas propriedades e da densidade aparente e da caracterização dos diferentes tipos de lenho (juvenil e adulto, cerne e alburno) da espécie.

Buscou responder às seguintes questões:

- a. Qual o enquadramento estrutural (classe de resistência) da madeira de guapuruvu?
- b. Existe influência da juvenilidade nas propriedades físicas e mecânicas?
- c. A baixa densidade influencia significativamente o desempenho mecânico dessa madeira?
- d. A madeira do guapuruvu proveniente de plantios mistos de áreas de recuperação florestal com pouca idade tem potencial tecnológico?

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O guapuruvu

O Brasil ocupa a segunda posição no ranking mundial em área florestal com quase 520 milhões de hectares (12,88% do total de florestas do planeta) atrás apenas da Federação Russa, que possui 20% da área total (FAO, 2011). As florestas brasileiras seriam muito maiores não fosse a atividade humana, que ao longo de anos, desde o descobrimento, e de forma mais intensa a partir de revolução industrial, vem prejudicando o meio ambiente com o desmatamento indiscriminado, para alegadamente substituir essas áreas por agricultura, pecuária e urbanização, dentre outras.

A conscientização ambiental, juntamente com políticas públicas, legislações específicas dos países ou estabelecidas em conferências internacionais (Protocolo de Quioto e Rio-92, por exemplo) têm incentivado e, muitas vezes, exigido pequenos e grandes investidores a recuperar áreas degradadas e a compensar ambientalmente danos causados por suas atividades produtivas. Essa postura intensificou-se nas últimas duas a três décadas, mas a situação ainda continua preocupante no estado de São Paulo. Estudos mostraram que mais de 1,3 milhão de hectares de áreas marginais a cursos d'água estão desprotegidos, sem mata ciliar (BARBOSA, 2006).

Além disso, os reflorestamentos com esse objetivo realizados nos últimos 20 a 30 anos carecem de embasamento ou preocupação com o futuro desenvolvimento e restabelecimento da floresta. Estudos feitos por pesquisadores do Instituto de Botânica de São Paulo observaram uma baixa diversidade de espécies arbóreas utilizadas nos projetos de reflorestamento em São Paulo. Foram plantadas, em média, apenas 20 a 30 espécies, sendo a maioria delas consideradas iniciais na sucessão ecológica. Um reflorestamento mal feito contribui para a perda da diversidade ecológica e o não

estabelecimento e perpetuação da dinâmica das florestas implantadas, causando um declínio acentuado nessas áreas (BARBOSA, 2006).

Nesse processo, um grande incentivo à recuperação de áreas degradadas por parte dos proprietários seria a garantia de um retorno financeiro mais rápido aos investimentos feitos.

Schizolobium parahyba – guapuruvu - é uma das espécies recomendadas para recuperação da Mata Atlântica (KALIL FILHO *et al.*, 2002). Foi considerada uma das 12 espécies mais importantes (entre 55 selecionadas) para estabelecimento de reflorestamentos. Teve sua importância destacada quanto à qualidade de sua madeira, sua vitalidade, abundância, ampla dispersão, rápido crescimento e produção periódica de sementes viáveis (REITZ *et al.*, 1979).

Por se tratar de uma espécie heliófila de rápido crescimento, é bastante recomendada para fins de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (LIMA *et al.*, 2000) onde é usada em primeiro lugar, para formação de dossel, a fim de sombrear as espécies secundárias tardias e clímax. Com o tempo, o guapuruvu acaba por desaparecer do sistema em que foi inserido, e se for removido gradualmente sem danificar a regeneração do sub-bosque cria-se, então, uma floresta secundária com um desenvolvimento mais acelerado; consorciando-se assim povoamentos plantados de espécies nativas que trazem benefícios diretos e indiretos, com uma aceleração da sucessão secundária através de uma indução natural da regeneração da vegetação nativa (ENGEL; PARROTA, 2000).

Schizolobium parahyba (Vell) Blake é espécie natural da Floresta Ombrófila Densa e da Floresta Estacional Semidecídua. Ocorre em áreas com precipitação média anual variando de 1.100 a 2.400 mm e temperatura média anual de 18,8°C a 24,3°C em clima tropical, subtropical de altitude e subtropical úmido. Não tolera baixas temperaturas. É encontrada em altitudes que variam de 10 m a 900 m (CARVALHO, 2005). As melhores condições para o estabelecimento de plantios florestais estão localizadas na Região da Mata Atlântica (REITZ *et al.*, 1979). Ocorre naturalmente desde a Bahia, (12°30'S) até o Rio Grande do Sul (30°15'S), é comum em vegetação secundária e com bom potencial para uso na recuperação de matas ciliares (CARVALHO, 2005). A espécie tem propagação vegetativa por meio de sementes que apresentam impermeabilidade do tegumento à água, é necessário tratamento de quebra de dormência (BIANCHETTI; RAMOS, 1981; MENDONÇA; PENHA, 2009). Tal mecanismo é responsável pela perturbação da espécie ao longo do tempo (COELHO *et al.*, 2006).

Quanto ao crescimento, o guapuruvu pode atingir até 10 m de altura num período de dois anos, sendo considerada uma das plantas nativas de mais rápido crescimento (LORENZI, 2002; CARVALHO, 2003). Em condições favoráveis pode atingir 30 m de altura e 100 cm de DAP na fase adulta (RICHTER *et al.*, 1974), sendo uma das espécies nativas de mais rápido crescimento. O guapuruvu chega a ter incremento médio anual de 45 m³/ha.ano e em rotações curtas, espaçamento 4 m x 4 m e condições favoráveis de clima e solo, a espécie, em um período de 10 anos pode produzir até 600 m³/ha (SALGADO *et al.*, 1989) (Tabela 1).

Tabela 1: Crescimento de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake em experimentos em quatro estados do Brasil

Local	Idade (anos)	Espaçamento (m x m)	Plantas vivas (%)	Altura média (m)	DAP médio (cm)	IMAV (a)	Classe de solo (b)	Fonte
Adrianópolis, PR	2	4 x 2,5	100,0	4,88	10,0	...	PVAd	Embrapa Florestas/Berneck
Campo Mourão, PR	12	3 x 3	56,0	15,37	25,8	16,3	LVdf	Embrapa Florestas/Copel
Coronel Pacheco, MG	5	...	...	12,00	15,0	...	...	Golfari (1975)
Cosmópolis, SP	20	...	...	21,5	47,0	...	LVdf	Nogueira (1977)
Dois Vizinhos, PR	10	3 x 2	90,7	11,79	19,6	26,9	LVdf	Silva, Torres (1992)
Fênis, PR	2	2 x 2	88,4	7,00	10,4	...	LVdf	Carvalho, Costa (1981)
Foz do Iguaçu, PR	3	4 x 3	100,0	7,68	17,4	...	LVdf	Embrapa Florestas/Itaipu Binacional
Mamburê, PR	3	2 x 2	85,9	6,23	11,4	...	LVdf	Carvalho, Costa (1981)
Osório, RS	6	2 x 2	95,0	9,00	15,0	31,4	MTf	Rosa (1983)
Paranaguá, PR ©	10	3 x 2	50,4	4,96	8,5	1,2	LVA	Embrapa Florestas
Quedas do Iguaçu, PR	8	4 x 4	83,3	16,22	39,1	45,0	LVdf	Embrapa Florestas/Arupel
Rolândia, PR	3	5 x 5	100,0	8,71	17,2	...	LVdf	Embrapa Florestas/Fazenda Bimini
Santa Helena, PR	7	4 x 4	...	13,14	20,0	...	Lvef	Zelazowski <i>et al.</i> (1991)
Santa Helena, PR	8	4 x 3	93,3	14,00	23,4	23,3	Lvef	Embrapa Florestas/Itaipu Binacional
Santa Helena, PR (d)	10	3 x 3	43,7	18,50	34,4	41,8	Lvef	Itaipu Binacional
Santa Helena, PR	10	4 x 4	93,7	24,67	40,9	45,0	Lvef	Embrapa Florestas/Itaipu Binacional
São Simão, SP	7	4 x 2,5	...	15,40	22,0	...	LVdf	Moraes; Coelho (1982)

Notas: (a) Incremento médio anual em volume sólido com casca (m³.ha⁻¹.ano⁻¹), calculado com valores médios de altura e DAP;

(b) PVAd = Argissolo Vermelho -Amarelo Distrófico; LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico; MTf = Chernossolo Argilúvico Férreo saprolítico; LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico; Lvef = Latossolo Vermelho Eutroférico;

(c) Plantio em meia - encosta, na face Sul;

(d) Em plantio misto; dados fornecidos pela Itaipu Binacional;

(...) Dado desconhecido.

Fonte: Carvalho (2005)

Em termos gerais, a madeira de guapuruvu tem baixa densidade, e, apesar de apresentar baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos, apresenta alta permeabilidade às soluções preservantes, quando submetida a tratamentos sob pressão. É de secagem fácil, mas pode endurecer superficialmente em condições drásticas de secagem. Possui fácil trabalhabilidade, podendo ser cortada e beneficiada sem dificuldade, e apresenta uma superfície áspera após o acabamento, porém de difícil fixação de pregos e parafusos (CARVALHO, 2005). Pode ser seca sem apresentar rachaduras, empenamentos, encanoamentos ou descolorações (RICHTER *et al.*, 1974).

3.2 Potencial tecnológico da madeira de guapuruvu

Estudos pioneiros sobre o potencial tecnológico da madeira de guapuruvu foram desenvolvidos por Richter *et al.* (1974), com base exclusivamente em informações bibliográficas e verificações na área de plantio, do aproveitamento e possibilidades de utilização. A esse estudo, seguiram-se os desenvolvidos por Richter *et al.* (1975), Reitz *et al.* (1979) e Mainieri; Chimelo (1993). Richter *et al.* (1975) comprovaram a eficiência de chapas de compensado e laminados produzidos com a madeira desta espécie, com possibilidades de emprego em móveis, fôrmas de concreto, caixotaria pesada e leve (geladeiras, congeladores, etc.). Segundo os autores, a baixa densidade do material não representou queda proporcional nas propriedades mecânicas.

Mais recentemente, novos estudos sobre a utilização da espécie na produção de produtos madeireiros de alto valor agregado (compensados e laminados) foram desenvolvidos por Bortoletto e Belini (2002) e por Trianoski (2010).

Em pesquisa realizada no Laboratório de Ensaio de Materiais do DEnR da FCA-UNESP, foram produzidos painéis LVL (Laminated veneer lumber) com lâminas provenientes das mesmas árvores deste estudo. O objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis LVL em escala comercial a partir da determinação da resistência mecânica do painel nos ensaios de flexão *edgewise* e *flatwise* e de suas características físicas (densidade e umidade) (ATHANÁZIO-HELIODORO *et al.*, 2014). O produto se encaixou na categoria de qualidade 1.5E-2250F, a primeira sugerida pela APA EWS PRL-501 (EWS, 2000) e teve resistências que superaram em níveis de 10 a 100% as da madeira sólida (TRIANOSKI, 2010). A resistência à flexão na posição *edgewise* também foi muito próxima à de LVLs fabricados com *Pinus radiata* (NZ/AUS E10, 2003) e *Schizolobium amazonicum* (IWAKIRI *et al.*, 2010), com baixos coeficientes de variação

mostrando a homogeneidade desse produto (Tabela 2).

Tabela 2: Propriedades LVL de guapuruvu

	ρ kg/m ³	U (%)	Flexão <i>flatwise</i>		Flexão <i>edgewise</i>	
			f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_M (MPa)	E_M (MPa)
Média	411,4	10,06	62,57	6.402	52,66	8.988
D.Pad.	17,40	0,19	11,19	592,2	2,61	865
C.Var.	4,2%	1,8%	17,8%	9,2%	4,9%	9,6%
Valor Caract.	-	-	32,36	-	37,43	-

Notas: D. Pad. – desvio padrão; C. Var. – coeficiente de variação; Valor Caract. – valor característico; ρ – densidade; U – umidade; f_M – resistência à flexão; E_M – módulo de elasticidade à flexão.

Fonte: Athanázio-Heliodoro *et al.* (2014)

Nisgoski *et al.* (2012) estudaram o potencial da madeira de guapuruvu para produção de celulose e para fabricação de papel e concluíram que a espécie possui fibras com características adequadas para esses usos. Por fim, alguns trabalhos têm dado grande ênfase à avaliação anatômica e aos aspectos dos anéis de crescimento da espécie (CARVALHO, 2005; WILLIAMSON *et al.*, 2012; CALLADO; GUIMARÃES, 2010; TOMAZELLO FILHO *et al.*, 2004, MARCATI *et al.* 2008).

A madeira serrada e roliça do guapuruvu pode ser usada como miolo de painéis compensados e para confecção de portas, brinquedos, saltos para calçados, embalagens gerais leves, aeromodelismo, pranchetas, embalagem de frutas; palitos para fósforos e lápis, peças para interior, canoas, na construção civil, uso como forro, tabuado e obras internas (CARVALHO, 2005; RICHTER *et al.*, 1974).

Por suas excepcionais características de crescimento, que a qualificam como pioneira na sucessão florestal, a espécie tem sido ainda utilizada no plantio misto de espécies nativas em áreas degradadas (REITZ *et al.*, 1979). Nessas situações, um aspecto condicionante é a seleção de espécies que possam desempenhar bem seu papel ambiental e, ainda, gerar algum retorno financeiro para o proprietário da floresta por meio de um possível aproveitamento para fins madeireiros (ENGEL; PARROTA, 2000).

3.3 Características gerais da madeira - Cerne e alburno

O lenho da árvore desenvolve com o tempo duas regiões com propriedades, comportamentos e funções diferentes: cerne e alburno. O alburno é o xilema recém formado da árvore, fisiologicamente ativo, que por vários anos fornece ao indivíduo suporte mecânico, meios para condução hídrica e armazenamento de substâncias de reserva

nas células vivas do parênquima. Com o envelhecimento da árvore, o lenho central da árvore torna-se fisiologicamente inativo ou não funcional na condução e armazenamento de substâncias devido a uma série de mudanças que ocorrem gradativamente, em idades diferentes em função da espécie e fatores ambientais, formando o cerne (NAIR, 1995).

Pode existir ainda uma zona de transição entre o alburno e o cerne, que pensa-se ainda conter células vivas, mas já apresenta coloração semelhante a do cerne.

O processo de cernificação ainda não foi completamente entendido. Uma das hipóteses é a de que formação é causada pelo acúmulo de ar no sistema de célula fechada, fazendo com que as mudanças no protoplasma das células de parênquima levem à formação de substâncias estranhas, causando a morte dessas células (PANSIN; DE ZEEUW, 1980). Outra hipótese, é de que o cerne se forma quando a necessidade de água da copa reduz o teor de umidade da parte interna do tronco, fazendo com que materiais de reserva alimentar se acumulam em quantidades superiores ao requerido para as atividades fotossintéticas da árvore; assim, a reserva de amido nas células de parênquima do alburno é hidrolisada em carboidratos solúveis, que serão eventualmente transformados por uma reação irreversível em substâncias extrativas (WANGAARD, 1958; PANSIN; DE ZEEUW, 1980). Nawrot *et al.* (2008) concluíram que o processo de cernificação é maior em solos férteis, árvores mais jovens e de classe social dominante.

Nawrot *et al.* (2008), citando Assmann (1968), relataram que existe uma alta associação ($R^2 = 0,98$) entre o raio da copa e o raio do cerne. Os autores também relatam que árvores com posições sociais inferiores (dominadas), que tem menor proporção de copa, não estão totalmente expostas à luz e, portanto, sua assimilação e transpiração são afetadas, atrasando seu amadurecimento, a morte das células parenquimáticas e prejudicando o desenvolvimento de cerne.

Há indícios de que as células de parênquima adjacente formem produtos bioquímicos, os chamados extrativos, que chegam ao vaso por pontuações e o obstruem. Os vasos também poderiam sintetizar essas substâncias por conta própria (FPL, 1987).

Mais recentemente, teorias sugerem que o cerne é formado como resposta aos impulsos hidráulicos podendo ocorrer de forma irregular nas direções radial e axial, a fim de manter uma parcela ideal (e constante) de alburno no tronco da árvore (PLOMION *et al.*, 2001; BERTHIER *et al.*, 2001; HOADLEY, 2000 e NAWROT *et al.*, 2008).

O processo de cernificação é acompanhado por diversas mudanças nas características da madeira, provocadas pelo esgotamento progressivo do oxigênio, culminando em completo colapso das atividades respiratórias normais nas células vivas no interior do alburno. As principais mudanças são o consumo de oxigênio e liberação de monóxido de carbono (CO); mudanças no tamanho e forma dos núcleos das células; redução de materiais nitrogenados; redução dos materiais de armazenamento (amido e açúcares) que podem ser transformados em resinas por polimerização; diminuição da umidade; obstrução das pontoações; acúmulo de materiais estranhos (extrativos, tiloses, gomas) em quantidades letais nas células de parênquima, impedindo o transporte de seiva e causando sua morte, mudança de coloração, aumento na resistência ao ataque de fungos e insetos e na densidade (DINWOODIE, 1965; GALLAY, 1962; SPIEGELBERG, 1966; BAMBER, 1976).

Há relatos da formação de regiões de cerne no meio do alburno. São regiões mais escuras chamadas cerne de ferida, causada pela ação de fungos que estimulam a formação de tilos, matando as células de parênquima, ou feridas, formando regiões inativas de cerne (PANSIN; DE ZEEUW, 1980).

O conhecimento da proporção de cerne e alburno é fator importante para a destinação final da madeira pois influencia diretamente as suas propriedades e uniformidade, sua utilização, processos e a qualidade do produto final, visto que há diferenças marcantes entre as duas regiões do lenho.

O alburno é utilizado preferencialmente para a produção de pasta para papel devido ao seu baixo teor de extrativos e quando se pretende realizar o tratamento preservativo em madeira roliça; o cerne, porém, pelas suas características de maior resistência natural, é utilizado para a construção civil, e para fins com elevado grau de acabamento como, por exemplo, na indústria mobiliária (WILKINS, 1991; GONÇALVES *et al.*, 2010).

As diferenças entre os dois tipos de lenho são marcantes. O cerne contém mais compostos fenólicos e ácidos e menos amido que o alburno; o cerne de coníferas contém mais extrativos e menos lignina e celulose (BROWNING, 1963); apresenta menor teor de umidade devido à redução da atividade fisiológica e é menos permeável e de difícil secagem e impregnação de preservantes (HOADLEY, 2000), possui tecido mais compacto (BURGER; RICHTER, 1991); o cerne contrai menos que o alburno, embora contenha maior teor de extrativos (MOREIRA, 1999), por isso é mais abrasivo às ferramentas de corte (HOADLEY, 2000); possui maior densidade básica e normalmente

apresenta maior durabilidade natural, devido à ausência de materiais nutritivos e, principalmente, à presença de extrativos (OLIVEIRA *et al.*, 1986).

Para o *Schizolobium parahyba*, Nigoski *et al.* (2012) relataram que não há presença de tilos nos vasos do cerne. A cor do alburno é branco-palha, com manchas amareladas e rosadas com superfície lisa ao tato, com textura média a grossa, uniforme e grã irregular a reversa (INOUE *et al.* 1984).

3.4 Características anatômicas do lenho

3.4.1 Madeira juvenil e adulta

A madeira juvenil é o xilema secundário formado durante a fase jovem do câmbio vascular da árvore. Possui forma cilíndrica, com diâmetro aproximadamente uniforme, estendendo-se desde a base até o topo da árvore. O período de formação desse tipo de madeira varia conforme a espécie e pode ser afetado pelas condições ambientais. Anatomicamente, ocorre um progressivo aumento nas dimensões das células e correspondentes alterações na sua forma, estrutura e disposição em sucessivas camadas de crescimento (RENDLE, 1960). A madeira juvenil possui parede celular mais fina e, portanto, menor densidade, são maiores o ângulo das microfibrilas na camada S2, o diâmetro do lúmen, a incidência de lenho de reação e a contração longitudinal; as células são mais curtas, existe menor porcentagem de lenho tardio, maior conteúdo de lignina e hemiceluloses, menor conteúdo de celulose e menor resistência e rigidez em relação à madeira mais adulta (BENDTSEN, 1978; ZOBEL, 1984; SENFT *et al.*, 1985; ROWELL *et al.*, 2000; VIDAURRE *et al.* 2011). As propriedades mecânicas são menores na madeira juvenil e altamente afetadas pela presença desta (LARSON *et al.*, 2001). Bhat *et al.* (2001) relataram que os valores das propriedades mecânicas podem ser até 20% superiores na madeira adulta.

O estudo da quantidade de madeira juvenil e adulta em uma determinada espécie é importante para a destinação de uso final. A madeira juvenil tem grande influência em plantações de rápido crescimento, pois pode constituir porcentagem alta do lenho das árvores (TOMAZELO FILHO, 1987; MALAN, 1995).

As diferenças entre madeira juvenil e adulta nas folhosas são menores que nas coníferas. Por essa razão, a determinação de madeira juvenil em madeiras tropicais é particularmente mais difícil.

A principal variável na definição do limite entre a madeira adulta e juvenil é o comprimento das traqueídes ou fibras. Tais elementos anatômicos são mais curtos

na região de madeira juvenil que na madeira adulta e muito mais curtos perto da medula, aumentando rapidamente na zona de madeira juvenil em direção à casca. Por outro lado, no lenho adulto, as mudanças no comprimento das traqueídes ou fibras são muito pequenas (JANKOWSKY, 1979; ZOBEL, 1980).

Normalmente o comprimento das fibras (células iniciais fusiformes) aumentam com o amadurecimento do indivíduo no seu sentido radial, formando assim a madeira adulta, porção do lenho mais externa, estável, com maior comprimento de fibras e normalmente maior densidade. Esse comportamento das fibras foi estudado para diversas espécies em trabalhos de Tomazello Filho (1985) e Tomazello Filho (1987), Taylor (1973), Roque (2005), Alzate (2004) e Benjamin (2006), dentre outros.

Zobel (1980) relata que o aumento no comprimento das células, da região de madeira juvenil para adulta, pode ser de três a quatro vezes para as coníferas e de 1,5 a duas vezes para as folhosas. O progressivo aumento nas dimensões das células e correspondentes alterações nas suas formas, estrutura e disposição, refletem nas propriedades da madeira (VIDAURRE *et al.* 2011).

Trabalho recente de Lobão (2011), constatou a existência de lenho juvenil em árvores de paricá (*Schizolobium amazonicum*) – espécie considerada muito semelhante ao guapuruvu. O estudo envolveu, exclusivamente, aspectos anatômicos e a densidade de madeira.

Para o guapuruvu, Reitz *et al.* (1979) relataram fibras com comprimento de 0,5 mm a 1,1 mm, sendo as mais frequentes de 0,8 e 0,9 mm e predominando as de 0,8 mm.

Nisgoski *et al.* (2012), em estudo anatômico da espécie, encontrou fibras de comprimento médio igual a 838,10 µm perto da medula, na madeira juvenil e de 1201,36 µm perto da casca, na região de madeira adulta.

3.4.2 Madeira de reação

A madeira de reação é o tecido da árvore formado por alterações fisiológicas do câmbio, influenciado por efeitos genotípicos e estímulos ambientais (SOUZA, 2004). Essa reorientação das células auxilia a madeira a voltar à sua posição ereta, quando em terrenos inclinados, suportar tensões maiores como a ação de fortes ventos e cargas em excesso (OLIVEIRA *et al.*, 2010), responder à remoção da gema apical ou dos

galhos, ao ataque de fungos e insetos (DU; YAMAMOTO, 2007) e ajudar na busca por maior iluminação (WARENSJO, 2003).

O estímulo ambiental é igual em coníferas e folhosas mas a resposta desencadeada é diferente. O crescimento radial acelerado, no lado superior ou tracionado da árvore ocorre normalmente em folhosas e é chamado lenho de tração; quando em coníferas, o crescimento radial acelerado se dá no lado inferior (comprimido) do tronco ou ramo; esses lenhos possuem características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas muito diferentes (DU; YAMAMOTO, 2007).

A variação das propriedades da madeira de reação altera sua qualidade e pode ser considerada como defeito na classificação na indústria. As principais causas da depreciação da madeira de reação são a excentricidade da medula e as altas tensões de crescimento presentes, que podem causar rachaduras e empenamentos na madeira (VIDAURRE *et al.*, 2013).

O lenho de tração, desenvolvido nas folhosas, é regulado pelos hormônios auxina e giberelinas (DU; YAMAMOTO, 2007). É caracterizado, na maioria dos casos, pela presença de uma camada da parede celular referida como camada gelatinosa, ou camada G, que é formada principalmente por celulose, está voltada para o lúmen, no lado interno da célula (KOLLMAN; COTÊ, 1968) e com ângulo de microfibrilas muito pequeno (RUELLE *et al.*, 2007).

A madeira de tração possui alto teor de celulose e baixo teor de lignina (GARDINER *et al.* 2014), com maior espessura da parede celular e maior comprimento das fibras (SOUZA, 2004), menor área dos lúmens (HEINRICH; GARTNERT, 2008); os vasos são menores e encontrados em menor frequência (JIM; KWON, 2009; GARDINER *et al.* 2014). Há menor quantidade de amidos e açúcares armazenados no lenho de tração do que no lenho oposto (PANSIN; DE ZEEUW, 1980).

Possui superfície lanosa de difícil acabamento, secagem, colagem e desdobro, com aparecimento de rachaduras e empenamentos (VIDAURRE *et al.*, 2013 BENDTSEN, 1978) como forma de liberação das tensões de crescimento (SORIANO; GONÇALVES, 2013). A presença desse tipo de lenho é mais significativa na parte superior da árvore (SOUZA, 2004). As contrações da madeira tendem a ser maiores (WASHUSEN *et al.*, 2001) e a fixação de pregos e parafusos e o trabalho em serra são difíceis (TSOUMIS, 1991). A resistência dessa madeira à compressão normalmente é menor; a resistência à tração

pode ser maior ou pouco variável; a madeira de tração é mais dura e tem maior resistência ao impacto (GARDINER *et al.* 2014).

As folhosas possuem naturalmente variabilidade nas características anatômicas, muito maior do que a observada em coníferas. Por isso a anatomia diferenciada do lenho de tração influencia a densidade da madeira e as propriedades mecânicas muito mais do que o lenho de compressão (GARDINER *et al.*, 2014).

A despeito da alta variabilidade das características encontradas em diferentes trabalhos para o lenho de tração. A Tabela 3 apresenta um resumo das tendências mais comuns de comportamento da madeira de reação.

Tabela 3: Comportamento da madeira de reação e produtos compostos de madeira de reação em comparação à madeira normal

Propriedade	Madeira de compressão	Madeira de tração	Referências
Propriedade mecânica			
Densidade da parede celular	Menor	Maior	Terashima <i>et al.</i> (2009)
Densidade da madeira	Maior	Maior	Jourez <i>et al.</i> (2001), Timell (1986)
Resistência à tração/flexão	Menor	Maior	Saadat-Nia <i>et al.</i> (2011)
Resistência à compressão	Maior ou sem mudança	Menor	Timell (1986), Pechmann (1972)
Resistência ao cisalhamento	Maior		Muller <i>et al.</i> (2004)
Resistência ao impacto		Maior	Saadat-Nia <i>et al.</i> (2011)
Dureza	Maior	Maior, variável	Timell (1986), Jayme; Harders-Steinhauser (1953)
Estabilidade dimensional			
Retratibilidade longitudinal	Maior	Maior	Johansson (2003), Jourez <i>et al.</i> (2001)
Retratibilidade radial/tangencial	Menor ou sem mudança	Maior	Clair <i>et al.</i> (2003), Washusen; Ilic (2001), Fang <i>et al.</i> (2007)
Empenamento	Maior	Maior	Warensjo; Rune (2004)
Trabalhabilidade			
Facilidade de serrar	Maior		Timell (1986)
Acabamento		Melhor	Castéra <i>et al.</i> (1994)
Consumo de energia		Maior	Coutand <i>et al.</i> (2004)
Lisura da superfície	Maior	Menor	Timell (1986)
Usinagem	Mais difícil	Mais difícil	Kretschmann; Bendtsen (1992)
Secagem/colagem			
Estresse de secagem		Maior	Tarmian <i>et al.</i> (2009)
Rapidez de secagem	Menor		Willians (1971)
Adesão na linha de cola	Mais fraca	Mais fraca	Frihart (2005)
Tratamento térmico			
Retração longitudinal	Menor		Dündar <i>et al.</i> (2012)
Estabilidade dimensional	Melhor		Dündar <i>et al.</i> (2012)

Tabela 3: Comportamento da madeira de reação e produtos compostos de madeira de reação em comparação à madeira normal (continuação)

Produtos compostos à base de madeira			
Inchamento em espessura	Menor a levemente maior	Maior	Roffael <i>et al.</i> (2005), Akbulut <i>et al.</i> (2004), Buchholzer (1992)
Estabilidade dimensional	Menor		Ayrilmis (2008)
Ligação interna	Maior	Menor	Roffael <i>et al.</i> (2005), Buchholzer (1992)
Absorção de água		Maior	Roffael <i>et al.</i> (2005), Lehmann; Geimer (1974), Buchholzer (1992)
Resistência ao cisalhamento	Maior		Stürzenbecher <i>et al.</i> (2010)
Resistência à tração	Menor	Menor	Roffael <i>et al.</i> (2005), Buchholzer (1992)
Dureza superficial	Maior		Akbulut; Ayrilmis (2006)
Rugosidade superficial	Maior		Akbulut; Ayrilmis (2006)
Empenamento	Maior	Menor	Geimer <i>et al.</i> (1997)
Ligação fibras	Maior		Gregorova <i>et al.</i> (2009)
Polpa/Papel			
Retenção de água	Menor		Roffael <i>et al.</i> (2005)
Resistência do papel	Menor	Menor	Timell (1986), Parham <i>et al.</i> (1977)
Rendimento da polpa	Menor	Maior	Knigge; Schulz (1966)
Número Kappa	Maior		Mancosky <i>et al.</i> (2005)
Aparência visual	Avermelhado	Felpudo	Badia <i>et al.</i> (2005), Lim (1998)
Pintura, lixamento	Muda pouco	Problemático	Lim (1998), Lutz (1970)
Durabilidade	Maior	Menor ou sem mudança	Timell (1986), Blanchette <i>et al.</i> (1994)

Fonte: Gardiner *et al.* (2014), modificado pelo autor

Os efeitos do lenhos de reação e tensões de crescimento formadas podem ser aliviados com práticas silviculturais, condições de crescimento e métodos de exploração, secagem e desdobro e melhoramento genético (SORIANO; GONÇALVES, 2013).

3.5 Propriedades físicas da madeira

3.5.1 Densidade básica e aparente

A densidade da madeira está diretamente relacionada à sua qualidade, e é, portanto, uma das características mais usadas para a definição do seu uso final (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; BODIG; JAYNE, 1993). Constitui-se, também, no parâmetro de qualidade da madeira mais analisado nas pesquisas, pela sua relação com as propriedades anatômicas, físicas, mecânicas, químicas e de utilização da madeira (ROQUE;

TOMAZELLO, 2005). Esta propriedade é de grande interesse como indicativo de produtividade para indústrias, principalmente para as que produzem celulose, papel e painéis de madeira, bem como para a produção de madeira em florestas (TSOUMIS, 1991). Em relação às indústrias de painéis de madeira reconstituída, é a propriedade mais estudada e a variável mais importante, já que influencia os parâmetros do processo e as propriedades do produto final (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

É altamente desejável que a madeira tenha densidade o mais homogênea possível, o que facilita o seu beneficiamento, e proporciona um maior rendimento e melhor qualidade do produto final (VALE *et al.*, 1995).

As variações na densidade entre espécies e até em uma mesma árvore se devem principalmente às diferenças nas espessuras das paredes celulares, quantidade de espaços vazios, tamanhos das células e quantidade de extrativos da madeira.

Os valores de densidade aparente e densidade básica já permitem enquadrar, primariamente, a espécie em uma das classes de resistência, definidas na NBR 7190 (ABNT, 1997), e estimar a qualidade da madeira para uso estrutural (LOGSDON; FINGER, 2007).

A densidade básica do guapuruvu é apresentada na literatura com valores bastante variáveis, desde 240 kg/m³ (ANDRADE; CARVALHO, 1998) até 400 kg/m³ (REITZ *et al.*, 1979). Em relação à densidade aparente da madeira, Paula (1980) descreveu valores entre 320 e 400 kg/m³ a 12% de umidade.

3.5.2 Retratibilidade

A madeira, assim como outros materiais lignocelulósicos, apresenta contração (retração) quando o seu teor de umidade é reduzido do ponto de saturação das fibras (PSF) até a condição absolutamente seca. Esta retração ocorre pela aproximação das cadeias de celulose e, ou das microfibrilas. As variações dimensionais (contração ou expansão) dependem de fatores como o teor de umidade, a densidade da madeira, o grau de estresse de secagem causada pelo gradiente de umidade, entre outros. Como se trata de um material anisotrópico, as variações dimensionais são diferentes nas três direções principais (radial, tangencial e longitudinal). Há uma diferença entre a retratibilidade radial e a tangencial que é explicada pela influência restritiva dos raios na direção radial (KOLLMANN; COTÊ, 1968).

Além disso, a contração da madeira varia com a posição radial da amostra na árvore. Normalmente, as contrações transversais são menores nas regiões próximas à medula (na região de madeira juvenil) e crescem rapidamente em direção à casca. Essa mudança está associada à rápida redução do ângulo microfibrilar na parede celular, ao aumento do comprimento da célula e ao teor de celulose da madeira (PANSIN; DE ZEEUW, 1980).

A razão entre a contração tangencial e a radial é chamada índice de anisotropia (ou fator anisotrópico) e geralmente varia de 1,5 a 2,5 (OLIVEIRA; SILVA, 2003). Esse índice tornou-se muito usado para estudo de destinação de uso final da madeira: quanto maior essa relação, maior será a tendência ao fendilhamento e empenamento da madeira. Para fins que requerem uma estabilidade dimensional maior, a madeira mais recomendada é aquela que apresenta o menor índice de anisotropia.

A madeira do guapuruvu apresenta-se altamente instável, com índice de anisotropia de 2,06 (LTM, 2009) a 3,06 (JANKOWSKI *et al.*, 1990) e contração volumétrica de 8,4% a 13,95%. A partir desses resultados, poderia ser usada principalmente para embalagens leves, palito para fósforo, e obras temporárias na construção civil.

3.6 Propriedades mecânicas da madeira

A avaliação das características mecânicas de cada espécie ou de cada lote de madeira é importante para uma correta destinação deste material, garantindo os pressupostos do projeto e proporcionando segurança e qualidade ao produto final.

As propriedades mecânicas avaliam a aptidão da madeira em suportar as solicitações mecânicas. São avaliadas em duas direções principais: paralela e normal às fibras, e normalmente mensuradas considerando-se a resistência (aptidão em suportar solicitações mecânicas propriamente ditas) e a rigidez (avaliada pelo módulo de elasticidade), que reporta a proporcionalidade existente entre tensões e respectivas deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear.

A resistência da madeira na direção normal às fibras é menor que a observada na direção paralela, com valores por volta de 25% dos observados nessa última direção, no caso de ensaio à compressão. Similarmente, 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).

As propriedades mecânicas são influenciadas pelo teor de umidade da madeira: com o aumento do teor de umidade observa-se uma diminuição em sua resistência mecânica. Esta variação na resistência é mais sensível para baixos teores de umidade (entre 0% e o ponto de saturação das fibras – PSF), e é praticamente desprezível para elevados teores de umidade, acima do PSF (LOGSDON, 1998).

As propriedades mecânicas da madeira são dependentes, também da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis ou camadas de crescimento, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade de ataque de insetos, do tipo, localização e quantidade de nós e defeitos, umidade e em menor grau a temperatura, velocidade de ensaio e duração do carregamento, dentre outros fatores (EVANS *et al.*, 2000). Além disso, o ambiente, bem como sua manipulação, podem afetar as características da madeira e, conseqüentemente, sua qualidade (SHIMOYAMA, 1990).

Dentre as propriedades mecânicas mensuradas na madeira, a compressão paralela às fibras é, no enfoque nacional no assunto, a propriedade de maior importância. É considerado um ensaio puro, além de possuir boa correlação com quase todas as demais propriedades mecânicas da madeira. É o parâmetro balizador na classificação estrutural desse material.

A resistência da madeira à compressão normal às fibras é característica importante pois pode ser fator limitante a algumas aplicações do material, como dormentes utilizados nas ferrovias (HELLMEISTER, 1965 *apud* BORTOLETTO JR, 1993).

A maior resistência da madeira se dá no ensaio de tração na direção paralela às fibras (TIMOSHENKO, 1953 *apud* SALES, 1991).

A resistência à tração normal às fibras é obtida apenas em estudos específicos, para comparação entre espécies de madeira, e não é utilizada na avaliação da segurança das estruturas de madeira (ABNT, 1997) já que, nesses usos, se desconsidera essa resistência da madeira.

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras é condicionante nas operações de desdobro da madeira além de ser parâmetro importante no projeto de estruturas para a construção civil (SANTANA *et al.*, 2001). É um dos ensaios requeridos para destinação correta de madeira destinada a estruturas com ligações condicionantes do desempenho global (BORTOLETTO JR, 1993).

A resistência à flexão e o módulo de elasticidade à flexão são propriedades de mais fácil determinação em condições de campo. Por essa razão, são consideradas pela norma americana (ASTM) como determinantes para classificação da madeira em classes de resistência.

A dureza Janka da madeira possui boa correlação com as demais propriedades e é de fácil determinação; pode ser avaliada em duas direções da madeira: paralela e normal às fibras. Pode ser característica limitante em aplicações como entalhes, assoalhos, tacos e roletes (BORTOLETTO, 1993).

Carvalho (2005), reportando as características físicas e mecânicas da madeira de guapuruvu, comenta que elas podem ser obtidas em Mainieri e Chimelo (1993), publicação clássica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas que sumariza, por meio de fichas, as características das principais madeiras brasileiras. Evidencia, indiretamente, a carência de trabalhos mais específicos sobre a espécie.

As principais propriedades mecânicas reportadas na literatura para o guapuruvu estão apresentadas na Tabela 4. Os resultados de Mainieri e Chimelo (1993), sem detalhamento da idade das árvores e das condições de sítios, foram obtidos com madeira à umidade de 15% e os resultados de Trianoski (2010) foram obtidos do banco de dados do Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR (2009); as árvores tinham 15 anos e os ensaios foram feitos segundo as normas COPANT a um teor de umidade da madeira de 12%

Tabela 4: Propriedades mecânicas do guapuruvu.

Propriedade (MPa)		Mainieri, Chimelo (1993) 15%	Trianoski (2010) 12%
Resistência à compressão paralela	f_{c0}	19,22	18,00
Módulo de elasticidade à compressão paralela	E_{c0}	-	6.904
Resistência à tração normal às fibras	f_{t90}	2,84	-
Resistência ao cisalhamento	f_{v0}	4,60	6,00
Resistência à flexão estática	f_M	41,38	34,00
Módulo de elasticidade à flexão estática	E_M	4.972	4.501
Dureza Janka	f_H	14,80	14,29
Obs.: Não foram encontrados na literatura, dados para as seguintes propriedades: Resistência à compressão normal, Módulo de elasticidade à compressão normal, Resistência à tração paralela às fibras, Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras.			

3.6.1 Caracterização de lotes da madeira

A NBR 7190/1997 (ABNT, 1997) estabelece três alternativas para se proceder a caracterização da resistência dos lotes de madeira a serem empregadas na construção de estruturas: caracterização completa (para espécies desconhecidas), caracterização mínima (indicada para espécies pouco conhecidas) e caracterização simplificada (para espécies bem conhecidas).

A caracterização da resistência da madeira a ser empregada no projeto e na construção de estruturas é feita de acordo com os métodos especificados no Anexo B da NBR 7190 (ABNT, 1997), para as seguintes propriedades (sempre referidas à umidade de 12%): resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), resistência à compressão normal às fibras (f_{c90}), resistência à tração normal às fibras (f_{t90}), resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), resistência ao embutimento paralelo às fibras (f_{e0}), resistência ao embutimento normal às fibras (f_{e90}), densidade básica (ρ_{bas}) e densidade aparente a 12% de umidade (ρ_{12}).

A caracterização da rigidez da madeira é feita de acordo com os métodos especificados no Anexo B da NBR 7190 (ABNT, 1997), podendo-se adotar a forma completa ou simplificada.

Com os resultados obtidos na caracterização de lotes de madeira pode-se proceder a sua classificação estrutural em classes de resistência. O enquadramento de lotes de madeira nas classes de resistência especificadas nas Tabelas 5 e 6 é feito com base nos valores característicos da resistência à compressão paralela às fibras.

Tabela 5: Classes de resistência das madeiras de coníferas

CONÍFERAS – Valores na condição de referência U=12%					
Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{v0k} (MPa)	E_{c0m} (MPa)	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{12} (kg/m ³)
C20	20	4	3.500	400	500
C25	25	5	8.500	450	550
C30	30	6	14.500	500	600

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997), atualizado pelo autor

Tabela 6: Classes de resistência das madeiras de eudicotiledôneas

EUDICOTILEDÔNEAS – Valores na condição de referência U=12%					
Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{v0k} (MPa)	E_{c0m} (MPa)	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{12} (kg/m ³)
C20	20	4	9.500	500	650
C30	30	5	14.500	650	800
C40	40	6	19.500	750	950
C60	60	8	24.500	800	1000

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997), atualizado pelo autor

3.7 Qualidade da madeira de guapuruvu

A variação das propriedades da madeira no sentido medula-casca é devida a fatores fisiológicos e anatômicos como o diâmetro dos vasos, espessura da parede celular, comprimento das fibras, teor de extrativos, etc. Tais características diferem entre anéis de crescimento, entre cerne e alburno e entre madeira juvenil e adulta e entre lenho normal e de reação, que é formado em situações especiais.

É conveniente para o processo industrial que a madeira tenha a maior homogeneidade possível em suas características, evitando assim variações no processo produtivo e possível diminuição da qualidade dos produtos. Uma madeira homogênea facilita o beneficiamento e classificação e possui maior rendimento (VALE *et al.*, 1995).

A quantidade de cerne e alburno e madeira juvenil e adulta e suas influências nas propriedades físicas e mecânicas da madeira irão condicionar diretamente a destinação final da espécie em estudo e qualidade dos produtos provenientes dela (FOELKEL, 1997; HASELEIN *et al.*, 2004).

Um modelo simulado, apresentado por Benjamin (2006), ilustra uma possível interação entre as regiões de cerne e alburno, e madeira juvenil e adulta que podem influenciar nas propriedades físicas e mecânicas da madeira e suas variações ao longo do raio (Figura 1), assumindo, de forma simplificada, que o cerne teria formação cônica e a madeira juvenil formação cilindro-cônica. A superposição de alburno e madeira juvenil e adulta e cerne e madeira juvenil e adulta seriam teoricamente possíveis e dependentes da idade da árvore e das posições radial e longitudinal ao longo do tronco da árvore.

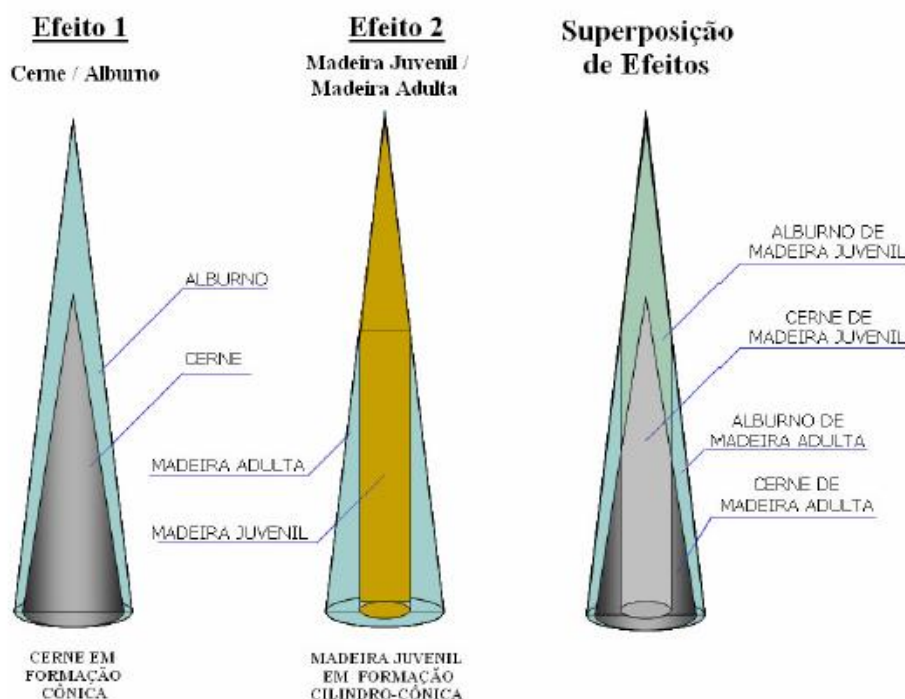


Figura 1. Corte longitudinal evidenciando possível interação entre madeira juvenil e adulta e entre cerne e alburno de acordo com Jozsa e Middleton (1994), modificado por Benjamin (2006)

As propriedades mecânicas e a densidade da madeira, possuem maiores variações dentro dos indivíduos na direção radial (CRUZ *et al.*, 2003). Diversos pesquisadores vêm estudando a variação radial da densidade e também sua correlação com as propriedades mecânicas, com uso de diferentes métodos (CRUZ *et al.*, 2003; TOMAZELLO FILHO, 1985; BENJAMIN, 2006; SILVA, 2002; LEONELLO, 2011 e FRANCO 2014).

No Brasil, desde o trabalho de Amaral (1994), o método de densitometria de raios X é um dos mais utilizados, pois permite a determinação da variação radial da densidade aparente da madeira com registros a intervalos muito pequenos da ordem de até 0,04 mm. Rollo (2009) foi pioneira na determinação da densidade aparente do guapuruvu com uso desse método. Observou que o uso da densitometria de raios X para análise da densidade aparente da madeira foi a técnica mais precisa e que forneceu maiores detalhes das amostras quando comparada com a tomografia de impulso que apenas gera informações de regiões da madeira.

Considerando ser a variação radial mais expressiva que a longitudinal, normalmente a primeira é a mais estudada. Para *Schizolobium amazonicum*, o paricá, os trabalhos mais recentes são de Lobão (2011), Lobão *et al.* (2012) e Melo *et al.*

(2013). Pelos trabalhos de Lobão (2011 e 2012) concluiu-se que as amostras de *Schizolobium amazonicum* tiveram um padrão comum de variação radial da densidade do lenho, indicando a região externa do tronco como a de madeira adulta, de melhor qualidade.

3.8 Classificação e destinação final da madeira de guapuruvu

Uma das maneiras clássicas de classificação da madeira se dá pelo enquadramento em classes de resistência, definidas a partir da resistência à compressão paralela às fibras da madeira (NBR 7190, ABNT, 1997). No entanto, essa classificação pode ser limitada quanto ao aproveitamento potencial da madeira em questão, pois leva em consideração apenas uma de muitas características e solicitações que este material poderá sofrer em diferentes aplicações.

Outras classificações, sugeridas por diferentes autores, consideram características físico-mecânicas da madeira que são importantes em diferentes aplicações do material e podem ajudar na decisão de sua destinação final.

Nogueira (1991) classificou 16 espécies de eucaliptos usando os critérios propostos por Sallenave (1955, 1964, 1971 *apud* NOGUEIRA, 1991), Nahuz (1974 *apud* NOGUEIRA, 1991) e critérios complementares. Tais critérios foram novamente usados por Bortolotto (1993) em seu trabalho que objetivou a destinação correta de seis espécies de pinus para a construção civil.

O critério de classificação usado por Sallenave (1955 *apud* NOGUEIRA, 1991 e BORTOLETTO, 1993) obedece prescrições contidas nos métodos de ensaio da norma francesa AFNOR (Association Française de Normalization).

Os critérios propostos por Nahuz (1974 *apud* NOGUEIRA, 1991 e BORTOLETTO, 1993) usam parâmetros de resistência, durabilidade e usos previstos.

Nogueira (1991) também sugeriu alguns critérios de classificação complementares aos da literatura, com base na experiência acumulada no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

Na literatura nacional encontra-se ainda o critério proposto por Araújo (2002), que definiu cinco classes a partir da densidade básica da madeira.

3.9 Síntese da revisão bibliográfica

Com o alto crescimento da demanda por madeira nos últimos anos (2,7% a.a. de 2002 a 2011), e o baixo crescimento na produção deste produto (1,0% a.a. de 2002 a 2011), é preciso pensar em alternativas de suprimento de madeira, se sejam sustentáveis. O uso comercial de espécies pioneiras de rápido crescimento, que já cumpriram sua função na sucessão florestal é uma das alternativas possíveis. O guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake), espécie pioneira da Mata Atlântica, considerada uma das 12 mais importantes para estabelecimentos de reflorestamentos pela qualidade de sua madeira, vitalidade, abundância, dispersão, rápido crescimento e produção periódica de sementes (REITZ *et al.*, 1979) atende esses pressupostos. É usado primeiramente para formação de dossel e sombreamento das espécies secundárias tardias e clímax, mas após essa primeira fase da sucessão florestal passa a competir com as demais espécies por luz, água e nutrientes e acaba por desaparecer do sistema. A sua retirada de forma manejada, sem danificar o sub-bosque pode ser benéfica para acelerar o desenvolvimento da floresta.

O potencial do guapuruvu já foi preliminarmente estudado por alguns autores, visto que a espécie chama atenção por ser considerada uma das nativas de mais rápido crescimento (LORENZI, 2002; CARVALHO, 2003). Um indivíduo adulto pode chegar a 30 m de altura e 100 cm de DAP (RICHTER *et al.*, 1974) e seu IMA em rotações curtas de 10 anos e espaçamento 4m x 4 m chega a 60 m³/ha.ano (SALGADO *et al.*, 1989).

Os estudos iniciaram-se apenas com verificações na área de plantio e revisões bibliográficas (RICHTER *et al.*, 1974). Alguns trabalhos seguiram a linha de estudos de aplicação comercial do guapuruvu em painéis de madeira com resultados positivos (RICHTER *et al.*, 1975; REITZ *et al.*, 1979; MAINIERI; CHIMELO, 1993, BORTOLETTO; BELINI, 2002, TRIANOSKI, 2010 e ATHANÁZIO-HELIODORO, 2014). Nigoski *et al.* (2012) estudou o potencial da espécie para produção de papel e celulose, também com sucesso.

Apenas os trabalhos de Mainieri e Chimelo (1993) e Trianoski (2010) apresentam resultados de propriedades mecânicas da madeira de guapuruvu. Ainda assim, algumas propriedades importantes não foram estudadas. Os valores reportados por Mainieri e Chimelo (1993) foram obtidos em condições de ensaio não mais utilizadas (umidade relativa da madeira de 15%) e não apresentaram detalhes sobre a idade das árvores e as condições de sítio, entre outros.

Com os resultados desses estudos ainda não são conclusivas as possibilidades de usos comerciais do lenho do guapuruvu, principalmente quando obtido a partir de árvores jovens (15 anos), retiradas de áreas de recuperação florestal. Na bibliografia há lacunas de conhecimento quanto à qualidade da madeira e sua homogeneidade, fator considerado importante para a indústria visto que facilita o beneficiamento da madeira, proporciona melhor rendimento e qualidade final ao produto e facilita sua classificação (VALE *et al.*, 1995).

Para uma definição mais precisa do potencial tecnológico dessa madeira, que garanta sua qualidade, é necessária a realização de um estudo tecnológico completo da espécie que compreenda a determinação das propriedades físico-mecânicas, a caracterização completa do lenho (cerne, alburno, madeira juvenil e adulta) e sua influência na variação dessas propriedades.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção do material experimental

4.1.1 Coleta do lenho das árvores

As árvores usadas para caracterização de sua madeira foram retiradas de área experimental que está localizada na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Campus de Botucatu – SP (22° 50' S; 48° 25' W).

Nessa área foram utilizadas diferentes espécies heliófilas de rápido crescimento, entre elas o guapuruvu, com o objetivo inicial de recuperação florestal da área, em 1997. Foi utilizado o sistema de semeadura direta no campo (espaçamento 1m x 1m) e cultivo mínimo em local com altitude média de 700 m e precipitação média anual de 1470 mm em solo Nitossolo vermelho (“terra roxa”), de ótima fertilidade e boas propriedades físicas, mas com tendência a compactação. A temperatura média anual é igual a 19,4°C.

Maiores detalhes da área experimental e dos procedimentos de implantação da recuperação florestal constam de Engel e Parrota (2000).

Foram amostradas seis árvores de guapuruvu de uma área com cerca de 90 árvores dessa espécie, sendo retiradas aquelas que causariam menor impacto à área de recuperação florestal, resguardando o pressuposto geral do trabalho. (Figura 2).

De cada árvore foi amostrada uma tora de 2,5 m de comprimento, dividida em duas toras menores –superior e inferior – (Figura 3) de onde foi retirado o material amostral para estudo das propriedades mecânicas –tora superior – e da qualidade da madeira (variação radial das propriedades físico-mecânicas e da densidade aparente – densitometria de raios X - e estudo de características anatômicas – cerne e alburno, madeira juvenil e adulta e madeira de reação) – tora inferior.

Da tora inferior foram desprezados os primeiros 30 cm de sua base, e de seu topo foram retirados três discos para realização dos ensaios:

- Disco A (3 cm de espessura) – densitometria de raios X
- Disco B (3cm de espessura) – densidade básica e aparente (a 12%)
- Disco C (7cm de espessura) – ensaios de dureza Janka e determinação da madeira juvenil e adulta.

Logo após o desdobro, como tratamento profilático, as toras e discos foram pulverizados com inseticida Osmose CP50 (2,5%) e fungicida Osmotox Plus (4%) seguindo recomendações dos produtos comerciais utilizados.



Figura 2. Coleta das árvores. a) Vista geral do plantio; b) Abate das árvores; c) Carregamento das toras; d) Toras agrupadas na serraria

Os dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total das árvores selecionadas são apresentados na Tabela 7. Na Tabela 8 são apresentados os comprimentos dos raios e a relação entre os raios de cada árvore. Ficou definido que os raios direitos (RD) serão os maiores e os raios esquerdos (RE), os menores.

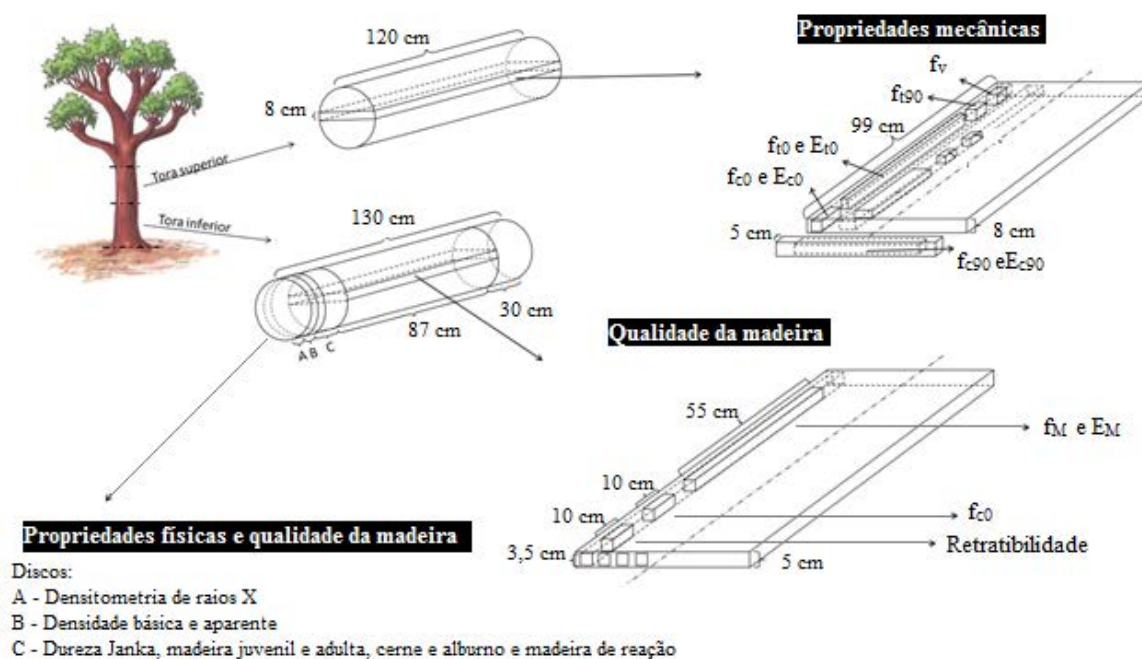


Figura 3. Esquema de desdobro das toras, prancha superior para produção dos corpos de prova para ensaios mecânicos e prancha interior para produção dos corpos de prova para o estudo tecnológico; esquema de Leonello (2011) modificado pelo autor

Tabela 7: Dados de DAP (com casca), altura comercial e altura total de cada uma das seis árvores de *Schizolobium parahyba* estudadas

Árvore	DAP (cm)	Altura comercial (m)	Altura total (m)
1	41,8	9,5	20,3
2	50,4	7,3	23,6
3	50,0	10,8	22,8
4	38,7	8,3	20,8
5	65,5	7,8	23,0
6	39,2	8,3	21,7
Média	47,60	8,67	22,03
Desv. Pad.	10,17	1,28	1,31
Coef. Var.	21,37	14,72	5,96

Tabela 8: Comprimento dos raios direito e esquerdo (RD e RE) sem casca e a relação entre eles

Árvore	RE (cm)	RD (cm)	RD/RE
1	18,1	22,7	1,25
2	24,3	23,6	0,97
3	21,6	26,0	1,20
4	18,7	19,6	1,05
5	25,6	32,2	1,26
6	18,9	19,3	1,02

4.1.2 Desdobro e preparo dos corpos de prova

As toras foram desdobradas na serraria da empresa Caribeia Indústria Madeireira Ltda., para obtenção de um pranchão central de cada tora (superior e inferior), na região de maior diâmetro da tora, englobando a área da medula (Figura 4-a; b).



Figura 4. a; b) Desdobro do pranchão central das toras de *Schizolobium parahyba*; c;d) Operações na marcenaria da FCA/UNESP, Botucatu para confecção dos corpos de prova com sobre-medida

Do pranchão central da tora superior, com 8 cm de espessura, foram confeccionados os corpos de prova dos ensaios mecânicos, conforme ilustrado na Figura 3. Foram produzidos na marcenaria da FCA-UNESP com sobre medida e climatizados em câmara de climatização do Laboratório de Ensaio de Materiais – DEnR a 12% de umidade de equilíbrio. Depois disso, foram novamente processados mecanicamente para atingirem as dimensões nominais e detalhes geométricos preconizados pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

Do pranchão central da tora inferior, com 8 cm de espessura, foram serrados caibros com seção transversal de 3,5 x 3,5 cm na marcenaria da FCA-UNESP Botucatu-SP destinados aos ensaios de qualidade da madeira (Figura 4-c; d).

Esses caibros foram igualmente climatizados a 12% de umidade de equilíbrio e, posteriormente, ajustados à seção de 3 x 3cm e comprimento de 10 cm, para

ensaios de retratibilidade e de compressão paralela às fibras e comprimento de 55 cm para ensaios de flexão estática.

Os ensaios de dureza Janka paralela às fibras foram realizados em faixa diametral retirada do disco C (Figura 3), em intervalos regulares de 3,9 cm (3,5 cm – largura do corpo de prova, 4 mm – desgaste da serra) no sentido medula-casca. Este espaçamento visou aplicar força para medição da dureza da madeira nos mesmos pontos do lenho de onde foram retirados os corpos de prova de compressão paralela às fibras e flexão estática, a fim de ser possível a correlação desses resultados. A metodologia do ensaio de dureza Janka seguiu, no geral, o preconizado na NBR 7190 (ABNT, 1997).

A Figura 5 ilustra esquema da retirada dos corpos de prova destinados aos ensaios de avaliação da qualidade da madeira (variação radial das resistências à compressão paralela às fibras, flexão estática e dureza Janka) evidenciando a manutenção das posições radiais dos corpos de prova.

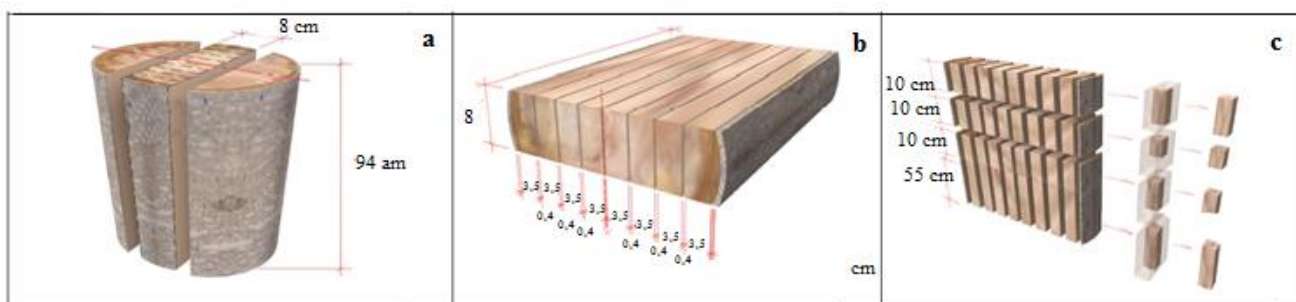


Figura 5. Produção dos corpos de prova; (a) desdobro da prancha central de 8 cm de espessura, de onde foi retirada a faixa diametral; (b) prancha e caibros; (c) corpos de prova utilizados no ensaio de resistência à compressão paralela às fibras (10 cm), retratibilidade (10 cm) e flexão (55 cm), segundo esquema de Benjamin (2006), modificado pelo autor

Todos os corpos de prova foram marcados para identificação da árvore de procedência, lado da árvore (lado direto – lado de maior raio) e posição do corpo-de-prova - 1º corpo de prova como o mais próximo da medula.

Os ensaios das propriedades físicas e mecânicas da madeira foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, UNESP de Botucatu e, no geral, seguiram os procedimentos recomendados pelo anexo B da norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997). Os ensaios mecânicos foram realizados com uso de máquina universal de ensaios modelo

DL30000 da marca EMIC. As medidas dos lados do corpo de prova foram feitas com paquímetro com sensibilidade de 0,01 mm. Os resultados de resistência e rigidez foram corrigidos para a umidade de referência de 12%, com uso das expressões de correção apresentadas na norma brasileira NBR7190 (ABNT, 1997).

4.2 Características gerais da madeira - Cerne e alburno

A diferenciação entre cerne e alburno foi feita visualmente por cor. A atribuição de cor às duas frações seguiu padrão apresentado por Zenid e Ceccantini (2007), com sete diferentes cores, conforme se ilustra na Figura 6. Para facilitar as atribuições, os autores apresentam espécies referenciais para cada uma das cores. Foi ainda caracterizada uma região de transição entre o cerne e o alburno.

	Esbranquiçada	Amarelada	Avermelhada	Acastanhada	Parda	Enegrecida	Arroxeadada
	<i>Virola, Virola surinamensis</i>	<i>Marupá, Simarouba amara</i>	<i>Conduru, Brosimum paraense</i>	<i>Jatobá, Hymenaea courbaril</i>	<i>Imbuia, Ocotea porosa</i>	<i>Braúna, Melanoxylon brauna</i>	<i>Pau-roxo, Peltogyne confertiflora</i>
IPT, Zenid, 2007							

Figura 6. Cores da madeira de acordo com Zenid e Ceccantini (2007)

4.3 Características anatômicas da madeira

4.3.1 Madeira juvenil e adulta

A delimitação entre madeira juvenil e adulta foi realizada a partir da mensuração do comprimento das fibras em cada anel de crescimento ao longo do raio esquerdo (raio menor). Assumindo-se as constatações de Marcati *et al.* (2008), em estudo sobre o desenvolvimento cambial da espécie, os anéis de crescimento do guapuruvu foram considerados anuais e delimitados pela faixa inicial de parênquima axial. Foram contados 15 anéis de crescimento em cada indivíduo, número compatível com a idade da árvore (Figura 7).

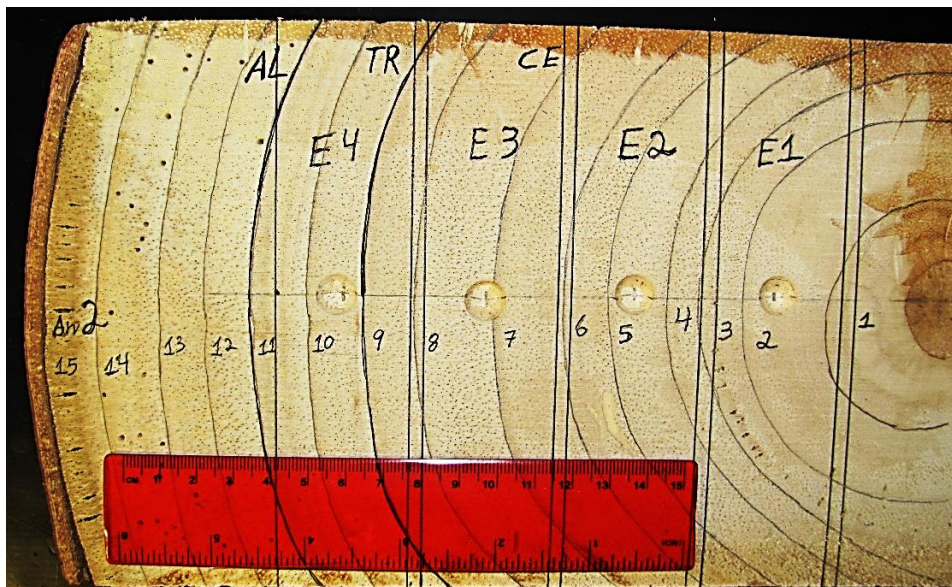


Figura 7. Demarcações no raio esquerdo do lenho (1 a 15); regiões de cerne (CE), transição (TR) e alburno (AL); corpos de prova para ensaios (E1 a E4)

As análises anatômicas do lenho foram realizadas em faixa diametral do disco C (mesma faixa onde foi mensurada a resistência à dureza Janka).

De cada faixa diametral foi retirada uma bagueta na direção radial contendo a medula, com cerca de 1 cm de espessura (Figura 8-a1). A partir da medula até a casca foram retiradas amostras de cada m dos anéis (Figura 8-a2) que foram picadas em forma de pequenos “palitos” (Figura 8-a3).

Os palitos foram colocados em frascos de vidro separadamente contendo solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio para análise, na proporção 1:1 (Figura 8-b). Os frascos foram vedados (Figura 8-c) e levados à estufa a 60 °C por cerca de 24 horas, ou até que a solução se apresentasse transparente e os palitos esbranquiçados (Figura 8-d). Depois de resfriados à temperatura ambiente, o material foi cuidadosamente lavado em água corrente e álcool 50% (Figura 8-e). Todo o material foi corado com safranina 1% em etanol 50% e conservado sob resfriamento (Figura 8-f) (KRAUS; ARDUIN 1997).

Foram montadas cinco lâminas semipermanentes de cada anel utilizando parte do material e glicerina (KRAUS; ARDUIN 1997) (Figura 8-g).

Os procedimentos de maceração e montagem das lâminas foram feitos no Laboratório de Anatomia da Madeira da Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP de Botucatu.

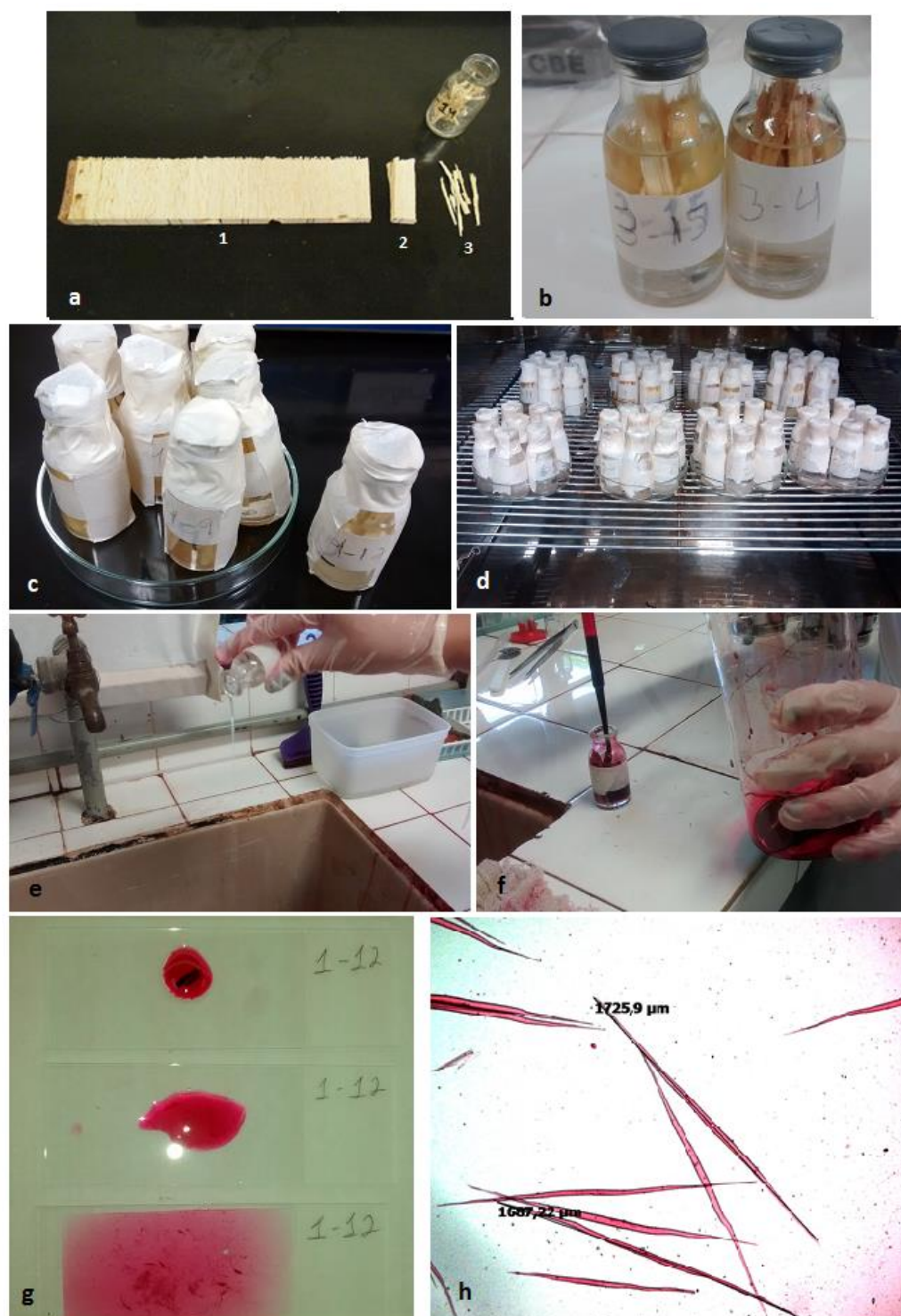


Figura 8. a) Amostragem para análise anatômica: 1) faixa diametral da árvore; 2) amostras retiradas dos 15 anéis de crescimento; 3) “palitos” retirados de cada amostra; Dissociação das células: b) palitos em solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio para análise; c) frascos vedados; d) aquecimento em estufa por 24 horas; e) lavagem do material em água e álcool; f) material em corante safranina; g) Etapas da montagem das lâminas (material com glicerina e corante safranina, dissociação das células da amostra, lâmina pronta); h) Imagem do software Axio Vision 4.8 usado na medição do comprimento das fibras

Mediram-se os comprimentos de seis fibras por lâmina, usando as técnicas descritas por IAWA (1989) e Coradin e Muniz (1992). O número de medições (cinco lâminas por anel x seis fibras por lâmina) foi fixado seguindo as recomendações Freese (1967) e Eckblad (1991).

As medições dos comprimentos das fibras foram realizadas no Laboratório de Painéis de Madeira e Qualidade da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP de Botucatu em equipamento de análise de imagens, composto de microscópio trinocular marca Carl Zeiss, acoplado a uma câmera digital de alta resolução marca AxioCam MRc Color. Foi utilizado o software de análise de imagem Axio Vision 4.8 para aquisição e diagnóstico das imagens (Figura 8-h).

O limite entre as regiões de madeira juvenil e adulta foi determinado por meio de análise de regressão linear segmentada entre a distância radial no sentido medula-casca e os comprimentos médios de suas respectivas fibras.

O final do incremento de valores de comprimento das fibras e início da sua estabilização, na direção radial, caracteriza o limite das regiões entre madeira juvenil e madeira adulta, como observado por Senft *et al.* (1986), Calonego *et al.* (2005), Lara Palma *et al.* (2010) e Leonello (2011), entre outros.

4.3.2 Madeira de reação

A análise da presença de lenho de tração foi feita verificando-se a existência de fibras com camadas gelatinosas em ambos os raios das árvores (raios esquerdo e direito). Duas faixas diametraais foram retiradas dos discos C, usados para determinação da dureza Janka. Essas faixas foram escolhidas ao acaso, com o cuidado para que fossem amostrados pelo menos um indivíduo com desbalanceamento do raio e um indivíduo sem (árvores 1 e 2) e amostras foram retiradas de quatro regiões localizadas nos anéis de crescimento correspondentes aos anos 4 (área de cerne), entre 7 e 8 (área de cerne), entre 11 e 12 (área de transição) e entre 14 e 15 (área de alburno) (Figura 9).



Figura 9: Localização das amostras retiradas para determinação da presença de lenho de tração; a) e b) amostras retiradas de região de cerne, c) amostra retirada de região de transição; d) amostra retirada de região de alburno

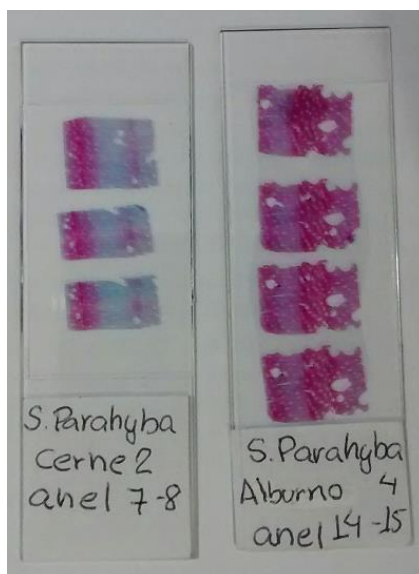


Figura 10: Lâminas semi-permanentes utilizadas para análise da presença de madeira de reação

Para confecção das lâminas semipermanentes (Figura 10), as amostras (Figura 9) foram colocadas em água com glicerina para amolecimento, os cortes transversais foram realizados em micrótomo de deslize com espessura de corte de 15 μm . Os cortes histológicos foram lavados em vidro de relógio na seguinte sequência: água, água sanitária 50% para branqueamento das amostras, água novamente, água acética 1% para neutralizar a água sanitária, água. Foi usado o corante tipo saflablau de dupla coloração (azul de astra aquoso 1% e safranina aquosa 1% na proporção 9:1). Posteriormente foi feita uma série alcóolica para desidratação das amostras (álcool 20%, 50%, 70%, 90%, 100%). Para fixação do corante foi utilizado o acetato de butila e a montagem foi feita por meio de entelã (adesivo sintético) (BUKATSCH, 1972 modificado por KRAUS; ARDUIN, 1997). As análises foram feitas em microscópio Axioshop 40 da marca Zeiss, e as lâminas foram fotografadas com câmera AxioCam MRC da marca Zeiss, no programa AxioVision LE 4.6.

4.4 Propriedades físicas da madeira

4.4.1 Densidade Básica

A densidade básica foi determinada pelo método gravimétrico (método da balança hidrostática) que determina o volume por meio da variação do peso da amostra e utiliza a relação entre os pesos seco, saturado e imerso dos discos B retirados da região da altura do peito. Esse método é reportado em Vital (1984), Vale *et al.* (1999) e Santos *et al.* (2008).

4.4.2 Densidade Aparente

A avaliação da densidade aparente da madeira foi feita pelo método de imersão que determina o volume por meio da variação do peso do líquido, relatado em Vital (1984). Os corpos de prova utilizados foram cunhas dos discos B de cada uma das seis árvores do estudo. As cunhas contendo a medula foram pesadas com uso de uma balança digital com sensibilidade de 0,01g para a obtenção da massa. As cunhas foram fixadas em uma agulha e imersas em recipiente com água para avaliação do volume pela variação de peso do líquido. A densidade aparente foi determinada dividindo-se a massa aparente pelo volume aparente à umidade próxima a 12%.

4.5 Propriedades mecânicas da madeira

Os ensaios das propriedades mecânicas da madeira foram realizados em corpos de prova obtidos da tora superior (Figura 3) de cada árvore. Para a determinação das deformações específicas, utilizados no cálculo de métodos de elasticidade foi empregado um clip-gage.

Os resultados de resistência do lote (considerado como o conjunto das seis árvores estudadas) foram ainda reportados em termos de valores característicos, estimados pela equação preconizada pela NBR7190 (ABNT, 1997). A Tabela 9 sumariza as condições de ensaio de cada propriedade mecânica da madeira analisada e a Figura 11 apresenta uma visão geral dos ensaios e detalhes de corpos de prova ensaiados.

Tabela 9: Condições de ensaio e característica dos corpos de prova das propriedades mecânicas da madeira

Propriedade	Dimensão do corpo de prova	Célula de carga	Taxa de carregamento	Observação
Resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (f_{c0} e E_{c0})	5 x 5 x 15 cm	300 kN	10 MPa/min.	Ciclo prévio de carga
Resistência e módulo de elasticidade à compressão normal às fibras (f_{c90} e E_{c90})	5 x 5 x 10 cm	100 kN	2,5 MPa/min.	Monotônico
Resistência e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (f_{t0} e E_{t0})	Dimensões específicas segundo a norma	300 kN	10 MPa/min.	Ciclo prévio de carga
Resistência à compressão normal às fibras (f_{t90})	Dimensões específicas segundo a norma	20 kN	2,5 MPa	Monotônico
Resistência ao cisalhamento (f_v)	Dimensões específicas segundo a norma	100 kN	2,5 MPa	Monotônico

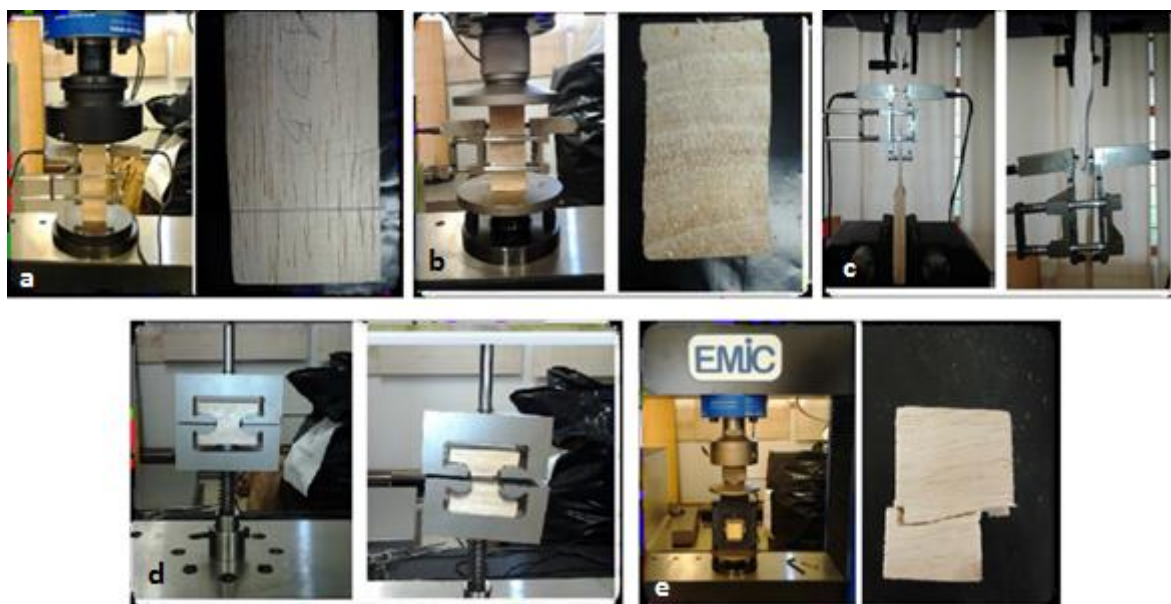


Figura 11. Visão geral dos ensaios mecânicos da madeira de guapuruvu e corpos de prova ensaiados; a) ensaio de compressão paralela às fibras; b) ensaio de compressão normal às fibras; c) ensaio de tração paralela às fibras; d) ensaio de tração normal às fibras; e) ensaio de cisalhamento

Para os ensaios de compressão paralela às fibras e tração paralela às fibras foram realizadas as caracterizações das rupturas de cada um dos corpos de prova ensaiados. Foram baseadas em norma e trabalhos internacionais por falta de maiores detalhamentos das tipologias de ruptura do corpo de prova nas normas brasileiras.

A caracterização dos corpos de prova de compressão paralela às fibras foi baseada na ASTM D143-94 (ASTM, 2007) que sugere seis tipos característicos de ruptura (Figura 12), sendo os três primeiros tipos: *crushing* (esmagamento), *wedge split* (fenda em cunha) e *shearing* (cisalhamento), considerados normais e os três últimos: *splitting* (fendilhamento), *compression and shearing parallel to grain* (fendilhamento e cisalhamento) e *brooming or end-rolling* (fibrilação ou rolamento terminal), considerados como rupturas frágeis devido a defeitos internos, como distorção da grã, por exemplo ou a falta de paralelismo das faces do corpo de prova e, por esse motivo, essas últimas rupturas levaram ao descarte dos seus resultados.



Figura 12: Tipos de ruptura de corpos de prova do ensaio de compressão paralela às fibras de acordo com a norma americana ASTM D143-94 (ASTM, 2007)

A caracterização dos corpos de prova do ensaio de tração paralela às fibras foi baseada no trabalho de Bodig; Jayne (1993) que sugere quatro tipos característicos de ruptura (Figura 13), sendo: *splintering tension* (tração com lascamento); *combined tension and shear* (tração e cisalhamento); *shear* (cisalhamento); *brittle tension* (tração sem lascamento).

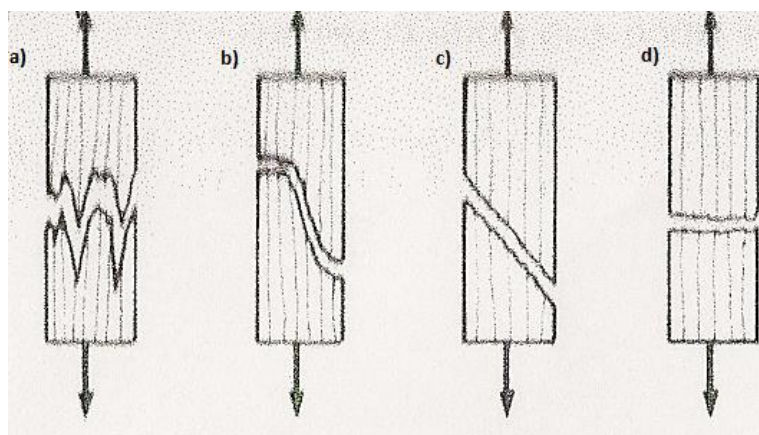


Figura 13. Tipos de ruptura de corpos de prova do ensaio de tração paralela às fibras; a) *splintering tension* ; b) *combined tension and shear*; c) *shear* e d) *brittle tension*; de acordo com Bodig e Jayne (1993)

A resistência à compressão normal às fibras foi determinada na deformação específica residual de 2‰ no diagrama tensão - deformação específica. Já o módulo de elasticidade foi obtido pela inclinação da reta secante à curva tensão - deformação, definida pelos pontos a 10% e 50% da resistência convencional à compressão normal às fibras, correspondendo respectivamente aos pontos 120 kgf e 600 kgf.

4.6 Qualidade da madeira

Para inferir a qualidade do lenho foram analisados:

- O estudo de características anatômicas (cerne e alborno, madeira juvenil e adulta e lenho de reação);
- Variações radiais de algumas propriedades físicas (retratibilidades e densidade – por densitometria de raios X);
- Variações radiais de propriedades mecânicas (compressão paralela às fibras, flexão estática e dureza Janka).

4.6.1 Variação radial das propriedades físicas da madeira

4.6.1.1 Retratibilidade

A retratibilidade da madeira de guapuruvu foi avaliada nas posições radiais detalhadas na Figura 5-c seguindo-se o prescrito na NBR 7190 (ABNT, 1997). Os corpos de prova foram produzidos com dimensões nominais de 2cm na direção tangencial, 3 cm na direção radial e 5 cm na direção longitudinal. Com uso de micrômetro (sensibilidade de 0,001 mm) foram feitas medições nas faces dos corpos de prova para avaliação das dimensões iniciais nas três direções e três repetições de medição por direção (Figura 14).

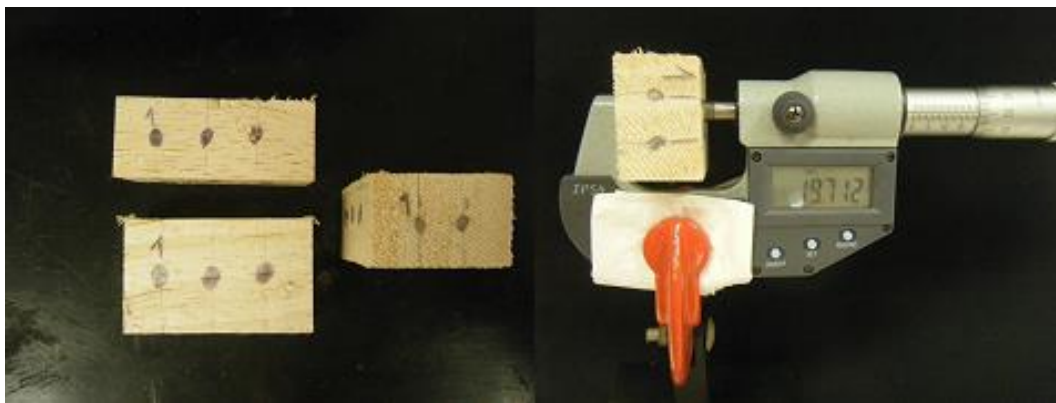


Figura 14. Medição dos corpos de prova nos ensaios de retratibilidade

Após secagem em estufa seguindo programa específico para amenizar os possíveis efeitos danosos do processo, foram feitas novas determinações das dimensões nas três direções, nessa nova condição de umidade. Com uso das equações de retração da madeira apresentadas na norma NBR 7190 (ABNT, 1997) foram obtidos os valores de retratibilidade dos corpos de prova nas direções longitudinal, radial e tangencial.

Foram também avaliados o índice de anisotropia da madeira de guapuruvu, desempenho e variação volumétrica da madeira, com uso das Equações 1, 2 e 3, respectivamente. Estes índices fornecem parâmetros importantes que auxiliam na destinação final da madeira, avaliando, por exemplo, seu potencial de fendilhamento.

$$I. A. = \left(\frac{\varepsilon_{r,3}}{\varepsilon_{r,2}} \right) \quad (1)$$

$$Des = \left(\frac{\varepsilon_{r,2}}{\varepsilon_{r,3} \cdot \Delta V} \right) \quad (2)$$

Onde:

I.A. = índice de anisotropia;

$\varepsilon_{r,2}$ = retração radial (%);

$\varepsilon_{r,3}$ = retração tangencial (%).

Des = desempenho;

$$\Delta V = \left(\frac{V_{sat} - V_{seco}}{V_{seco}} \right) \quad (3)$$

Onde:

ΔV = variação volumétrica (%);

V_{sat} = volume saturado (cm³);

V_{seca} = volume seco (cm³).

4.6.1.2 Densidade aparente por densitometria de raios X

Os perfis densitométricos obtidos a partir da densitometria de raios X (densidade aparente) foram analisados seguindo-se metodologia proposta por Amaral e Tomazello Filho (1998). Compreendem, basicamente, a avaliação estatística (medidas de tendência central e dispersões) do perfil densitométrico em cada uma das frações do lenho estudadas (cerne e alburno).

Os ensaios de densitometria de raios X foram realizados no Laboratório de Anatomia, Identificação e densitometria de Raios X em Madeira da ESALQ/USP em Piracicaba.

Dos discos A (Figura 3) foram retiradas faixas diametrais com a mesma orientação daquela onde foram obtidos os corpos de prova para avaliação de qualidade da madeira, visando posterior associação dos resultados obtidos.

A partir das faixas diametrais foram retiradas amostras finas (2 mm de espessura – direção longitudinal do fuste da árvore) com uso de dupla serra circular (Figuras 15-a, b, c). As amostras, com 2 mm de espessura (direção longitudinal do fuste da árvore), 10 mm de largura (direção tangencial) e comprimento (direção radial) igual ao diâmetro do disco original foram acondicionados em câmara de climatização (temperatura de 20°C e umidade relativa de 60%) para obtenção de umidade de equilíbrio da madeira de 12% (Figura 15-d). Por fim, as amostras foram encaixadas em suporte metálico (Figura 15-e) e inseridas no equipamento QTRS-01X, da *Quintek Measurements System* (Figura 15-f) para determinação dos perfis diametrais de densidade aparente (Figura 15-g, h).

Os valores de densidade aparente foram determinados a intervalos de 0,08 mm, pela relação entre a atenuação sofrida pelos raios X que incidem no material, medidas para cada ponto do perfil diametral, e sua densidade que é expressa pela Equação 4:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu_l t} \quad (4)$$

Onde:

I = Intensidade do feixe de radiação após atravessar a amostra

I_0 = Intensidade do feixe de radiação antes de atravessar a amostra

t = espessura da amostra

e = base logarítmica natural

μ_l = coeficiente de atenuação linear da amostra (cm^{-1}) – Equação 4

E:

$$\mu_l = \mu_m \cdot \rho \quad (5)$$

Onde:

μ_m = coeficiente de atenuação de massa da amostra (cm^2/g)

ρ = densidade (g/cm^3)

Sendo conhecido o coeficiente de atenuação de massa (μ_m), é possível calcular a densidade do material para cada ponto da amostra. Esse coeficiente varia em função da energia de radiação incidente e da composição do material. Essa relação é muito importante no caso da madeira, por se tratar de um material com composição química muito diversificada. É importante ainda conhecer a umidade da amostra no momento do ensaio, pois esta é considerada fundamental na acurácia dos resultados (QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS – QMS, 1999).



Figura 15. Etapas do preparo das amostras e realização dos ensaios de raios X: (a) colagem da amostra em suporte de madeira; (b) dupla serra circular utilizada para a retirada de amostras com espessura constante; (c) retirada do filete de 2 mm de espessura; (d) amostras prontas em estágio de climatização; (e) amostra na base do equipamento; (f) equipamento de densitometria de raios X; (g) tela do software utilizado no ensaio de densitometria de raios X; (h) perfil diametral de densidade aparente

Após a obtenção dos resultados de cada amostra de guapuruvu, os dados foram tratados no programa Excel, para elaboração do gráfico de variação diametral da densidade aparente (Figura 15-h).

Cada amostra foi ainda escaneada (Scanner EPSON V750 PRO) e submetida a fotografias em equipamento de raios X digital (Faxitron X-Ray LX 60) para possibilitar visualização de maiores detalhes dos perfis (Figura 16). O tempo de exposição no aparelho de raios X digital foi de nove segundos, 30 kV, a 83 cm da fonte em escala de cinza (cor branca corresponde à maior densidade).

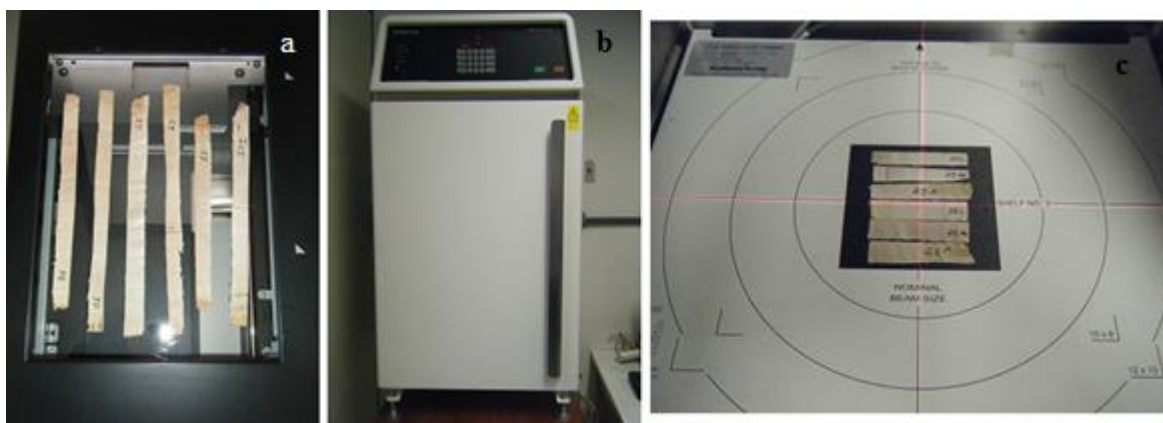


Figura 16. Imagens obtidas da madeira de guapuruvu– (a) – Scanner EPSON; (b, c) – Raios X digital Faxitron X-ray, modelo LX 60

A densidade aparente ponderada para cada região do lenho (cerne, transição e albarno e madeira juvenil e adulta) foi determinada a partir da densidade pontual obtida pelo método de densitometria de raios X e calculada com uso da metodologia de Rezende (1997), adaptada para este trabalho. Neste cálculo, a amostra de madeira foi considerada como sendo formada por várias camadas cilíndricas, delgadas e concêntricas de mesma espessura (0,08 cm) e justapostas uma dentro da outra. O cálculo da densidade para cada região foi realizado pela ponderação das densidades pontuais em cada anel concêntrico, sendo o volume do anel, o fator de ponderação, ou seja, aquele anel com maior volume, terá maior representatividade no valor final da densidade ponderada.

4.6.2 Variação radial de propriedades mecânicas

Os corpos de prova tiveram dimensões proporcionalmente menores para que um maior número deles pudesse ser amostrado por raio da árvore, representando melhor a variação radial de cada propriedade.

Os ensaios de compressão paralela foram realizados nos corpos de prova com as dimensões nominais de 2 cm x 2 cm x 6 cm e ensaiados com célula de carga de 100 kN. O script de ensaio objetivou apenas a captura de dados de força de ruptura para cálculo da resistência, sem obtenção do módulo de elasticidade (E_{c0}).

Os ensaios de flexão estática (Figura 17) foram realizados em corpos de prova com dimensões nominais de 2 cm x 2 cm x 46 cm sendo avaliados o módulo de elasticidade (E_M) e a resistência à flexão (f_M). O ensaio foi realizado com célula de carga de 20 kN. Foi feito um único ciclo de carregamento prévio (pré-carga).

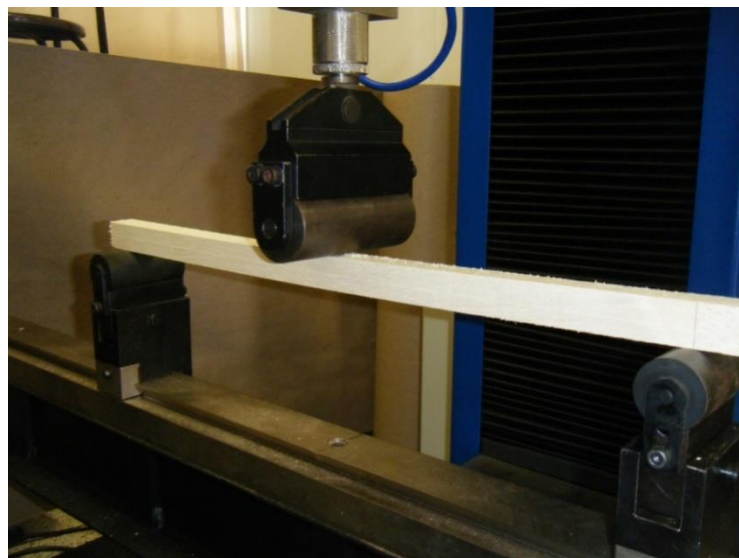


Figura 17. Ensaio de flexão estática

Os corpos de prova de flexão estática foram caracterizados de acordo com o tipo de ruptura sofrida, segundo padrão proposto pela norma americana ASTM D143-94 (ASTM, 2007) (Figura 18).

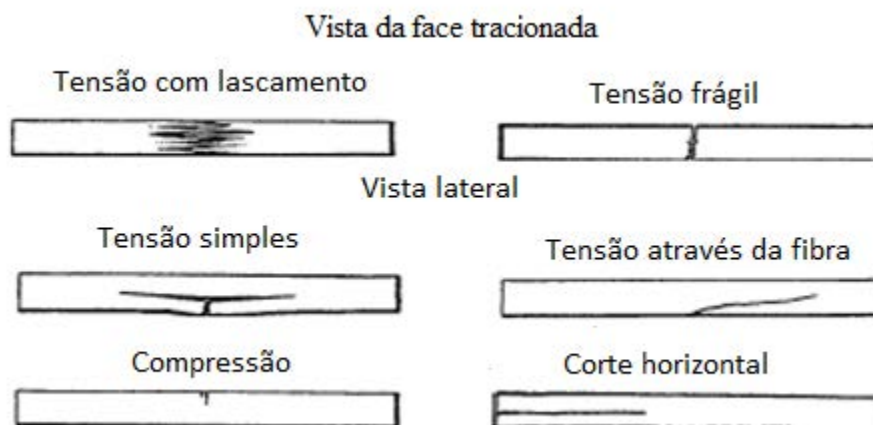


Figura 18. Tipos de ruptura no ensaio de flexão estática de acordo com ASTM D143-94 (ASTM, 2007)

Os ensaios de dureza Janka paralela às fibras foram realizados no disco C (Figura 3) a intervalos regulares de 3,9 cm a partir da medula (3,5 cm dos corpos de prova e 4 mm do desgaste das serras), conforme ilustrado na Figura 19-a.

A dureza foi avaliada pela força necessária à penetração superficial de esfera na seção diametral (1 cm^2), na profundidade igual a seu raio (Figura 19-b).

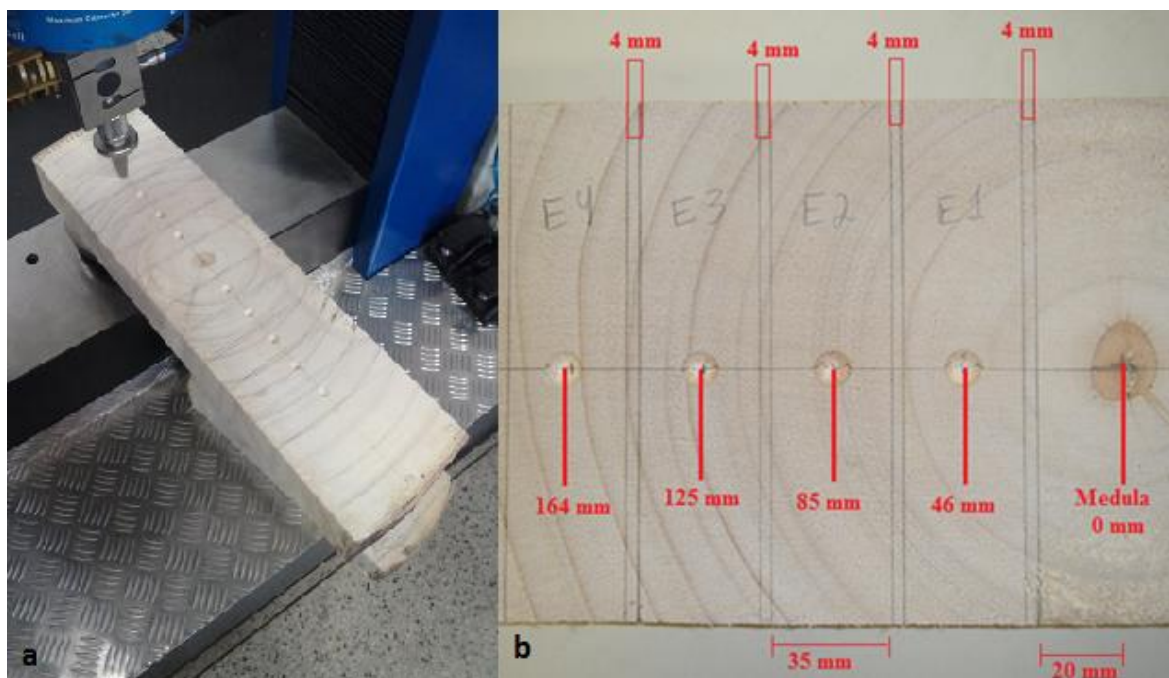


Figura 19. a) Ensaio Dureza Janka; b) Porção do disco C onde foram realizados os ensaios de dureza Janka mostrando que as medições foram realizadas nas mesmas direções de onde foram retirados os caibros para confecção dos corpos de prova (3,5 cm) para os ensaios mecânicos e de retratibilidade (E1, E2, E3, E4) e as demarcações de perda de madeira pelo desgaste da serra (4 mm)

4.7 Análise estatística

As propriedades físicas da madeira foram reportadas com avaliações de tendência central (média) e dispersão (coeficiente de variação).

As propriedades mecânicas também foram reportadas através da tendência central (média) e dispersão (coeficiente de variação), além dos respectivos valores característicos.

Para reportar a qualidade da madeira foram usados, além da média e do coeficiente de variação, testes para comparação estatística dos resultados obtidos nos raios direito e esquerdo das árvores.

Os coeficientes de variação foram classificados de baixos a muito altos segundo o método proposto por Garcia (1989). O autor propõe uma classificação específica para experimentos florestais, diferente do método usual que fixa faixas de valores para determinação das classes. No novo método, Garcia considera a variável estudada e o tipo de experimentação aplicado utilizando o coeficiente de variação encontrado, mais o desvio padrão obtidos daqueles resultados.

A comparação dos resultados obtidos nos ensaios físicos (retratibilidade e densidade aparente) e mecânicos (compressão paralela às fibras, flexão estática e dureza Janka) foi feita com uso do teste T-pareado, específico para dados dependentes entre si. Foi utilizado o software estatístico Origin PRO 8 e adotado o nível de significância de 5%. Os dados foram ajustados para a análise de regressão em função da posição radial.

Para comparação da densidade da madeira entre as regiões de cerne, transição e alburno e madeira juvenil, transição e adulta, (dados do ensaio de densitometria de raios X) foi realizada a análise de variância complementada com o teste Tukey.

No ensaio de densitometria de raios X, para comparação da densidade da madeira entre as regiões de cerne, transição e alburno, foi realizada a análise de variância complementada com o teste Tukey.

Para delimitação da madeira juvenil e adulta foram feitas análises de regressão linear segmentada, já aplicadas por Abdel-Gadir e Krahmer (1993), Tasissa *et al.* (1998) e Leonello (2011). Esse método permite avaliar os intervalos onde a madeira é considerada como de madeira juvenil (região a partir da medula com incremento no comprimento das fibras) e de madeira adulta (região com tendência à estabilização do comprimento das fibras). Para esta análise foi utilizado software SAS 9.3. Os gráficos foram feitos no programa Origin PRO 8.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características gerais da madeira - Cerne e alburno

Segundo o padrão proposto por Zenid e Ceccantini (2007), foi determinado que o guapuruvu possui cor amarelada no cerne, cor entre amarelada e esbranquiçada na faixa de transição e esbranquiçada no alburno e esse aspecto (cor) foi suficiente para diferenciação dessas regiões do lenho.

Na maioria dos casos, o cerne do guapuruvu possui nove anéis de crescimento, seguido por dois anéis de transição e três a quatro anéis de alburno, próximo à casca. A Tabela 10 mostra a distância radial (a partir da medula) até o final de cada anel de crescimento, a distância radial até cerne (CE), lenho de transição (TR) e alburno (AL) e a Tabela 11 mostra a porcentagem de cada tipo de lenho nas árvores.

Tabela 10: Distâncias radiais da medula até o final de cada anel de crescimento e regiões do lenho oposto (esquerdo) das seis árvores de *Schizolobium parahyba* estudadas

Anel / Árvore	Distância radial (mm) da medula ao fim de cada anel de crescimento														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	31	49	59	71,5	89	108,5	128,5	139	150,5	152	156,5	165	167	171	181
2	31,5	56	68	76,5	93,5	104	123	142,5	156	172	187	199	211	228	243
3	17,5	43	56	66	81	92,5	113	132	147	156	167	177,5	194	201	216
4	20	42	57	67,5	71,5	79,5	87	94	109	125	138	149	162,5	171,5	187
5	37	62	75,5	82	86,5	104	124	142	156	173,5	189	200	224	237,5	256,5
6	26	47	59	70,5	77	86,5	99	102	120	129	141	149	160	171	189
Notas:	Cerne					Lenho de transição					Alburno				

Tabela 11: Distância radial da medula ao final cerne, largura da faixa de transição e de alburno, distância da medula à casca (cm) e porcentagem de cerne nos raios esquerdos (lenho oposto) das árvores de *Schizolobium parahyba*

Árvore	Cerne	Transição	Alburno	Todo o lenho	% do raio com cerne
	cm				%
1	15,05	1,45	1,60	18,10	83,15
2	15,60	3,10	5,60	24,30	64,20
3	15,60	2,15	3,85	21,60	72,22
4	10,90	2,90	4,90	18,70	58,29
5	15,60	3,30	6,75	25,65	60,82
6	12,00	2,10	4,80	18,90	63,49
Média	14,13	2,50	4,58	21,21	67,03

5.2 Características anatômicas da madeira

5.2.1 Madeira juvenil e adulta

Os comprimentos médios das fibras da madeira mensurados em cada anel de crescimento, estão apresentados na Tabela 12. Observa-se, numa primeira análise, que a árvore 1 apresentou um comportamento anormal, com estabilização dos comprimentos das fibras já nos primeiros anéis de crescimento e foi excluída das análises. As demais árvores apresentaram comportamento semelhante entre si, com estabilização dos comprimentos em idades mais avançadas.

Tabela 12: Comprimento das fibras (μm) nas regiões de madeira juvenil e adulta, no lenho oposto das seis árvores de *Schizolobium parahyba*

Árvores	Anéis de crescimento														
	Madeira juvenil						Transição		Madeira adulta						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	961,5	1079,1	1308,1	1344,3	1328,9	1359,1	1323,7	1522,4	1564,2	1516,1	1608,9	1475,3	1675,1	1609,1	1452,1
3	1032,4	1165,8	1248,3	1264,2	1408,0	1381,8	1317,0	1451,3	1350,8	1593,4	1470,0	1597,4	1617,8	1666,1	1601,5
4	833,6	941,6	1092,7	1158,3	1153,6	1258,4	1257,9	1236,4	1338,6	1262,1	1313,4	1362,6	1423,7	1425,7	1233,5
5	911,8	1033,5	1101,5	1277,7	1259,7	1342,4	1420,1	1348,9	1335,5	1354,1	1386,5	1421,6	1463,1	1431,8	1377,9
6	1040,0	1077,8	1278,5	1376,4	1415,0	1466,1	1477,1	1585,8	1511,4	1591,4	1658,0	1610,5	1696,8	1667,5	1553,5
Média	955,9	1059,6	1205,8	1284,2	1313,0	1361,6	1359,2	1429,0	1420,1	1463,4	1487,4	1493,5	1575,3	1560,0	1443,7
Desv Pad.	86,4	81,5	101,5	84,3	109,5	74,8	87,9	139,0	109,2	148,8	145,5	108,6	124,6	122,2	146,3
C. V.	9%	8%	8%	7%	8%	5%	6%	10%	8%	10%	10%	7%	8%	8%	10%
Inc. (%)	-	10,8%	13,8%	6,5%	2,2%	3,7%	-0,2%	5,1%	-0,6%	3,1%	1,6%	0,4%	5,5%	-1,0%	-7,5%
Média	1196,7						1394,1		1492,0						
Desv Pad.	168,4						115,7		130,0						
C. V. (%)	14%						8%		9%						

Desv. Pad – Desvio padrão; C. V. – coeficiente de variação (%); Inc. - Incremento ou decréscimo no comprimento das fibras em relação ao anel anterior (%).

A partir das regressões segmentadas (Figura 20), pôde-se constatar o ponto de mudança na variação radial dos comprimentos de fibras, que caracteriza os limites dessas regiões do lenho.

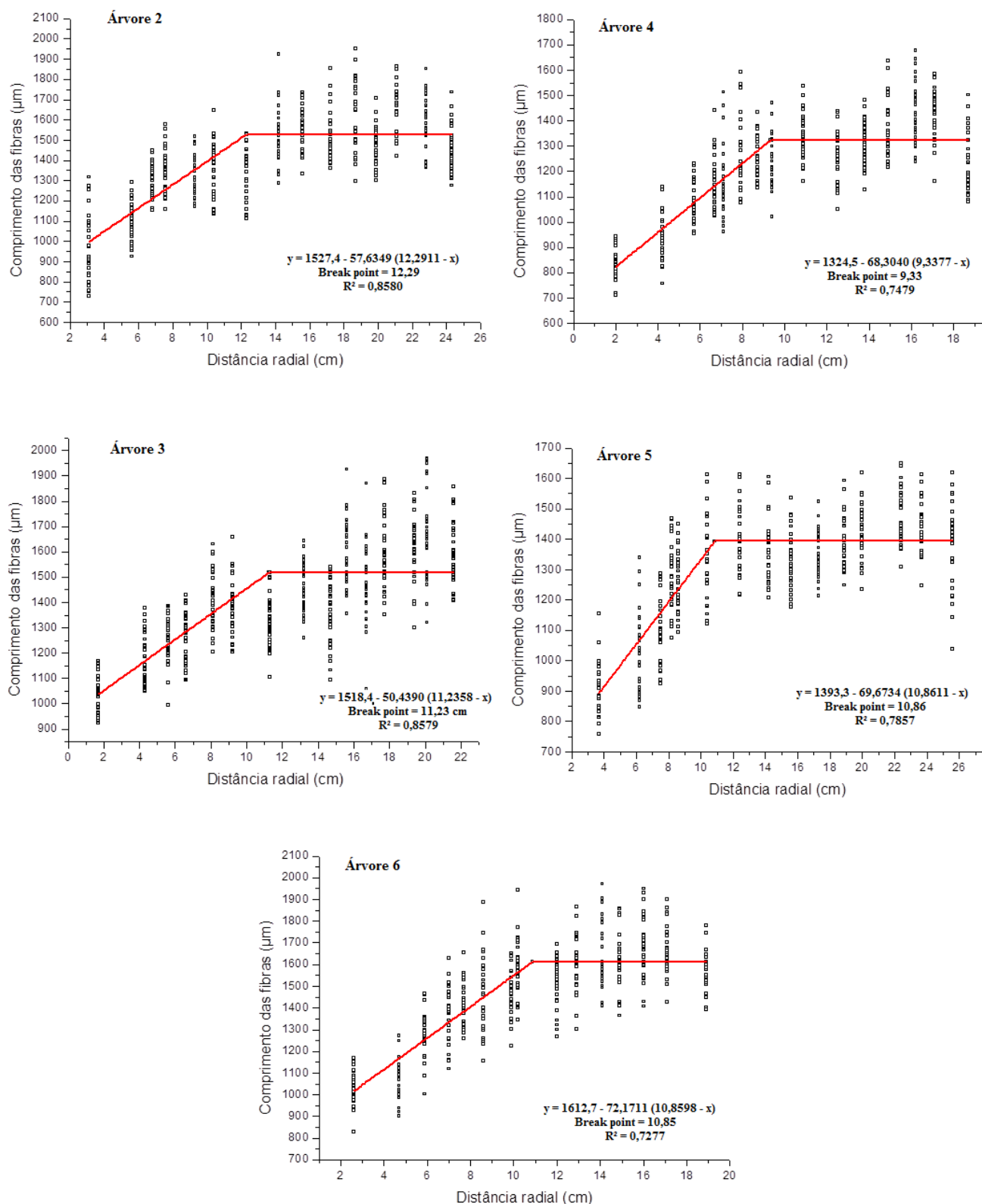


Figura 20. Regressões segmentadas obtidas para a variação do comprimento das fibras no raio esquerdo (lenho oposto) das árvores 2 a 6 de *Schizolobium parahyba*

Tabela 13: Distância radial da medula ao final da madeira juvenil, largura da faixa da madeira adulta, distância da medula à casca (cm) e porcentagem de madeira juvenil nos raios esquerdos (lenho oposto) das árvores de *Schizolobium parahyba*

Árvore	Madeira adulta	Madeira juvenil	Todo o lenho	% do raio com madeira juvenil
		cm		%
2	13,8	12,29	24,30	50,57
3	12,35	11,23	21,60	52,02
4	9,90	9,33	18,70	49,93
5	15,15	10,86	25,65	42,34
6	8,60	10,85	18,90	57,46
Média	11,98	10,91	21,83	49,99

Resumidamente, associando os resultados das Tabelas 10 (distâncias radiais dos anéis de crescimento) e 13 (distâncias radiais das madeiras juvenil e adulta), pode-se afirmar que três árvores tiveram o final da madeira juvenil localizado na região do anel de crescimento seis, uma árvore teve no anel sete e uma árvore no anel 8. Considerando-se que a transição de madeira juvenil para madeira adulta ocorre gradualmente e não abruptamente, foi considerada, para fins de análise que a região de madeira juvenil fica limitada da medula ao anel seis, com faixa de transição entre os anéis sete e oito e madeira adulta dos anéis nove a 15. Essas regiões estão demarcadas na Tabela 12.

Os comprimentos das fibras variaram de 711,42 μm a 1.888,19 μm para madeira juvenil (com média de 1196,67 μm) e de 1.038,72 a 2.329,99 μm para madeira adulta (com média de 1492,0 μm). Nisgoski *et al.* (2012) comentaram que o comprimento das fibras do guapuruvu aumentou de 838,10 μm na região próxima à medula a 1201,36 μm perto da casca com valor médio de 1068,10 μm na região central do raio, valores esses inferiores aos obtidos neste trabalho.

As fibras apresentaram crescimento médio da ordem de 42% na região de madeira juvenil (anéis 1 a 6) e um incremento de apenas 10% na região de madeira adulta (entre os anéis 9 e 14, desconsiderando-se o comportamento anormal do anel 15). O maior incremento encontrado foi entre os anéis 2 e 3 (13,8%).

A queda no comprimento das fibras entre os anéis 14 e 15, observada em todas as seis árvores do estudo, pode ser explicada pelo crescimento intrusivo das células mais jovens, que estão em formação no último anel de crescimento da árvore, próximo ao câmbio. Após a diferenciação das células iniciais fusiformes em fibras de mesmo tamanho, pode ainda haver um alongamento de suas duas extremidades, através da lamela mediana, fazendo com que as fibras resultantes tenham um comprimento maior após o período de

formação. Essas extremidades invadem os espaços entre outras células, que se separam, podendo ocorrer uma bifurcação (Figura 21) (APPEZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006; EVERT, 2006). O crescimento intrusivo pode ser muito intenso em traqueídes, por exemplo, onde já foram observados comprimentos de 15 a 40 vezes maiores que suas células meristemáticas associadas (CHEADLE, 1937). Um gene específico de expansão foi localizado nas extremidades das células do xilema de *Zamia* em diferenciação, indicando que expansinas podem estar envolvidas no alongamento através de crescimento intrusivo (IM *et al.*, 2000).



Figura 21. Fibra bifurcada formando duas extremidade, devido ao crescimento intrusivo (anel de crescimento 12 – árvore 3) de *Schizolobium parahyba*

5.2.2 Presença de madeira de tração

A suposição da existência de lenho de tração foi aventada por dois aspectos: o plantio das árvores se deu em terreno inclinado (SOUZA, 2004) e o desbalanceamento dos raios de algumas árvores (Tabela 8). O lenho de tração foi, por fim, evidenciado com a presença de fibras gelatinosas nos dois lenhos das árvores (lenho de tração e lenho oposto) (Figura 22).

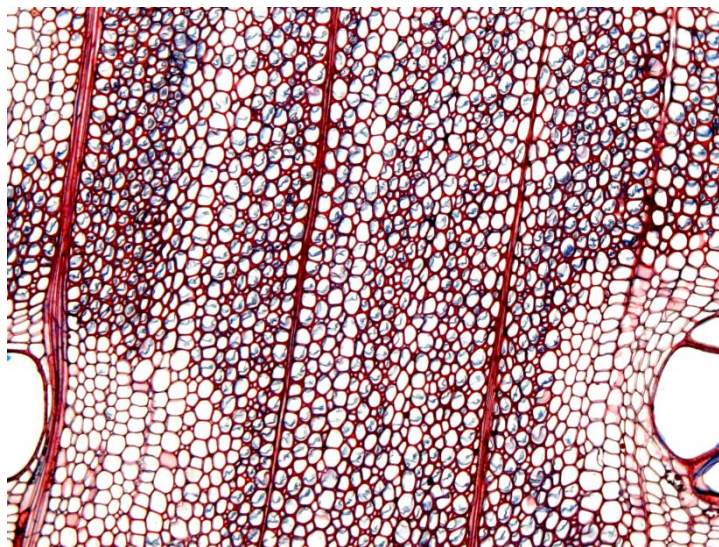


Figura 22. Madeira de tração identificada pela presença de fibras com camadas gelatinosas coloridas em azul de astra no lenho de *Schizolobium parahyba*

5.3 Propriedades físicas da madeira

5.3.1 Densidade básica e densidade aparente

A densidade básica de guapuruvu variou de 256 kg/m³ a 321 kg/m³, com média de 290 kg/m³ e coeficiente de variação de 9,96% (Tabela 14). Os valores de densidade básica média observados neste estudo revelaram-se superiores aos reportados por Andrade e Carvalho (1998), com densidade básica média de 240 kg/m³ e aos reportados por Trianoski (2010) de 255 kg/m³. Entretanto, o valor obtido ficou abaixo do reportado por Reitz *et al.* (1979) que obtiveram densidade básica média da madeira de *Schizolobium parahyba* de 400 kg/m³.

Tabela 14: Densidade básica e aparente da madeira (discos) de *Schizolobium parahyba*

Árvore	$\rho_{bas}^{(1)}$ (kg/m ³)	$\rho_{ap}^{(2)}$ (kg/m ³)
1	314	388
2	321	328
3	311	352
4	259	308
5	277	291
6	256	349
MÉDIA	290	336
Desv. Pad.	28,85	34,74
Coef. Var. (%)	9,96	10,34

Notas:

(1) ρ_{bas} – densidade básica; (2) ρ_{ap} – densidade aparente, Desv. Pad. – Desvio padrão; Coef. Var. – Coeficiente de variação.

A densidade aparente no guapuruvu variaram de 291 kg/m³ a 388 kg/m³, apresentando média de 336 kg/m³ e coeficiente de variação de 10,34% (Tabela 14). Este valor é superior ao encontrado por Mainieri e Chimelo (1993) para densidade aparente a 15% de umidade, que foi de 320 kg/m³, e próximo aos valores descritos por Paula (1980) - entre 320 e 400 kg/m³ a 12% de umidade – e por Trianoski (2010) de 329 kg/m³. O coeficiente de variação obtido para a densidade aparente nas cunhas (10,34%) é considerado médio segundo a classificação sugerida por Garcia (1989), evidenciando um aspecto importante e condicionante da qualidade da madeira. De fato, é desejável que a madeira tenha densidade o mais homogênea possível, o que facilita o seu beneficiamento e proporcionando maior rendimento e qualidade superior do produto final (VALE *et al.*, 1995).

Na Figura 23 são apresentados valores médios das densidades aparentes de algumas espécies de folhosas brasileiras utilizadas na construção civil leve (esquadrias, interna estrutural e interna de utilidade geral), por se entender ser esse nicho, definido por IPT (2009), potencial para o guapuruvu. Adicionalmente, foram acrescentadas na comparação as espécies *E. grandis* e *Goupia glabra* (peroba do norte), considerando-se sua grande disponibilidade comercial. Os dados referenciais dessas espécies foram obtidos no anexo E da NBR 7190 (ABNT, 1997). Pela comparação observa-se que o guapuruvu é a espécie que possui a menor densidade aparente.

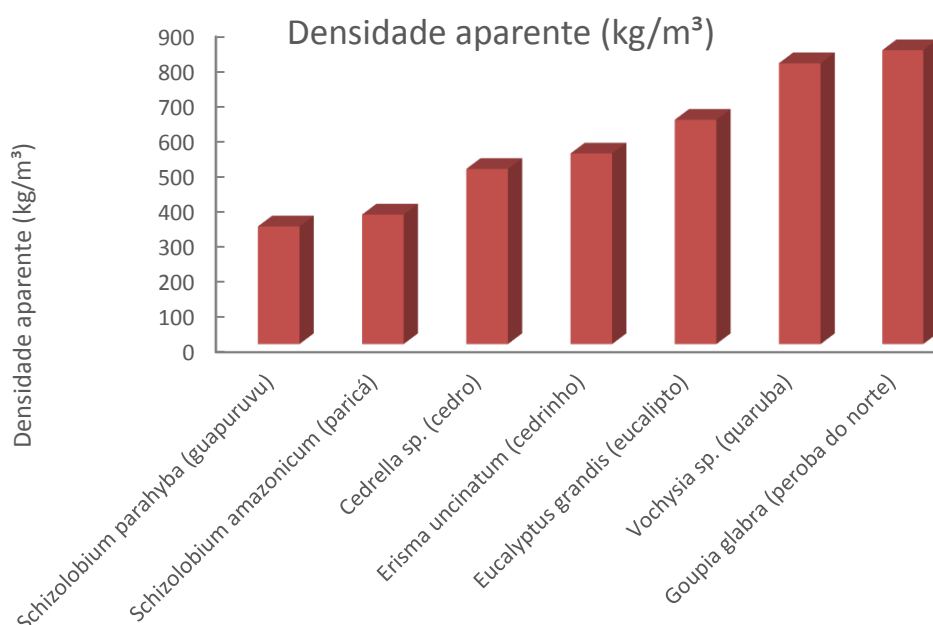


Figura 23: Densidades aparentes (ρ_{12}) de várias madeiras de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e Almeida *et al.* (2013) modificado pelo autor. 2014

Os resultados indicam que a madeira do guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) possui baixas resistência e rigidez mecânicas, tendo potencial de uso em caixotarias ou em produtos industrializados, que possam trabalhar com sua limitação mecânica, pois o valor característico da resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k} = 21,47$ MPa), a posiciona na classe de resistência C20, a menor entre as classes de resistência definidas pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para as eudicotiledôneas.

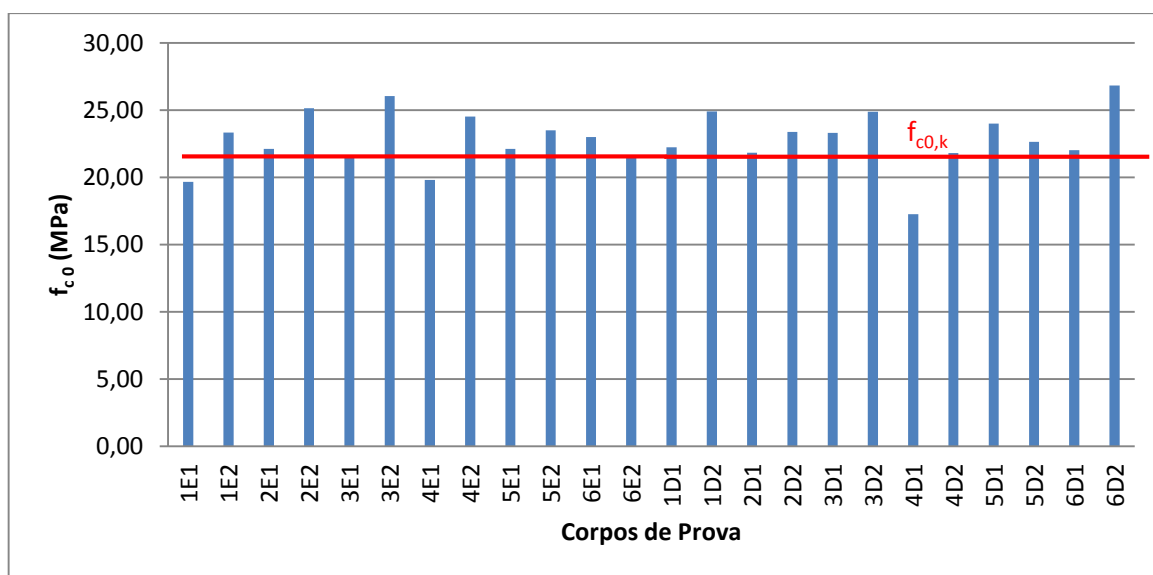


Figura 24. Valores da resistência à compressão paralela às fibras do *Schizolobium parahyba*

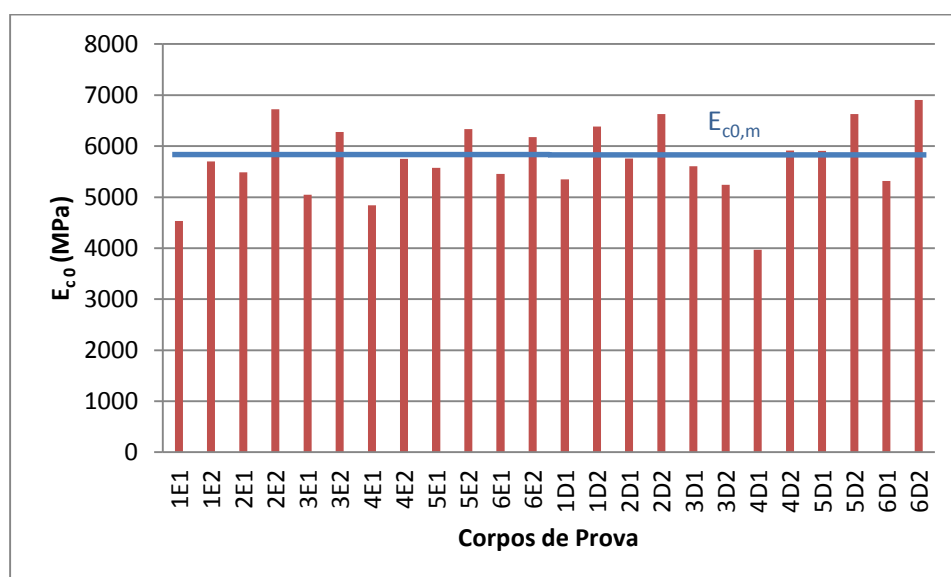


Figura 25. Valores da rigidez à compressão paralela às fibras do *Schizolobium parahyba*

A Figura 26 apresenta uma comparação da resistência à compressão paralela às fibras do guapuruvu com outras espécies utilizadas na construção civil já descritas, ordenadas, da esquerda para a direita, por densidade aparente crescente.

Na Tabela 16 são apresentadas as caracterizações do tipo de ruptura para cada corpo de prova ensaiado realizadas de acordo com a ASTM D143 (ASTM, 2009). Os tipos de ruptura encontrados não levaram à rejeição de nenhum resultado obtido. O esmagamento (*crushing*) representou aproximadamente 96% do lote – somente 1 corpo de prova não rompeu por esmagamento - indicando a homogeneidade e o padrão normal de ruptura dos corpos de prova no ensaio.

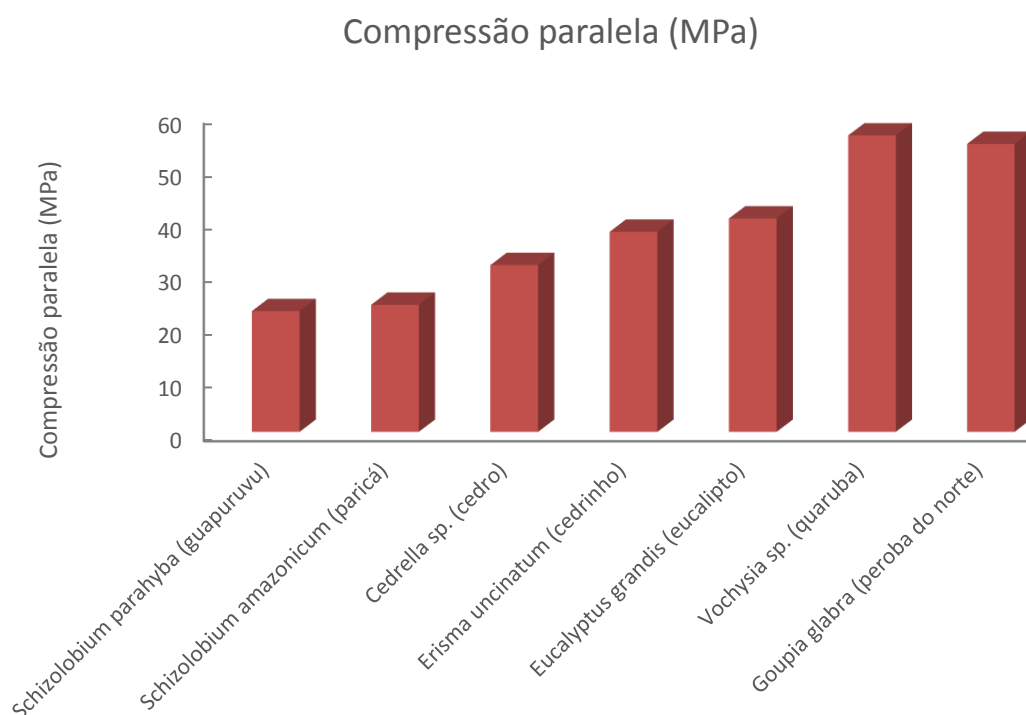


Figura 26: Médias da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) de várias madeiras de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e Almeida *et al.* (2013) modificado pelo autor. 2014

Tabela 16: Caracterização do tipo de ruptura no ensaio de compressão paralela às fibras a 12% de umidade

Raio	Árvore	C.P.	Caracterização	Raio	Árvore	C.P.	Caracterização
1 - ESQUERDO	1	1E1	Esmagamento	2 - DIREITO	1	1D1	Esmagamento
		1E2	Esmagamento			1D2	Esmagamento
	2	2E1	Esmagamento		2	2D1	Esmagamento
		2E2	Esmagamento			2D2	Esmagamento
	3	3E1	Esmagamento		3	3D1	Esmagamento
		3E2	Esmagamento			3D2	Esmagamento
	4	4E1	Esmagamento		4	4D1	Esmagamento
		4E2	Esmagamento			4D2	Esmagamento
	5	5E1	Esmagamento		5	5D1	Esmagamento
		5E2	Esmagamento			5D2	Esmagamento
	6	6E1	Fendilhamento/Cisalhamento		6	6D1	Esmagamento
		6E2	Esmagamento			6D2	Esmagamento

Notas: E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio)

5.4.2 Resistência à compressão normal às fibras (f_{c90})

Os valores da resistência à compressão normal às fibras do guapuruvu variaram de 2,12 MPa a 3,10 e o valor médio foi 2,46 MPa, apresentando coeficiente de variação 13,36% na condição a 12% de umidade (Tabela 17). No apêndice I(b) estão apresentados alguns relatórios de ensaio da resistência à compressão normal às fibras.

O valor característico da resistência à compressão normal às fibras do guapuruvu foi de 2,36 MPa. O resultado obtido para a relação de resistência característica $f_{c90,k}/f_{c0,k}$ foi igual a 0,11, diferente do valor referencial adotado pela atual NBR 7190 (ABNT, 1997), de 0,25. Entretanto, uma compilação de resultados encontrados na literatura consultada (Tabela 18) mostra relações entre as resistências à compressão normal e paralela às fibras de 0,15 em média, valor muito próximo à relação encontrada neste trabalho (0,11) para o guapuruvu, o que revela a consistência do resultado obtido nesse ensaio.

O módulo de elasticidade à compressão normal variou de 257 MPa a 901 MPa com média de 497 MPa e coeficiente de variação igual a 34,55% (Tabela 17), considerado elevado e atribuído à dificuldade particular na realização das medições de deformações específica nesse ensaio.

Tabela 17: Resistência (f_{c90}) e rigidez (E_{c90}) à compressão normal às fibras da madeira de *Schizolobium parahyba* a 12 % de umidade

Semiestatística para 95 a 12 % de confiança									
Raio	Árvore	C.P.	$f_{c90}^{(1)}$ (MPa)	$E_{c90}^{(2)}$ (MPa)	Raio	Árvore	C.P.	$f_{c90}^{(1)}$ (MPa)	$E_{c90}^{(2)}$ (MPa)
1 - ESQUERDO	1	1E	3,10	901	2 - DIREITO	1	1D	3,07	457
	2	2E	2,66	355		2	2D	2,50	700
	3	3E	2,34	428		3	3D	2,28	257
	4	4E	2,26	606		4	4D	2,33	439
	5	5E	2,12	457		5	5D	2,30	461
	6	6E	2,38	532		6	6D	2,13	371
MÉDIA					2,46				
Desvio Padrão					$f_{c90}^{(1)}$ 0,33				
Coeficiente de Variação (%)					$E_{c90}^{(2)}$ 172				
Valor Característico					(MPa) 34,55				
					2,36				
					-				

A resistência à tração paralela às fibras média do guapuruvu na condição de umidade de 12% foi 36,50 MPa, variando de 18,59 MPa a 50,45 MPa com coeficiente de variação de 22,88%. O valor característico da resistência à tração paralela às fibras do guapuruvu foi de 23,12 MPa (Tabela 19).

Tabela 19: Resistência à tração paralela às fibras da madeira de *Schizolobium parahyba* a 12 % de umidade

12 % de umidade										
Raio	Árvore	C.P.	f _{t0} ⁽¹⁾ (MPa)	E _{t0} ⁽²⁾ (MPa)	Raio	Árvore	C.P.	f _{t0} ⁽¹⁾ (MPa)	E _{t0} ⁽²⁾ (MPa)	
1 - ESQUERDO	1	1E1	31,16	5421	2 - DIREITO	1	1D1	31,91	5664	
		1E2	50,45	7467			1D2	45,38	7569	
	2	2E1	37,01	6060		2	2D1	43,12	7514	
		2E2	29,70	4800			2D2	41,59	5946	
	3	3E1	47,70	7574		3	3D1	44,19	6559	
		3E2	36,61	6536			3D2	37,77	6463	
	4	4E1	*	*		4	4D1	28,39	4524	
		4E2	32,37	5709			4D2	*	*	
	5	5E1	*	*		5	5D1	27,11	6402	
		5E2	45,78	6783			5D2	40,98	6094	
	6	6E1	27,04	5627		6	6D1	18,59	4184	
		6E2	*	*			6D2	33,07	6539	
MÉDIA							36,5			6172
Desvio Padrão							f _{t0} ⁽¹⁾ 8,35			E _{t0} ⁽²⁾ 981
Coeficiente de Variação (%)							22,88			15,89
Valor Característico							23,12			-
Notas: ⁽¹⁾ f _{t0} - resistência à tração paralela às fibras; ⁽²⁾ E _{t0} - módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio).										

O módulo de elasticidade à tração paralela foi de 6172 MPa, valor mínimo de 4.184 MPa e máximo de 7.574 MPa, com coeficiente de variação igual a 15,89% (Tabela 19).

A Figura 27 apresenta a comparação do valor médio de resistência à tração do guapuruvu com os de outras espécies comerciais.

O guapuruvu teve menor resistência à tração paralela do que as outras espécies apresentadas na figura, porém com resultado próximo à resistência do paricá, madeira semelhante, também de baixa densidade.

Depois de finalizado o ensaio, os corpos de prova foram fotografados para caracterização do tipo de ruptura (Tabela 20), de acordo Bodig e Jayne (1993). Dentre as rupturas encontradas nos corpos de prova, a tração com lascas (*splintering tension*) foi a que mais ocorreu; foi seguida da tração sem lascas (*brittle tension*) e, por

último, o fendilhamento e cisalhamento (*combined tension and shear*). Em alguns corpos de prova, houve ruptura na garra, conforme já comentado.

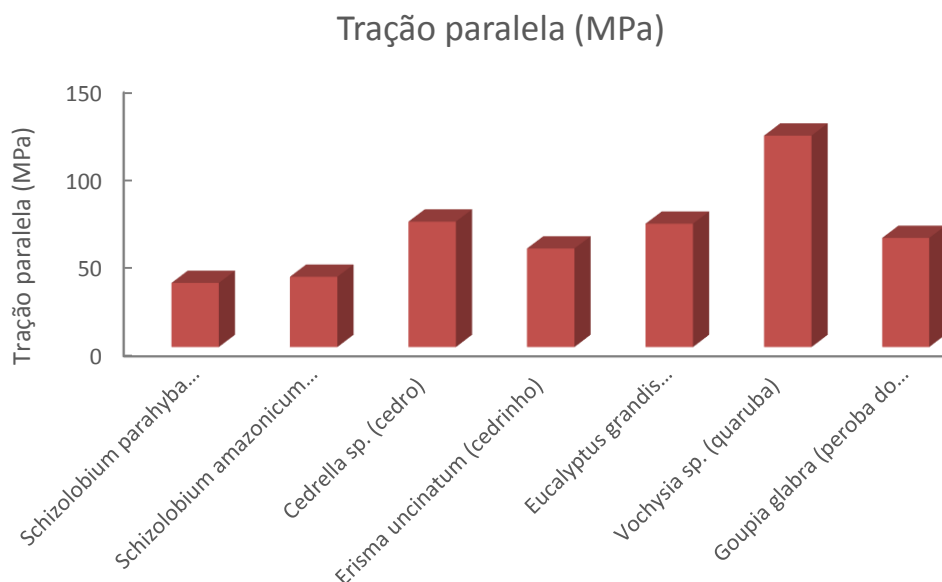


Figura 27. Gráfico comparativo entre os valores médios da resistência à tração paralela às fibras de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e Almeida *et al.* (2013) modificado pelo autor. 2014

Tabela 20: Classificação do tipo de ruptura dos corpos de prova no ensaio de tração paralela às fibras

Raio	Árvore	C.P.	Caracterização	Raio	Árvore	C.P.	Caracterização
1 - ESQUERDO	1	1E1	Tração sem lascas	2 - DIREITO	1	1D1	Tração sem lascas
		1E2	Tração com lascas			1D2	Tração com lascas
	2	2E1	Tração com lascas		2	2D1	Tração com lascas
		2E2	Tração sem lascas			2D2	Tração com lascas
	3	3E1	Tração com lascas		3	3D1	Tração sem lascas
		3E2	Tração com lascas			3D2	Tração com lascas
	4	4E1	Ruptura na garra		4	4D1	Tração com lascas
		4E2	Tração e cisalhamento			4D2	Ruptura na garra
	5	5E1	Ruptura na garra		5	5D1	Tração com lascas
		5E2	Tração com lascas			5D2	Tração e cisalhamento
	6	6E1	Ruptura na garra		6	6D1	Tração com lascas
		6E2	Tração sem lascas			6D2	Tração com lascas

Notas: E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio)

5.4.4 Resistência à tração normal às fibras (f_{90})

A resistência à tração normal às fibras média do guapuruvu foi 3,55 MPa, variando de 1,98 MPa a 4,65 MPa na condição a 12% de umidade, apresentando coeficiente de variação de 18,16% (Tabela 21). O valor característico da resistência à tração

normal às fibras do guapuruvu foi de 3,02 MPa. No apêndice I(e) está apresentado o relatório de ensaio para a resistência à tração normal às fibras.

Tabela 21: Resistência à tração normal às fibras da madeira de *Schizolobium parahyba* a 12 % de umidade

1 - ESQUERDO				2 - DIREITO			
Raio	Árvore	C.P.	f _{t90} ⁽¹⁾ (MPa)	Raio	Árvore	C.P.	f _{t90} ⁽¹⁾ (MPa)
1 - ESQUERDO	1	1E1	3,81	2 - DIREITO	1	1D1	4,64
		1E2	4,44			1D2	3,67
	2	2E1	4,31		2	2D1	3,34
		2E2	4,62			2D2	3,06
	3	3E1	4,04		3	3D1	4,65
		3E2	3,13			3D2	3,46
	4	4E1	3,08		4	4D1	2,95
		4E2	3,22			4D2	3,40
	5	5E1	3,22		5	5D1	3,36
		5E2	3,89			5D2	3,15
	6	6E1	3,10		6	6D1	3,35
		6E2	1,98			6D2	3,38
MÉDIA				3,55			
Desvio Padrão				0,65			
Coeficiente de Variação (%)				18,16			
Valor Característico				3,02			
Notas: ⁽¹⁾ f _{t90} - resistência à tração normal às fibras; E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio)							

Da mesma forma como procedido para os outros ensaios, na Figura 28 é apresentada uma comparação dos valores de resistência obtidos para o guapuruvu com os de outras espécies comerciais já descritas. Embora essa resistência mecânica não tenha importância estratégica na escolha de madeiras, sobretudo quando a destinação é estrutural, evidencia-se que a madeira do guapuruvu tem boa resistência à tração normal, dentre as espécies comparadas.

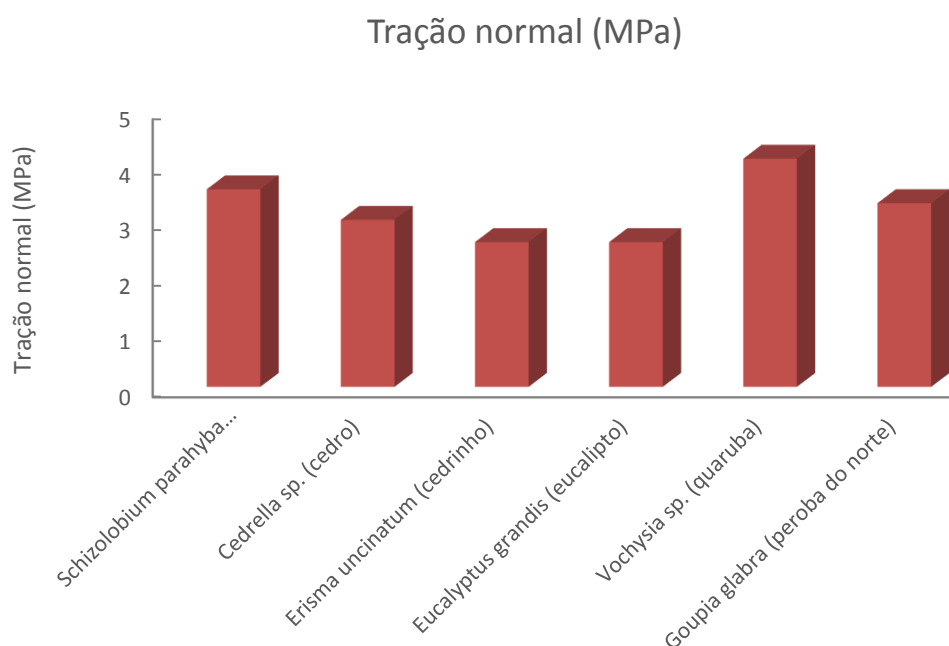


Figura 28. Gráfico comparativo entre os valores médios da resistência à tração normal às fibras de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) modificado pelo autor. 2014

5.4.5 Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0})

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras média do guapuruvu na condição de umidade de 12% foi de 5,35 MPa com variações no lote de 3,68 MPa a 7,62 MPa e coeficiente de variação de 12,50% (Tabela 22). O valor característico encontrado foi de 5,07 MPa. Este valor está compatível com o valor referencial reportado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para a classe de resistência C20 - eudicotiledôneas. No apêndice I(f) está apresentado o relatório desse ensaio.

O resultado obtido para a relação de resistências características $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ foi 0,22, superior ao apresentado pela NBR 7190 (ABNT, 1997), de 0,12.

Na Figura 29 é apresentada comparação do valor médio da resistência ao cisalhamento do guapuruvu com outras espécies comerciais.

Tabela 22: Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de *Schizolobium parahyba* a 12 % de umidade

Raio				Raio			
Árvore	C.P.	$f_{v0}^{(1)}$ (MPa)		Árvore	C.P.	$f_{v0}^{(1)}$ (MPa)	
1 - ESQUERDO	1	1E1	3,68	2 - DIREITO	1	1D1	5,01
		1E2	7,62			1D2	5,97
	2	2E1	5,32		2	2D1	5,28
		2E2	5,21			2D2	5,22
	3	3E1	5,24		3	3D1	5,47
		3E2	5,38			3D2	5,17
	4	4E1	5,09		4	4D1	4,53
		4E2	5,45			4D2	5,01
	5	5E1	5,24		5	5D1	5,43
		5E2	5,29			5D2	6,13
	6	6E1	6,13		6	6D1	5,54
		6E2	7,62			6D2	5,59
MÉDIA			5,35				
Desvio Padrão			0,67				
Coeficiente de Variação (%)			12,50				
Valor Característico			5,07				
Notas: (1) f_{v0} - Resistência ao Cisalhamento; E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio).							

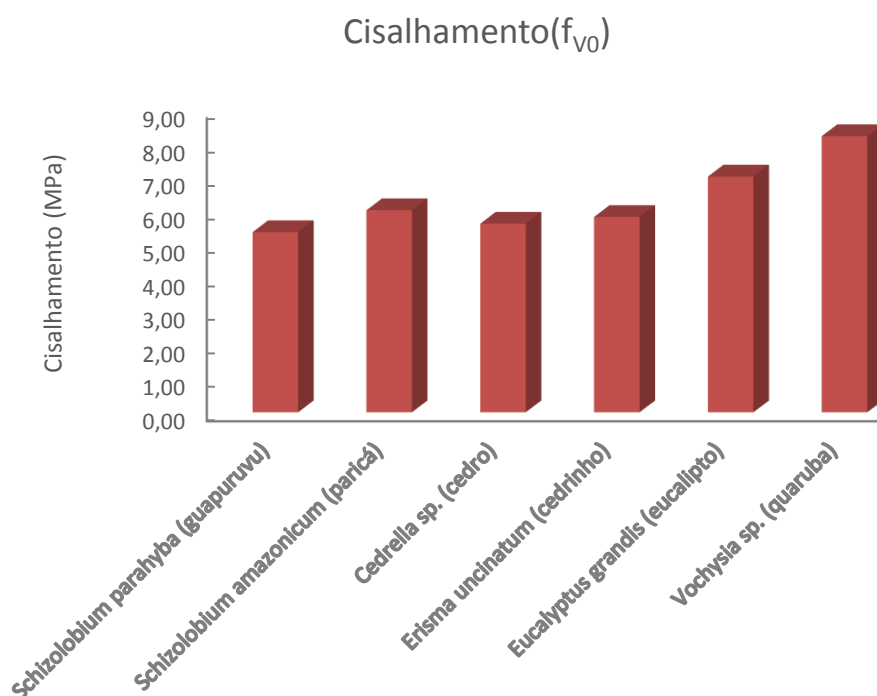


Figura 29. Gráfico comparativo entre os valores médios da resistência ao cisalhamento de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e Almeida *et al.* (2013) modificado pelo autor. 2014

5.4.6 Caracterização do lote de madeira estudado

A Tabela 23 apresenta os resultados compilados das características mecânicas da madeira de guapuruvu.

Tabela 23: Propriedades mecânicas da madeira de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake

Árvore	Raio	CP	E _{c0} ¹⁾	f _{c0} ²⁾	E _{t0} ³⁾	f _{t0} ⁴⁾	f _{v0} ⁵⁾	E _{c90} ⁶⁾	f _{c90} ⁷⁾	f _{t90} ⁸⁾
			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1	1 - ESQUERDO	1E1	4532	19,67	5421	31,16	3,68	901	3,10	3,81
1		1E2	5700	23,34	7467	50,45	7,62	-	-	4,44
2		2E1	5485	22,12	6060	37,01	5,32	355	3,66	4,31
2		2E2	6723	25,14	4800	29,70	5,21	-	-	4,62
3		3E1	5046	21,48	7574	47,70	5,24	428	3,34	4,04
3		3E2	6274	26,04	6536	36,61	5,38	-	-	3,13
4		4E1	4839	19,82	-	-	5,09	606	2,26	3,08
4		4E2	5751	24,53	5709	32,37	5,45	-	-	3,22
5		5E1	5572	22,12	-	-	5,24	457	2,12	3,22
5		5E2	6331	23,50	6783	45,78	5,29	-	-	3,89
6		6E1	5454	23,01	5627	27,04	6,13	532	2,38	3,10
6		6E2	6175	21,50	-	-	7,62	-	-	1,98
1	2 - DIREITO	1D1	5348	22,24	5664	31,91	5,01	457	3,07	4,64
1		1D2	6385	24,90	7569	45,38	5,97	-	-	3,67
2		2D1	5754	21,84	7514	43,12	5,28	700	2,50	3,34
2		2D2	6629	23,39	5946	41,59	5,22	-	-	3,06
3		3D1	5604	23,31	6559	44,19	5,47	257	2,28	4,65
3		3D1	5244	24,87	6463	37,77	5,17	-	-	3,46
4		4D1	3965	17,27	4524	28,39	4,53	439	2,33	2,95
4		4D2	5916	21,82	-	-	5,01	-	-	3,40
5		5D1	5907	23,99	6402	27,11	5,43	461	2,30	3,36
5		5D2	6629	22,65	6094	40,98	6,13	-	-	3,15
6		6D1	5318	22,03	4184	18,59	5,54	371	2,13	3,35
6		6D2	6902	26,83	6539	33,07	5,59	-	-	3,38
Número			24	24	20	20	24	12	12	24
Média			5728	22,81	6172	36,50	5,35	497	2,46	3,55
D. Padrão			718	2,12	981	8,35	0,67	172	0,33	0,65
C.V (%)			12,54	9,29	15,89	22,88	12,50	34,55	13,36	18,16
Valor Car.			-	21,47	-	23,12	5,07	-	2,36	3,02

Notas:

1) E_{c0} – módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras;

2) f_{c0} – resistência à compressão paralela às fibras;

3) E_{t0} – módulo de elasticidade à tração paralela às fibras;

4) f_{t0} – resistência à tração paralela às fibras;

5) f_{v0} – resistência ao cisalhamento;

6) E_{c90} – módulo de elasticidade à compressão normal às fibras;

7) f_{c90} – resistência à compressão normal às fibras;

8) f_{t90} – resistência à tração normal às fibras;

E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio)

Segundo a NBR7190 (ABNT, 1997), a madeira de guapuruvu está posicionada na classe de resistência C20, a menor entre as classes de resistência definidas

na norma para as eudicotiledôneas em função de seu valor característico da resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k} = 21,47$ MPa).

O enquadramento da madeira do guapuruvu na classe de resistência C20 - eudicotiledôneas foi influenciado pelo coeficiente de correção (igual a 1,1) presente como último termo da expressão do estimador da NBR7190 (ABNT, 1997). Com uso do estimador clássico da resistência característica de uma amostra com distribuição normal – Equação 6 - que faz uso do valor médio da amostra ($f_{c0,m}$) e do desvio-padrão (s_d), a madeira não alcançaria tal enquadramento, pois o valor da resistência característica assim seria 19,31MPa. De fato, segundo Logsdon *et al.* (2010), estimar a resistência característica à compressão paralela às fibras pelo estimador da NBR7190 (ABNT, 1997), quando multiplicada por um coeficiente (1,1) a fim de corrigir possível excentricidade da amostra, superestima consideravelmente este valor. A excentricidade observada na pesquisa realizada por aquele autor foi muito menor que a considerada e o coeficiente de majoração ideal obtido foi próximo da unidade ($k_b = 1,0088 \cong 1$). Assim, segundo o autor, poder-se-ia utilizar o estimador do código normativo sem qualquer coeficiente de correção.

Pinheiro (2011) chegou à conclusão semelhante à de Logsdon *et al.* (2010), sugerindo que o coeficiente de correção seja abolido. Ele estudou a eficiência de diferentes estimadores para a resistência característica de lotes de madeira, a partir de resultados de ensaios de resistência mecânica à compressão paralela e ao cisalhamento, com diferentes tamanhos amostrais e madeiras de diversas procedências e características. Concluiu que o estimador recomendado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) não é o mais eficiente e que o uso do estimador clássico (Equação 6), principalmente para lotes com mais de 12 corpos de prova, é o mais adequado.

$$f_{c0,k} = f_{c0,m} - 1,645S_d \quad (6)$$

Onde:

$f_{c0,k}$ = Resistência característica à compressão paralela às fibras

$f_{c0,m}$ = Resistência média à compressão paralela às fibras

S_d = Desvio padrão

Na Tabela 24 pode-se notar que a madeira de guapuruvu apresentou resistência característica de classe C20 - eudicotiledôneas, ainda que com densidade (336 kg/m^3) cerca de metade do valor sugerido como referencial para essa classe pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997) - 650 g/cm^3 . Esse aspecto evidencia a boa performance dessa madeira à compressão paralela às fibras.

Assim, respondendo a um dos objetivos iniciais deste trabalho, pode-se constatar que a baixa densidade dessa madeira não influencia negativamente a sua resistência à compressão paralela. A resistência ao cisalhamento também acompanha a boa performance da resistência à compressão, visto que a relação entre essas duas propriedades ($f_{v,k}/f_{c0,k} = 0,23$) é superior à relação referencial preconizada pela norma brasileira (0,12). As resistências à tração e à compressão normal, já discutidas anteriormente, não acompanham esses bons resultados.

Tabela 24: Valores característicos e médios das propriedades físico-mecânicas obtidas neste trabalho para a madeira de *Schizolobium parahyba* e do referencial teórico (NBR 7190, ABNT, 1997)

Fonte	$f_{c0,k}^*$	$f_{v0,k} 12\%$	$E_{c0,m}$	ρ_{ap}	ρ_{bas}	$\frac{f_{t0,k}}{f_{c0,k}}$	$\frac{f_{c90,k}}{f_{c0,k}}$	$\frac{f_{v0,k}}{f_{c0,k}}$
	(MPa)			(kg/m ³)				
Este trabalho	20	5,07	5.728	336	290**	1,07	0,11	0,23
NBR 7190	20	4**	9.500**	650**	500**	1,30	0,25	0,12

Notas: * Para efeito de cálculo das relações foi utilizado o valor $f_{c0,k} = 21,47 \text{ MPa}$.
 ** Valores referenciais apresentados pela NBR 7190 para madeira de eudicotiledôneas classe 20.

A Tabela 25 apresenta as propriedades mecânicas do guapuruvu divididas pela sua densidade aparente. Essas relações são normalmente assumidas como índices de qualidade, quando da comparação entre espécies com densidades aparentes bastante distintas. Neste trabalho foram obtidas relações sempre superiores aos referenciais teóricos propostos pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para classe C20 - eudicotiledôneas.

Tabela 25: Valores de propriedades mecânicas relativizadas (em relação à densidade aparente) obtidas neste trabalho para a madeira de *Schizolobium parahyba*, e os do referencial teórico (NBR 7190, ABNT, 1997)

Fonte	$\frac{f_{c0,k}}{\rho_{ap}} \times 100$	$\frac{f_{v0,k}}{\rho_{ap}} \times 100$	$\frac{E_{c0,m}}{\rho_{ap}}$
Este trabalho	6,39	1,51	17,05
NBR 7190*	4,00	0,80	14,60

Notas: *Relações obtidas a partir dos valores referenciais propostos na norma NBR 7190 (ABNT, 1997) para a classe C20 - eudicotiledôneas

A Tabela 26 resume os valores das resistências características do guapuruvu para a umidade referencial de 12%.

Tabela 26: Resumo das resistências características obtidas nos ensaios para a madeira de *Schizolobium parahyba*

Resistência característica $f_{k, 12\%}$ (MPa)				
$f_{c0,k}$	$f_{t0,k}$	$f_{v0,k}$	$f_{c90,k}$	$f_{t90,k}$
21,47	23,12	5,07	2,36	3,02

Considerando-se que a madeira pôde ser enquadrada na classe de resistência C20 - eudicotiledôneas, conclui-se que a espécie tem potencial de uso comercial, visto que suas propriedades mecânicas não representam queda proporcional à sua baixa densidade aparente (Tabela 25).

5.5 Qualidade da madeira

Conforme já comentado, a qualidade da madeira foi avaliada por meio das variações radiais de algumas propriedades físicas, mecânicas e características anatômicas do lenho.

5.5.1 Variação radial das propriedades físicas

5.5.1.1 Densidade aparente por densitometria de raios X

Os perfis densitométricos do lenho (Figura 30) mostraram padrão de variação radial com menor densidade aparente do lenho na região da medula, aumentando em direção à casca. Comportamento semelhante é observado no lenho de espécies de coníferas e folhosas (TSOUMIS, 1991; AMARAL, 1994; LOBÃO *et al.* 2012; TOMAZELLO FILHO, 1985, LIMA *et al.*, 2000 e SETTE JUNIOR, 2010).

Foi constatado um valor mínimo de densidade aparente igual a 60 kg/m³ e um valor máximo de 904 kg/m³, com média de 332 kg/m³ (Tabela 27). Os menores valores de densidade aparente foram encontrados próximos à medula (média de 252 kg/m³ nos 4 primeiros centímetros de cada raio dos seis discos, enquanto que os 4 cm mais próximos à casca tiveram média de 411 kg/m³). A Figura 31 mostra essa diferença para cada uma das seis árvores. Esse padrão é compatível ao observado por Rollo (2009) em árvores de *Schizolobium parahyba* e por Lobão (2011) em *Schizolobium amazonicum*.

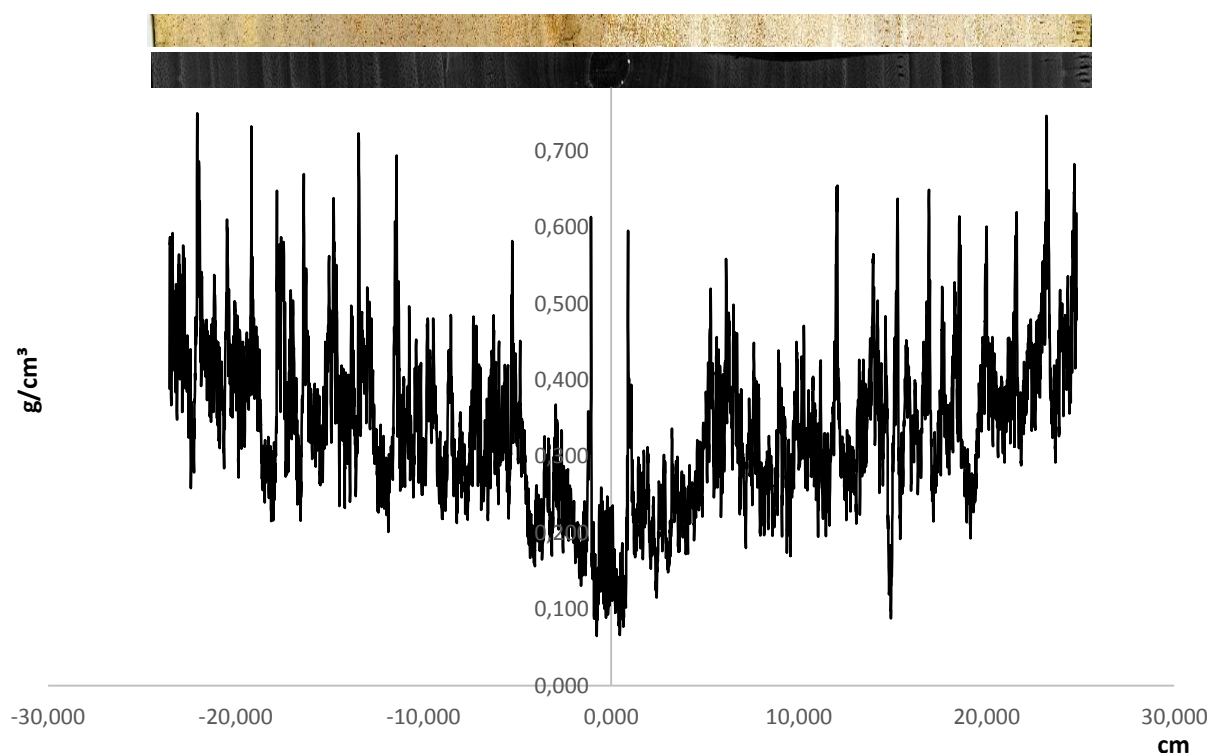


Figura 30. Árvore 2 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de guapuruvu e da imagem obtida pelo equipamento de raios X digital

Os perfis radiais obtidos pelo equipamento de raios X digital, observados na parte superior do gráfico (Figura 30), evidenciam importantes variações no crescimento das árvores. As áreas onde se verificam maiores valores de densidade são caracterizadas por colorações mais próximas do branco e correspondem, na maioria dos casos, ao lenho tardio.

Tabela 27: Resultados de densidade aparente (12%) obtidos por densitometria de raios X em g/cm^3 para a madeira de *Schizolobium parahyba*

Árvore	1	2	3	4	5	6
Mínimo	0,087	0,065	0,060	0,061	0,078	0,107
Máximo	0,905	0,749	0,761	0,836	0,776	0,867
Média	0,394	0,337	0,297	0,308	0,304	0,357
Desvio Padrão	0,110	0,104	0,093	0,109	0,107	0,103
Coeficiente de Variação	27,828	30,986	31,195	35,209	35,133	28,925

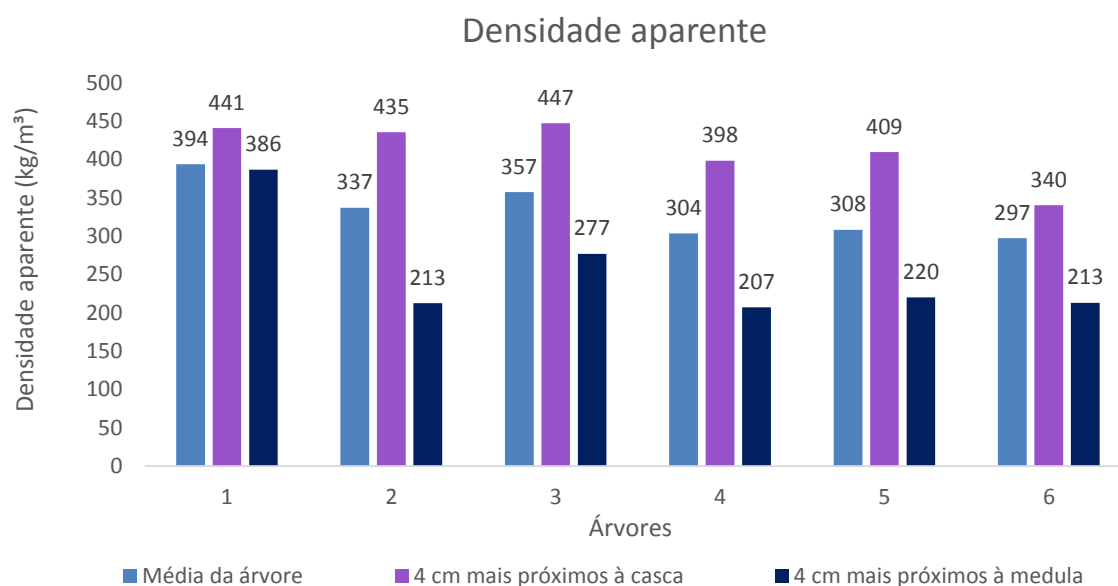


Figura 31. Diferença da densidade aparente de *Schizolobium parahyba* na região da casca e da medula

A densidade aparente ponderada foi estatisticamente diferente nas três regiões, sendo maior na região de alburno do que na região de cerne (Tabela 28 e Figura 32), contrariando o descrito para diversas espécies de folhosas que tendem a apresentar cerne com maior densidade (SPIEGELBERG, 1966; BAMBER, 1976; OLIVEIRA *et al.*, 1986). Não há registros na literatura para essa análise – diferenciação e caracterização entre regiões do lenho de guapuruvu.

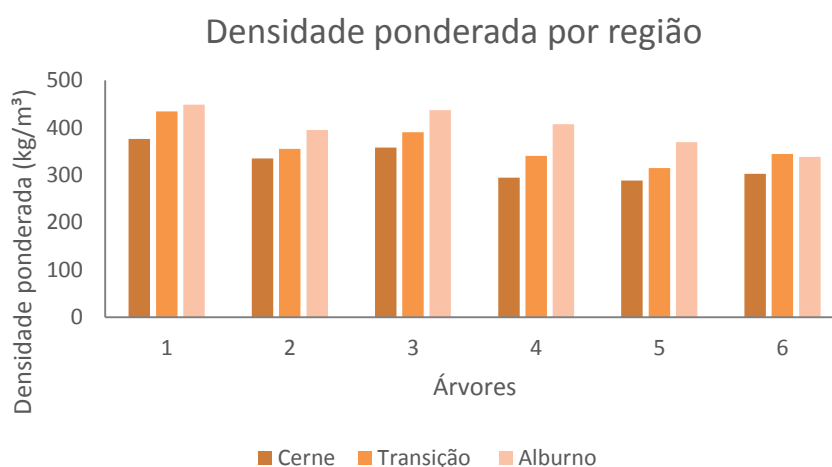


Figura 32. Densidade aparente das seis árvores de *Schizolobium parahyba* (Vell.) blake nas regiões de cerne, transição e alburno

Tabela 28: Densidade aparente ponderada nas regiões de cerne, transição e alburno de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, obtidos pelo método de densitometria de raios X

Árvore	Cerne	Transição	Alburno	Todo o lenho
kg/m³				
1	377	435	449	420
2	336	356	395	362
3	358	391	437	395
4	295	341	408	348
5	289	315	370	324
6	303	345	339	329
Média	326 A	363 AB	399 B	363
Desvio padrão	36,31	42,61	41,26	37,89
C.V. (%)	0,11	0,12	0,10	0,10

Notas: Letras iguais na mesma linha para a média dos raios não diferem para o teste Tukey (p = 0,0216)

A densidade aparente apresentou região de madeira adulta estatisticamente mais densa que a de madeira juvenil (Tabela 29 e Figura 33).

A presença de madeira adulta nos últimos anéis de crescimento também explica o padrão de densidade encontrado na densitometria de Raios X - densidade aparente maior na região de alburno do que na região de cerne. A madeira adulta influencia diretamente o aumento de densidade do lenho e, conseqüentemente na sua destinação, rendimento e qualidade do produto final (BENDTSEN, 1978, ZOBEL, 1984, SENFT *et al.*, 1985, ROWELL *et al.*, 2000, VIDAURRE *et al.* 2011, NUTTO; TOUZA, 2004).

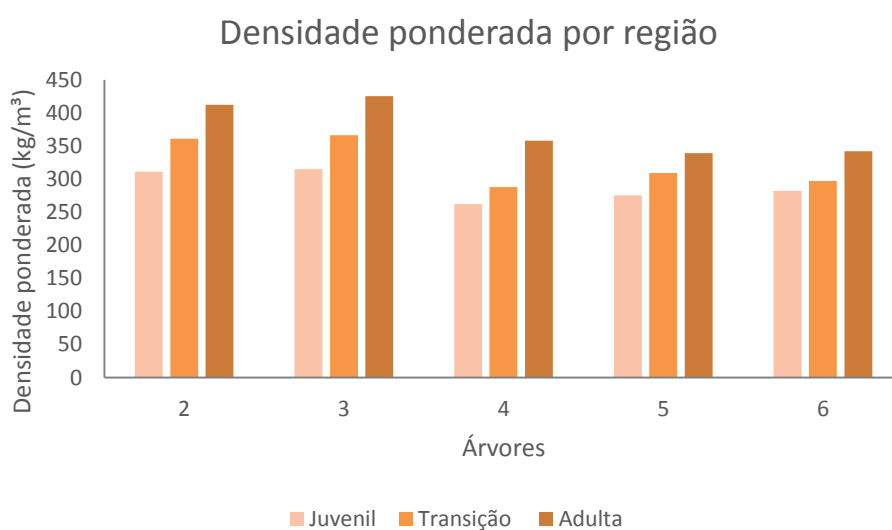


Figura 33. Densidade aparente das cinco árvores de *Schizolobium parahyba* nas regiões de madeira juvenil, madeira de transição e adulta

Tabela 29: Densidade aparente das cinco árvores de *Schizolobium parahyba* nas regiões de madeira juvenil, madeira de transição e adulta

Árvore	kg/m ³			Total
	Madeira juvenil	Transição	Madeira adulta	
2	311	361	412	361
3	315	366	425	368
4	262	288	358	302
5	275	309	339	307
6	282	297	342	307
Média	289 A	324 AB	375 B	329
Desvio padrão	23,09	36,68	40,44	32,59
C.V. (%)	7,9%	11,3%	10,7%	9,8%

Notas: Letras iguais na mesma linha para a média dos raios não diferem para o teste Tukey (p = 0,0062)

Há relatos na literatura, de que a madeira de tração pode ter densidade maior, igual ou até menor que a madeira normal, visto que é dependente da anatomia da madeira, (muito variável em folhosas) e do conteúdo de celulose e lignina, no lenho de tração (GARDINER *et al.*, 2014; VIDAURRE *et al.*, 2013). Neste trabalho não houve diferença estatística entre os lenhos, com a densidade mensurada com uso da técnica de densitometria de Raios X (Tabela 30, Figura 34).

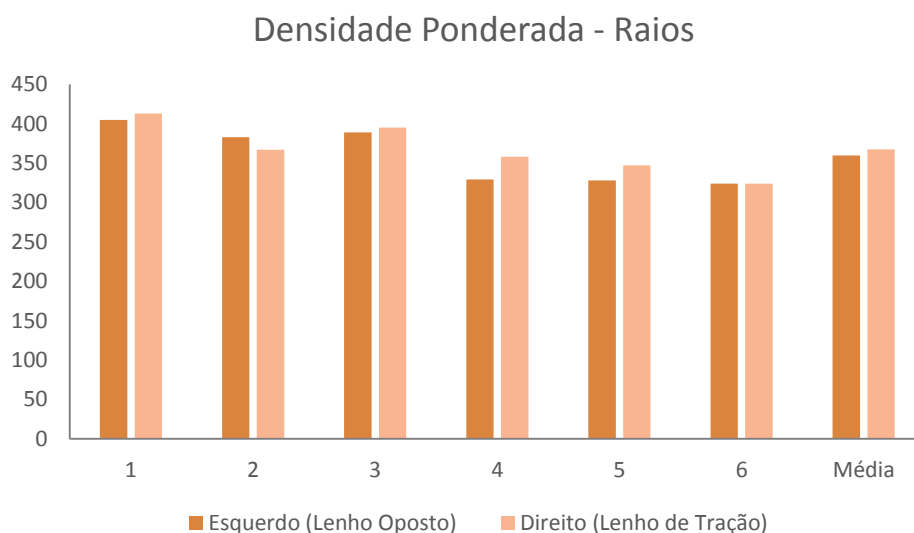


Figura 34. Densidade aparente do lenho de tração e lenho oposto de *Schizolobium parahyba* mensurada por densitometria de Raios X

Tabela 30: Densidade aparente dos lenho de tração (direito) e oposto (esquerdo) das seis árvores de *Schizolobium parahyba*

Lenho Árvore	oposto (esquerdo)	tração (direito)
	kg/m ³	
1	405	413
2	383	367
3	389	395
4	329	358
5	328	347
6	324	324
Média	360 A	367 A
Desvio padrão	36,54	32,34
C.V. (%)	0,10	0,09

Notas: Letras iguais na mesma linha para a média dos raios não diferem para o teste T-pareado (p = 0,2805)

5.5.1.2 Retratabilidade

A retração tangencial do guapuruvu variou de 4,85% a 12,27% com média de 7,24% e coeficiente de variação igual a 17,64%. A retração radial variou de 1,81% a 4,67%, com 2,69% de média e 22,20% de coeficiente de variação. Na direção longitudinal a retração mínima foi de 0,07% e a máxima de 0,86% com média de 0,34% e 44,50% de coeficiente de variação. A variação volumétrica variou de 7,61% a 20,22% com 11,19% de média e 19,55% de coeficiente de variação (Tabela 31).

O índice de anisotropia indica o desbalanceamento entre as variações dimensionais nas direções tangencial e radial e é importante na definição do uso final da madeira, pois indica seu comportamento quanto à secagem e o potencial de fendilhamento. Nock *et al.* (1975) sugerem a classificação e uso da madeira em função do seu índice de anisotropia, conforme apresentado na Tabela 32.

O índice de anisotropia - 2,74 – segundo Nock *et al.* (1975), foi considerado ruim, condicionando a madeira ao uso na construção civil (desde que atendidos os requisitos mecânicos), à carvão ou lenha.

Tabela 31: Retratabilidade e outros parâmetros relativos à estabilidade dimensional da madeira de *Schizolobium parahyba*

Propriedade	Árvore	Posição Radial (cm)								
		-16,2	-12,3	-8,4	-4,5	4,5	8,4	12,3	16,2	20,1
Ret. Tangencial (%)	1		7,03	7,18	6,95	6,92	7,52		7,10	
	2	7,09	8,43	7,52	6,37	5,29	6,66	6,75	6,09	
	3	7,03	9,82	7,13	5,65	7,15	7,89	6,90	7,73	
	4		5,89	8,54	5,84	5,93	6,53	6,33	5,61	
	5	7,68	7,57	6,94	8,27	6,60	7,42	7,33	6,58	4,85
	6		7,58	7,49	9,53	7,81	12,27	8,32	8,64	
	Média	7,27	7,72	7,47	7,10	6,62	8,05	7,13	6,96	4,85
	Desv. Pad.	0,36	1,33	0,57	1,52	0,90	2,13	0,76	1,11	
	C.V. (%)	4,94	17,17	7,64	21,37	13,57	26,51	10,63	15,95	
	Média raios		7,41 A					7,09 A		
	Desv. Pad.		1,08					1,43		
	C.V. (%)		14,61					20,20		
	Média geral						7,24			
	Desv. Pad.						1,28			
	C.V. (%)						17,64			
Ret. Radial (%)	1		2,93	2,72	2,58	2,45	2,71		3,38	
	2	2,54	3,38	2,23	2,31	1,81	2,17	2,41	2,23	
	3	2,96	3,30	2,53	2,14	2,73	2,68	2,69	2,61	
	4		2,52	2,33	2,20	2,60	2,61	2,13	2,49	
	5	2,72	2,41	2,20	2,46	2,60	2,41	2,35	2,01	2,20
	6		3,24	3,88	3,81	2,34	4,67	4,42	2,95	
	Média	2,74	2,96	2,65	2,58	2,42	2,88	2,80	2,61	2,20
	Desv. Pad.	0,21	0,42	0,63	0,62	0,33	0,90	0,93	0,50	
	C.V. (%)	7,69	14,05	23,96	24,10	13,57	31,38	33,12	18,97	
	Média raios		2,73 A					2,65 A		
	Desv. Pad.		0,52					0,67		
	C.V. (%)		19,02					25,13		
	Média geral						2,69			
	Desv. Pad.						0,60			
	C.V. (%)						22,20			
Ret. Longitudinal (%)	1		0,23	0,53	0,36	0,64	0,20	0,54	0,24	
	2	0,27	0,26	0,30	0,27	0,29	0,31	0,36	0,31	
	3	0,23	0,73	0,33	0,38	0,19	0,25	0,21	0,28	
	4		0,28	0,29	0,29	0,29	0,23	0,25	0,34	
	5	0,32	0,39	0,27	0,32	0,07	0,57	0,38	0,33	0,14
	6		0,24	0,19	0,35	0,86	0,54	0,37	0,42	
	Média	0,27	0,36	0,32	0,33	0,39	0,35	0,35	0,32	0,14
	Desv. Pad.	0,05	0,19	0,11	0,04	0,30	0,16	0,12	0,06	
	C.V. (%)	16,50	54,24	35,78	12,98	76,56	46,60	32,94	19,06	
	Média raios		0,33 A					0,34 A		
	Desv. Pad.		0,12					0,17		
	C.V. (%)		36,19					50,39		
	Média geral						0,34			
	Desv. Pad.						0,15			
	C.V. (%)						44,50			

Tabela 31: Retratibilidade e outros parâmetros relativos à estabilidade dimensional da madeira de *Schizolobium parahyba* (continuação)

Var. Volumétrica (%)	1		11,07	11,35	10,72	11,68	11,37		10,84	
	2	10,73	13,32	10,97	9,63	9,25	10,29	9,86	7,84	
	3	11,10	15,52	10,84	8,72	11,59	10,62	11,84	10,93	
	4		9,30	12,27	8,92	9,03	9,34	10,11	9,46	
	5	11,71	11,29	10,17	12,13	7,61	9,60	10,93	11,32	10,00
	6		12,10	12,67	15,32	13,27	14,54	20,22	12,04	
	Média	11,18	12,10	11,38	10,91	10,41	10,96	12,59	10,41	10,00
	Desv. Pad.	0,49	2,13	0,94	2,50	2,11	1,90	4,33	1,51	
	C.V. (%)	4,43	17,63	8,23	22,96	20,29	17,32	34,42	14,54	
	Média raios		11,42	A				10,98	A	
	Desv. Pad.		1,78					2,51		
	C.V. (%)		15,60					22,85		
	Média geral					11,19				
	Desv. Pad.					2,19				
	C.V. (%)					19,55				
Índice de anisotropia	1		2,40	2,64	2,69	2,82	2,77		2,10	
	2	2,79	2,49	3,37	2,76	2,92	3,07	2,80	2,73	
	3	2,38	2,98	2,82	2,64	2,62	2,94	2,57	2,96	
	4		2,34	3,67	2,65	2,28	2,50	2,97	2,25	
	5	2,82	3,14	3,15	3,36	2,54	3,08	3,12	3,27	2,20
	6		2,34	1,93	2,50	3,34	2,63	1,88	2,93	
	Média	2,66	2,61	2,93	2,77	2,75	2,83	2,67	2,71	2,20
	Desv. Pad.	0,25	0,35	0,61	0,30	0,36	0,24	0,49	0,45	
	C.V. (%)	9,39	13,48	20,94	10,94	13,22	8,41	18,18	16,59	
	Média raios		2,76	A				2,72	A	
	Desv. Pad.		0,41					0,38		
	C.V. (%)		15,00					13,84		
	Média geral					2,74				
	Desv. Pad.					0,39				
	C.V. (%)					14,24				
Desempenho	1		3,77	3,34	3,47	3,03			4,40	
	2	3,34	3,01	2,70	3,76	3,69	3,17	3,62	4,68	
	3	3,79	2,17	3,27	4,34	3,29	3,20	3,29	3,09	
	4		4,60	2,23	4,22	4,85	4,29	3,32	4,69	
	5	3,03	2,82	3,11	2,46	5,17	3,38	2,93	2,70	4,53
	6		3,54	4,09	2,61	2,25	2,61	2,63	2,83	
	Média	3,39	3,32	3,12	3,48	3,72	3,33	3,16	3,73	4,53
	Desv. Pad.	0,38	0,84	0,63	0,80	1,11	0,61	0,39	0,95	
	C.V. (%)	11,32	25,46	20,15	22,92	29,97	18,22	12,22	25,57	
	Média raios		3,32	A				3,55	A	
	Desv. Pad.		0,69					0,83		
	C.V. (%)		20,67					23,37		
	Média geral					3,44				
	Desv. Pad.					0,76				
	C.V. (%)					22,24				

Notas: Valores negativos da posição radial referem-se ao raio esquerdo; valores positivos referem-se ao raio direito, em centímetros; Ret. – Retratibilidade; Var. – Variação volumétrica; Desv. Pad. – Desvio padrão; C.V. – Coeficiente de variação, Letras iguais na mesma linha para a média dos raios não diferem para o teste T-pareado ($p < 0,05$)

Tabela 32: Índice de anisotropia, qualidade e uso da madeira

Índice de Anisotropia	Qualidade da Madeira	Utilização indicada para a madeira
1,2 a 1,5	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte, etc.
1,5 a 2,0	Normal	Estantes, mesas, armários, enfim usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,0	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha, etc.

Fonte: Nock *et al.* (1975)

Mainieri e Chimelo (1993) já haviam reportado resultados de retratibilidade para a espécie. Os valores foram 1,8% na direção radial, 5,5% na direção tangencial e 8,4% para a retratibilidade volumétrica, revelando desempenho superior ao aqui constatado. Mesmo com valores inferiores para as retratibilidades nas direções principais, o índice de anisotropia foi de 3,05. Contrariamente, Trianoski (2010) reportou valores de 4,90%, 9,30% e 13,90% para as retratibilidades radial, tangencial e volumétrica; O índice de anisotropia foi 1,90.

Os índices encontrados podem ser justificados também pela pouca idade da planta e pela presença de madeira de reação detalhada no item 5.3.3.3. De fato a madeira de tração em folhosas possui elevada instabilidade dimensional (TSOUMIS, 1991).

A madeira de guapuruvu apresentou índice de desempenho igual a 3,44. Este índice contabiliza a qualidade da madeira por meio de um baixo índice anisotropia associado a uma baixa retratibilidade volumétrica. Quanto maior é o índice, melhor é o desempenho da madeira.

A Tabela 33 apresenta os resultados obtidos por diversos pesquisadores para as retratibilidades de algumas espécies comerciais com potencial tecnológico semelhantes ao guapuruvu. Nota-se que apesar dos valores ruins para os índices de anisotropia, a maioria dos valores de estabilidade dimensional encontrados para as espécies de Eucaliptos foram piores do que os encontrados para o guapuruvu neste trabalho, assim como para valores das espécies *Erismia uncinatum* (cedrinho) e *Vochysia máxima* (quaruba).

Tabela 33: Valores comparativos de retratibilidade (%) para diferentes espécies

Estudo	Espécie	Idade (anos)	Retratibilidade (%)				I.A. .	Des.
			T	R	L	V		
Santini et al. (2000)	<i>Pinus elliottii</i> (pinus)	13	5,8	3,9	-	9,8	1,5	6,9
Santini et al. (2000)	<i>Pinus taeda</i> (pinus)	13	6,5	4,4	-	10,9	1,5	6,2
Rezende (2003)	<i>Pinus caribaea hondurensis</i> (pinus)	8	5,8	4,4	0,6	10,6	1,3	7,1
Santini et al. (2000)	<i>Araucaria angustifolia</i> (araucária)	19	6,1	4,4	-	10,4	1,4	6,9
Benjamin (2006)	<i>Corymbia citriodora</i> (Citriodora)	29	12,3	6,6	0,4	18,1	1,9	3,0
Scanavaca Jr; Garcia (2004)	<i>Eucalyptus urophylla</i> (eucalipto)	19	12,5	7,2	0,1	19,8	1,7	2,9
Benjamin (2006)	<i>Eucalyptus grandis</i> (eucalipto)	28	11,0	6,2	0,1	16,9	1,8	3,4
Oliveira; Silva (2003)	<i>Eucalyptus saligna</i> (eucalipto)	16	14,8	7,7	-	26,0	1,9	2,0
Moreno; Roque (2006)	<i>Tectona grandis</i> (teca)	8	5,3	2,6	0,3	8,0	2,1	6,0
Silva (2010)	<i>Hevea brasiliensis</i> /RRIM600 (seringueira)	30	5,8	2,5	0,6	9,5	2,3	4,6
Silva (2010)	<i>Hevea brasiliensis</i> /GT1 (seringueira)	20	5,8	2,7	0,2	9,3	2,2	4,9
Colli (2007)	<i>Schizolobium amazonicum</i> (paricá)	11	5,2	3,1	0,4	-	1,7	-
Mainieri; Chimelo (1993)	<i>Erisma uncinatum</i> (cedrinho)	-	7,7	3,3	-	12,5	2,3	3,4
IBAMA (1997)	<i>Vochysia maxima</i> (quaruba)	-	8,8	4,0	-	12,1	2,2	3,8
Este trabalho	<i>Schizolobium parahyba</i> (guapuruvu)	16	7,2	2,7	0,3	11,2	2,7	3,4

Notas: T – Tangencial; R – Radial; L – Longitudinal; V – Volumétrica, I.A. – Índice de anisotropia; Des. - Desempenho

Fonte: Silva (2010), Mainieri; Chimelo, 1993, IBAMA, 1997, complementado pelo autor

Quanto à variação radial da retração da madeira, o padrão encontrado (Figuras 35 a 40) é semelhante aos padrões descritos na literatura para outras espécies. No trabalho de Oliveira e Silva (2003), as contrações transversais na madeira de *E. saligna* aumentaram no sentido medula-casca. Este aumento está relacionado com a redução do ângulo microfibrilar na parede celular e com o aumento do comprimento das fibras e do teor de celulose.

Esse comportamento é bem mais estabelecido para a madeira de coníferas, onde o efeito da juvenilidade do lenho é mais evidente. Em trabalho com *Pinus taeda*, Lara Palma e Ballarin (2003), concluíram que: as contrações radial e tangencial da madeira juvenil foram estatisticamente menores que as da madeira adulta. Os autores ressaltaram que os resultados encontrados ratificaram os observados por RAMSAY; BRIGGS, 1986; BENDTSEN; SENFT, 1986; McALISTER; CLARK, 1992; McALISTER; POWERS, 1992; McALISTER; POWERS, 1994; YING *et al.*, 1994.

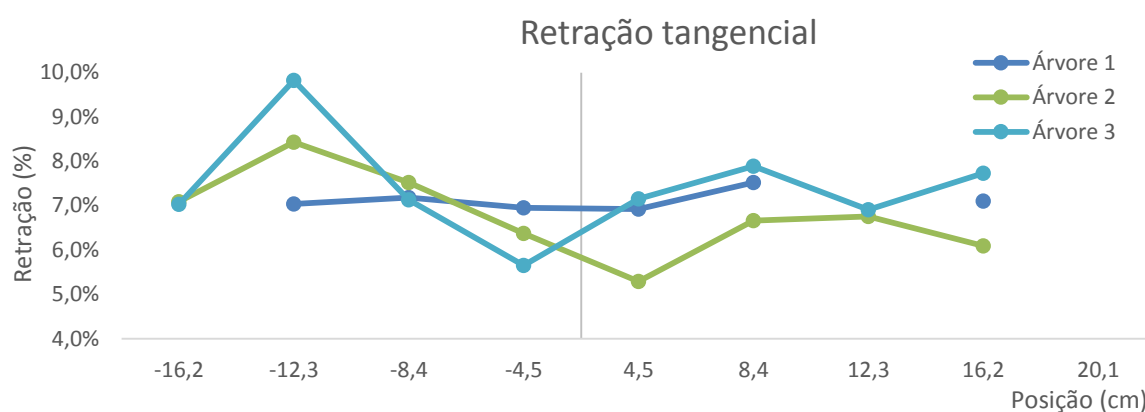


Figura 35. Variação radial da retração tangencial – Árvore 1 a 3

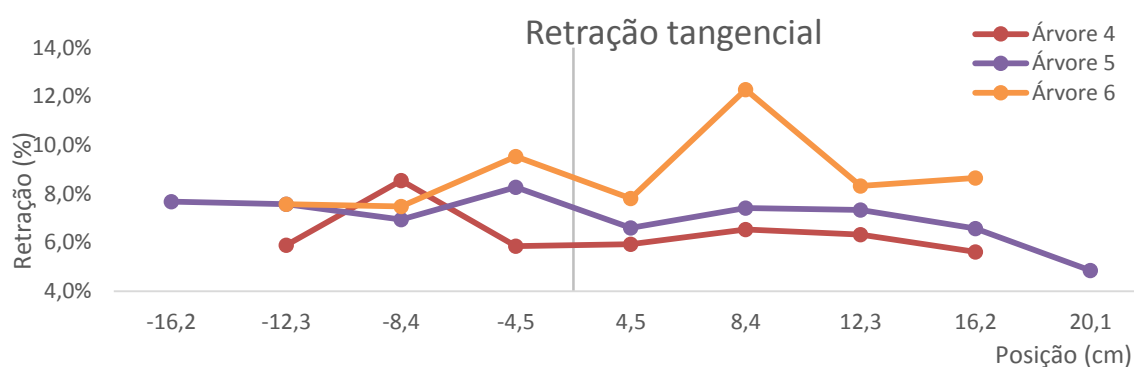


Figura 36. Variação radial da retração tangencial – Árvore 4 a 6

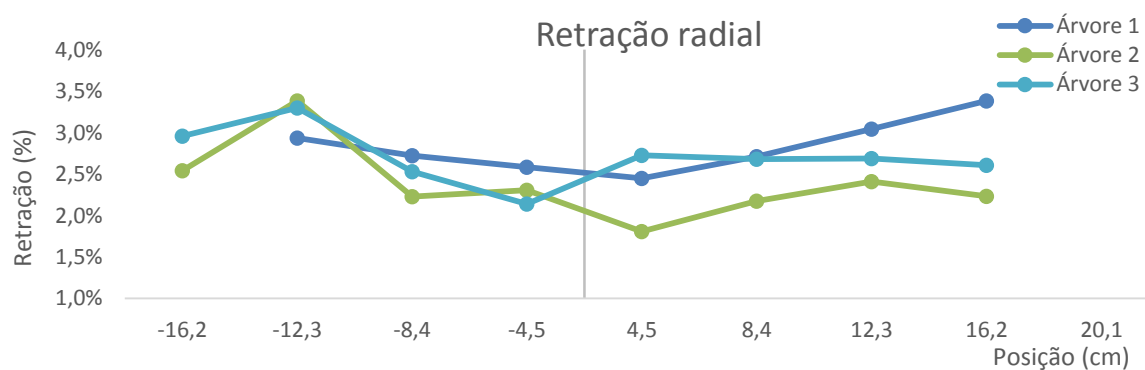


Figura 37. Variação radial da retração radial – Árvore 1 a 3

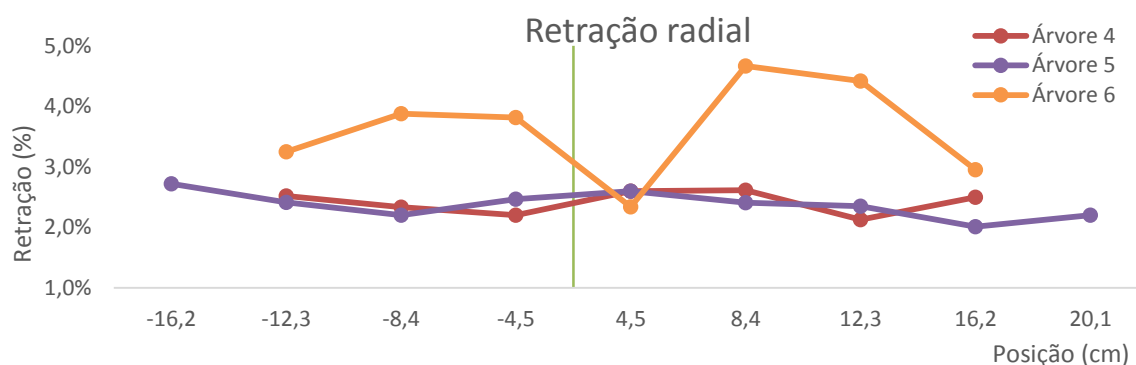


Figura 38. Variação radial da retração radial – Árvore 4 a 6

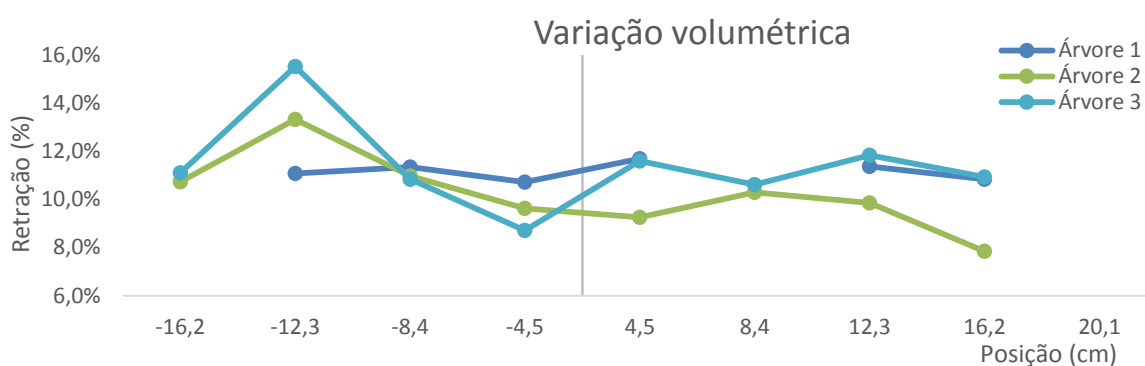


Figura 39. Variação radial da variação volumétrica – Árvore 1 a 3

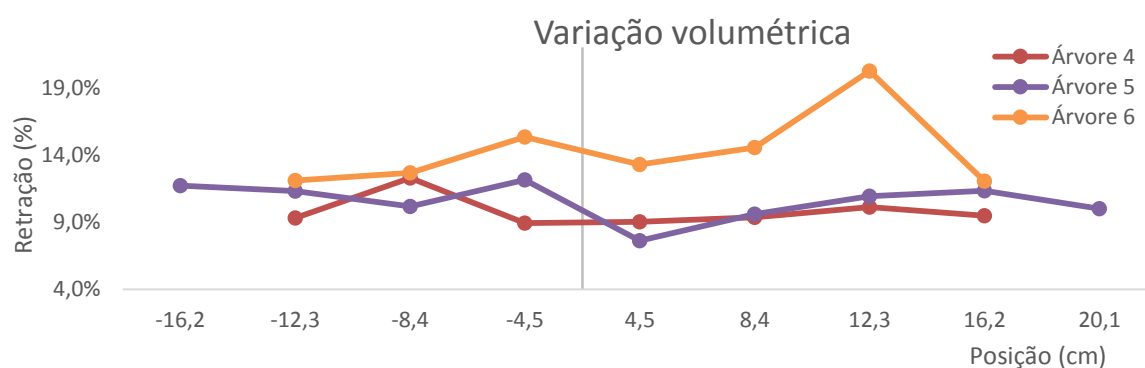


Figura 40. Variação radial da variação volumétrica – Árvore 4 a 6

Com finalidade meramente comparativa da estabilidade dimensional entre os raios direito e esquerdo foram apresentadas as curvas de regressão sobrepostas para cada uma das propriedades (Figura 41).

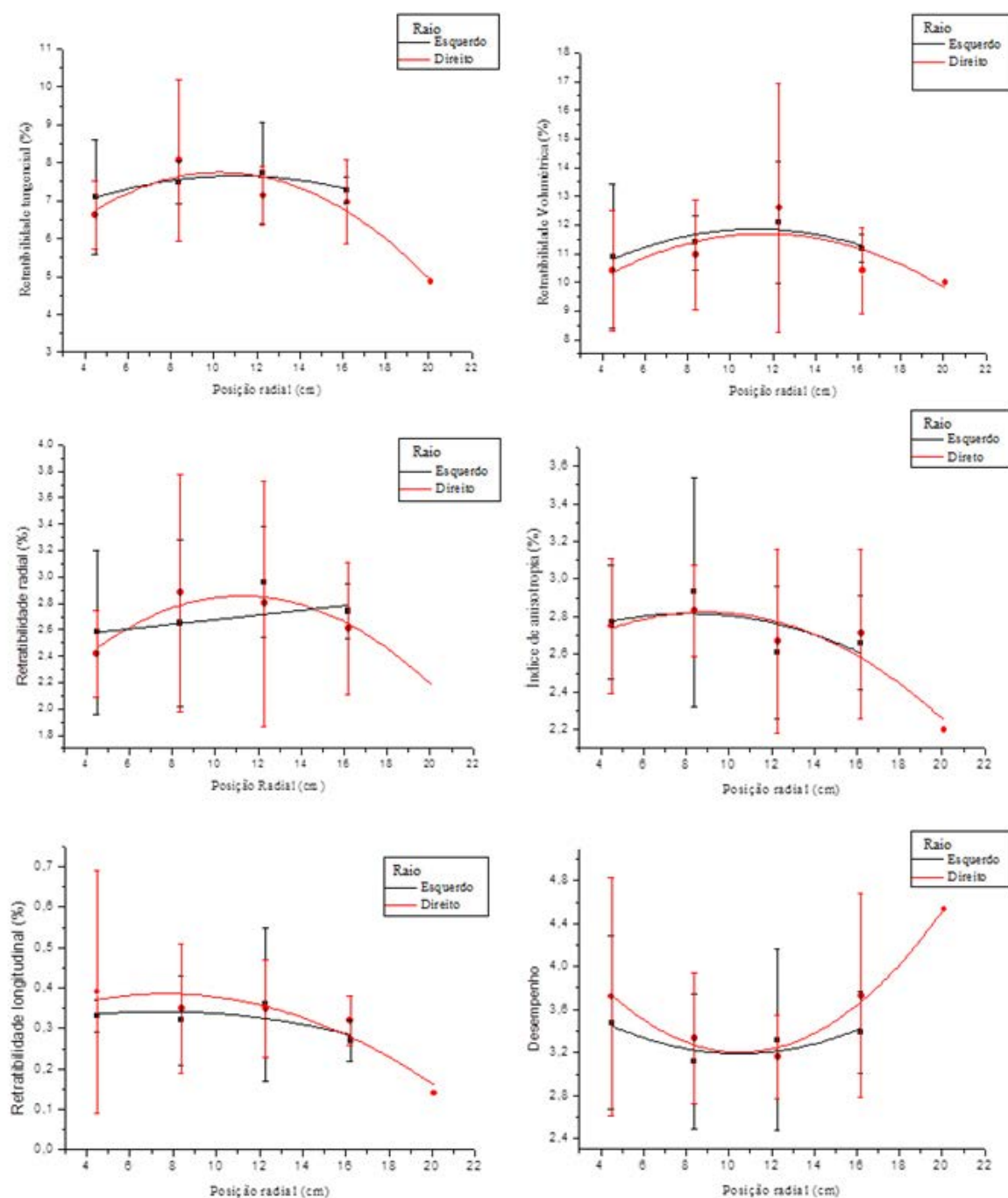


Figura 41. Curvas de regressão para as médias dos valores de retratibilidade tangencial, radial, longitudinal e volumétrica, índice de anisotropia e desempenho das seis árvores de *Schizolobium parahyba* estudadas, e comparação entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), com dados dos respectivos desvios padrão.

Pode-se observar que as propriedades de retratibilidade seguem um padrão de crescimento inicial no sentido medula-casca, seguido por uma tendência de estabilização dos valores ou certo declínio, com exceção do desempenho da madeira que decresce à partir da medula, e depois possui valor crescente em direção à casca. O comportamento inverso do desempenho era esperado, visto que seu valor é tanto maior, quanto menores forem os valores de retratibilidade volumétrica, conforme já explicado. Além disso, os valores de retratibilidade, anisotropia e desempenho obtidos nas posições radiais equivalentes entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto) apresentam sobreposições dos desvios-padrão sugerindo que não há diferença entre o comportamento nos dois raios. Por fim, outro ponto que pode ser observado é a maior variabilidade dos valores no raio direito da árvore (lenho de tração).

5.5.2 Variação radial das propriedades mecânicas

5.5.2.1 Compressão paralela às fibras (f_{c0})

Os valores variaram de 14,49 MPa a 28,99 MPa, seguindo um padrão de variação crescente da medula em direção à casca, com pequeno decréscimo próximo à casca (Tabela 34). O valor médio encontrado foi 21,14 MPa e o coeficiente de variação da propriedade 13,35%, valor considerado médio segundo o critério proposto por Garcia (1989). Foi constatada igualdade estatísticas entre as resistências nos dois raios do lenho.

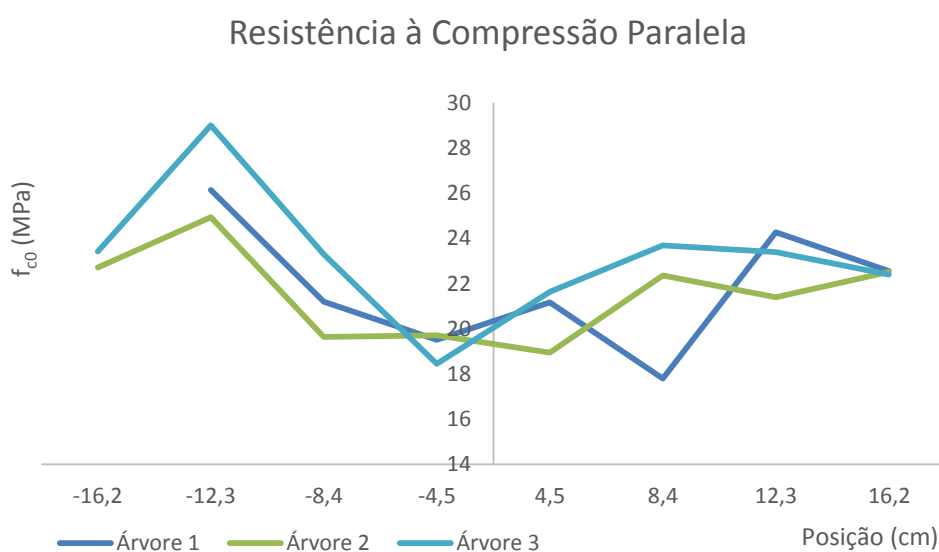
As Figuras 42 e 43 apresentam a variação da resistência da madeira ao longo do diâmetro do disco e no Apêndice II(a) são apresentados alguns relatórios desse ensaio.

As curvas de regressão sobrepostas dos raios direito e esquerdo para a resistência à compressão paralela (Figura 44) evidenciam um padrão de comportamento semelhante ao das propriedades físicas: há um aumento da resistência, seguido de estabilização dos valores. Neste caso também houve sobreposição dos desvios-padrão nas posições radiais equivalentes, mostrando que raios direito e esquerdo possuem resistências que não diferem no seu comportamento. A dispersão dos valores neste caso foi maior no raio direito em alguns pontos (primeiro corpo de prova) e maior no raio esquerdo em outro (terceiro corpo de prova).

Tabela 34: Resistência à Compressão Paralela às fibras de *Schizolobium parahyba*

Árvore	Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) 12%									
	Posição radial (cm)									
	-16,2	-12,3	-8,4	-4,5	4,5	8,4	12,3	16,2	20,1	
1		26,14	21,20	19,51	21,16	17,79	24,27	22,55		
2	22,72	24,93	19,63	19,72	18,95	22,36	21,40	22,52		
3	23,42	28,99	23,29	18,46	21,63	23,69	23,40	22,40		
4		18,77	18,32	20,27	15,48	19,33	21,64	21,14		
5	22,94	23,26	17,72	21,97	23,38	16,82	23,66	18,72	22,52	
6		21,03	24,72	19,07	14,49	18,06	20,68	18,40		
Média	23,03	23,85	20,81	19,83	19,18	19,68	22,51	20,96	22,52	
Desv. Pad.	0,36	3,66	2,78	1,21	3,56	2,75	1,45	1,93		
C.V. (%)	1,55	15,34	13,37	6,11	18,55	13,97	6,45	9,21		
Média raios		21,72 A				20,66 A				
Desv. Pad.		2,93				2,69				
C.V. (%)		13,50				13,02				
Média geral					21,14					
Desv. Pad.					2,82					
C.V. (%)					13,35					

Notas: Desv. Pad. – Desvio padrão; C. V. – Coeficiente de variação; E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio); Letras iguais na mesma linha para a média dos raios não diferem para o teste T-pareado ($p < 0,05$).

**Figura 42.** Variação radial da resistência à compressão paralela – Árvore 1 a 3

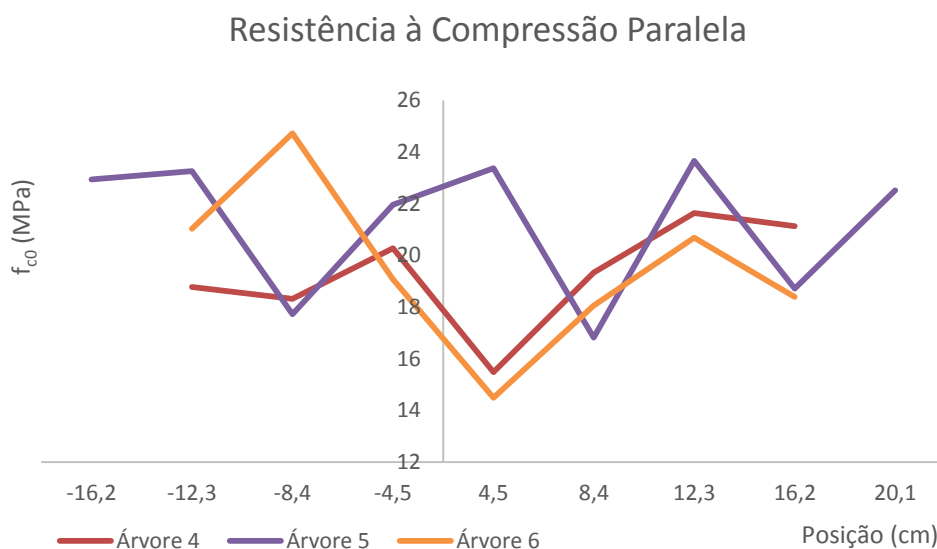


Figura 43. Variação radial da resistência à compressão paralela – Árvore 4 a 6

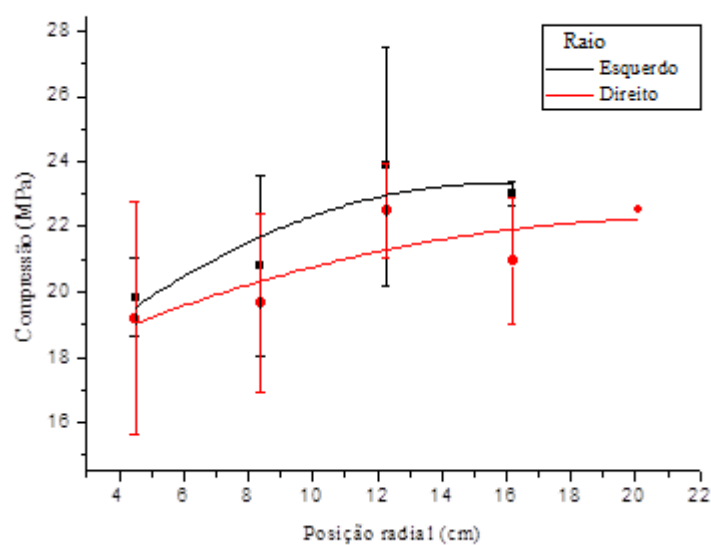


Figura 44. Curvas de regressão para as médias dos valores de compressão paralela às fibras das seis árvores de *Schizolobium parahyba* estudadas, e comparação entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), com dados dos respectivos desvios padrão.

5.5.2.2 Flexão estática (f_M e E_M)

A resistência à flexão variou de 27,94 MPa a 55,07 MPa, com média de 40,47MPa e coeficiente de variação de 15,46%, seguindo também um padrão de valores menores perto da medula, um aumento no centro do raio, e decréscimo próximo à casca (Tabela 35, Apêndice II(b), Figuras 45 e 46). O valor médio encontrado neste trabalho foi superior ao reportado por Trianoski (2010) de 34,0 MPa e próximo ao valor encontrado por Mainieri e Chimelo (1993) de 41,38.

O módulo de elasticidade médio das seis árvores foi de 5925 MPa, valor superior aos já reportados na literatura por Trianoski (2010) – 4501 MPa – e Mainieri e Chimelo (1993) – 4972 MPa. O coeficiente de variação para essa propriedade foi de 17,25% (Tabela 35), valor considerado médio para os valores obtidos nessa propriedade (GARCIA, 1989). Foi constatada igualdade estatística de resistências e rigidezes nos dois raios opostos do lenho.

A relação entre as resistências à tração paralela (Tabela 19) e à flexão estática (Tabela 35) foi de 0,90, valor bem próximo aos encontrados em trabalhos com diversas espécies e em normas de estruturas de madeira (Tabela 36). O valor encontrado explica-se pelo fato da resistência a tração paralela ser mais suscetível a defeitos internos das amostras, como desvios de fibra, por exemplo.

Tabela 35: Resistência e módulo de elasticidade à flexão estática de *Schizolobium parahyba*

Árvore	Resistência à flexão estática (MPa) 12%								
	Posição radial (cm)								
	-16,2	-12,3	-8,4	-4,5	4,5	8,4	12,3	16,2	20,1
1		55,07	37,39	35,92	28,98	37,21	50,26	48,04	
2	33,60	48,14	38,38	37,04	39,81	49,82	40,10	39,06	
3	50,16	49,41	47,05	36,27	40,39	42,24	42,13	44,76	
4		31,13	34,92	29,14	39,28	37,23	39,28	34,77	
5	41,17	44,46	36,11	37,64	35,91	43,29	46,26	35,84	50,38
6		47,61	41,08	36,28	27,94	39,83	42,47	38,43	
Média	41,64	45,97	39,16	35,38	35,39	41,60	43,42	40,15	50,38
Desv. Pad.	8,29	8,06	4,40	3,12	5,60	4,74	4,14	5,20	
C.V. (%)	19,91	17,53	11,25	8,82	15,81	11,39	9,53	12,95	
Média raios		40,38 A					40,55 A		
Desv. Pad.		6,92					5,79		
C.V. (%)		17,15					14,27		
Média geral					40,47				
Desv. Pad.					6,26				
C.V. (%)					15,46				

Árvore	Módulo de elasticidade à flexão estática (MPa) 12%								
	Posição radial (cm)								
	-16,2	-12,3	-8,4	-4,5	4,5	8,4	12,3	16,2	20,1
1		7.999	4.709	4.958	3.598	5.507	6.978	6.622	
2	5.553	6.666	5.170	4.763	5.136	6.925	6.164	6.295	
3	7.339	7.374	6.803	4.846	5.720	6.471	6.652	6.849	
4		4.947	4.926	3.933	5.556	5.375	6.048	5.465	
5	7.354	6.665	5.451	5.549	5.374	6.020	6.681	5.624	7.039
6		7.372	6.033	5.680	3.625	5.745	7.217	5.780	
Média	6748	6837	5515	4954	4834	6007	6623	6105	7039
Desv. Pad.	1035,50	1054,11	780,63	627,96	967,31	596,03	452,63	566,31	
C.V. (%)	15,34	15,42	14,15	12,67	20,01	9,92	6,83	9,27	
Média raios		5909 A					5938 A		
Desv. Pad.		1148,81					926,74		
C.V. (%)		19,44					15,61		
Média geral					5925				
Desv. Pad.					1022,18				
C.V. (%)					17,25				

Notas: Desv. Pad. – Desvio padrão; C. V. – Coeficiente de variação. E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio); *- Sem corpos de prova; f_M - Resistência à flexão estática; E_M - Módulo de elasticidade à flexão estática; Letras iguais na mesma linha para a média dos raios não diferem para o teste T-pareado ($p < 0,05$).

Tabela 36: Relação entre resistência à tração paralela às fibras (f_t) e a resistência convencional à flexão (f_M) de espécies folhosas e coníferas

Referência	Espécie	f_t	f_M	f_t/f_M
Este trabalho	<i>Schizolobium parahyba</i>	36,50	40,47	0,90
Melo(2010)	<i>Araucaria angustifolia</i> (araucária)	89,19	61,61	1,45
Lobão (2004)	<i>Eucalyptus grandis</i> (eucalipto)	84,50	78,00	1,08
Dias e Lahr(2004)	<i>Cedrela odorata</i> (Cedro-amargo)	59	62	0,95
	<i>Cedrela sp.</i> (Cedro-doce)	70	58	1,21
	<i>Cedrelinga catenaeformis</i> (Cedrorana)	62	61	1,02
	<i>Dipteryx odorata</i> (Champanhe)	122	165	0,74
	<i>Goupia glabra</i> (Cupiúba)	77	79	0,97
	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Garapa)	116	119	0,97
	<i>Qualea sp.</i> (Mandioqueira)	93	115	0,81
	<i>Erismia uncinatum</i> (Quarubarana)	58	67	0,87
	<i>Vataireopsis araroba</i> (Angelim-araroba)	70	75	0,93
	<i>Cassia ferrugina</i> (Canafistula)	85	89	0,96
	<i>Ocotea sp.</i> (Louro-preto)	68	85	0,80
	<i>Qualeia sp.</i> (Mandioqueira)	93	115	0,81
	<i>Vochysia sp.</i> (Rabo-de-arraia)	73	87	0,84
Almeida et al. (2013)	<i>Schizolobium amazonicum</i> (paricá)	40	50	0,80
Souza e Lahr (2014)	<i>Cedrella spp.</i> (cedro)	91	92	0,99
	<i>Vochysia máxima</i> (quaruba)	114	93	1,23
Leonello (2011)	<i>Hevea brasiliensis GT1</i> (seringueira)	76,45	84,47	0,91
	<i>Hevea brasiliensis RRIM 600</i> (seringueira)	70,92	80,34	0,88
		Média		0,96
		Desv. Pad		0,69
		C.V.		17,92
		Máximo		1,45
		Mínimo		0,74

Notas: Valores médios.

Desv. Pad. – Desvio padrão; C. V. – Coeficiente de variação; f_t – Resistência à tração paralela; f_M – Resistência à flexão.

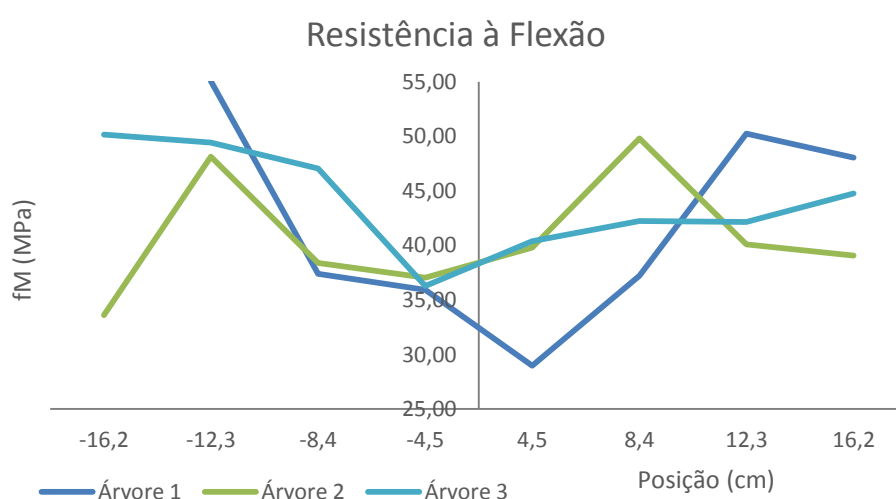
Os corpos de prova de flexão foram classificados segundo os tipos de ruptura sofridos seguindo os procedimentos propostos por ASTM D143-94 (ASTM, 2007) (Tabela 37). Com base nos tipos de ruptura, não foi necessário descartar os resultados de nenhum corpo de prova.

Tabela 37: Tipos de ruptura sofridos no ensaio de flexão estática

Árvore	Raio	C.P.	Caracterização		Raio	C.P.	Caracterização	
			Face tracionada	Lateral			Face tracionada	Lateral
1	1 - ESQUERDO	1E1	Brash tension	Simple tension	2 - DIREITO	1D1	Brash tension	Simple tension
		1E2	Splintering tension	Cross-grain tension		1D2	Splintering tension	Cross-grain tension
		1E3	Brash tension	Compression		1D3	Splintering tension	Cross-grain tension
		1E4	-	-		1D4	Splintering tension	Cross-grain tension
2		2E1	Brash tension	Simple tension		2D1	Splintering tension	Simple tension
		2E2	Brash tension	Compression		2D2	Brash tension	Cross-grain tension
		2E3	Splintering tension	Compression		2D3	Brash tension	Cross-grain tension
		2E4	Brash tension	Cross-grain tension		2D4	Brash tension	Compression
3		3E1	Brash tension	Simple tension		3D1	Brash tension	Compression
		3E2	Splintering tension	Cross-grain tension		3D2	Splintering tension	Cross-grain tension
		3E3	Splintering tension	Cross-grain tension		3D3	Brash tension	Compression
		3E4	Splintering tension	Compression		3D4	Splintering tension	Cross-grain tension
4		4E1	Brash tension	Simple tension		4D1	Brash tension	Simple tension
		4E2	Splintering tension	Cross-grain tension		4D2	Splintering tension	Cross-grain tension
		4E3	Splintering tension	Cross-grain tension		4D3	Brash tension	Cross-grain tension
		4E4	-	-		4D4	Splintering tension	Simple tension
5		5E1	Brash tension	Compression		5D1	Splintering tension	Cross-grain tension
		5E2	Splintering tension	Cross-grain tension		5D2	Brash tension	Cross-grain tension
		5E3	Splintering tension	Cross-grain tension		5D3	Splintering tension	Cross-grain tension
		5E4	Splintering tension	Cross-grain tension		5D4	Splintering tension	Simple tension
		5E5	-	-		5D5	Splintering tension	Cross-grain tension
6		6E1	Splintering tension	Simple tension		6D1	Brash tension	Simple tension
		6E2	Splintering tension	Simple tension		6D2	Brash tension	Simple tension
		6E3	Splintering tension	Compression		6D3	Splintering tension	Simple tension
		6E4	-	-		6D4	Splintering tension	Simple tension

Notas: E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio)

Notas: E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio)

**Figura 45.** Variação radial da resistência à flexão estática – Árvore 1 a 3

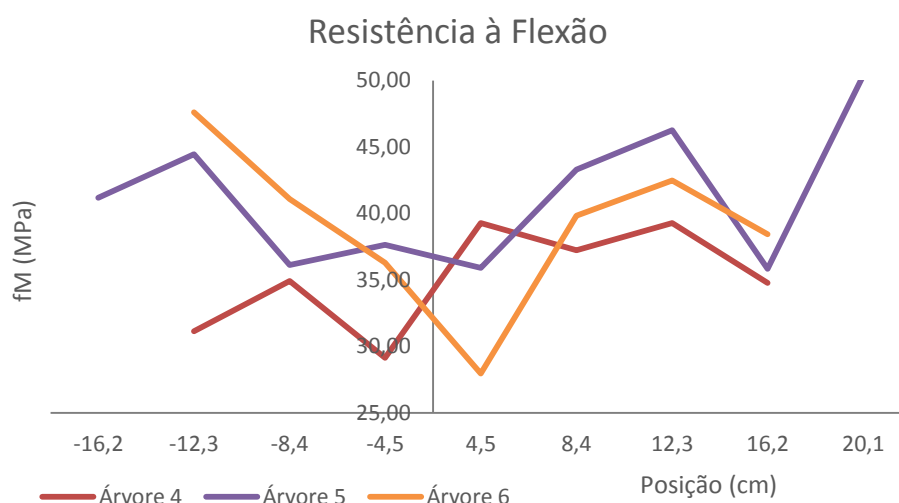


Figura 46. Variação radial da resistência à flexão estática – Árvore 4 a 6

As curvas de regressão sobrepostas para a resistência à flexão estática e seu módulo de elasticidade (Figura 47) nos dois raios opostos tiveram comportamento mais complexo, crescendo à partir da medula, com certa estabilização e nova fase crescente.

Como houve sobreposição dos desvios-padrão das resistências e módulos de elasticidade obtidos para as posições equivalente entre raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), pode-se dizer também que não houve diferença entre os raios para essas propriedades. Neste caso, a variabilidade no raio esquerdo (lenho oposto) foi maior em ambas as propriedades.

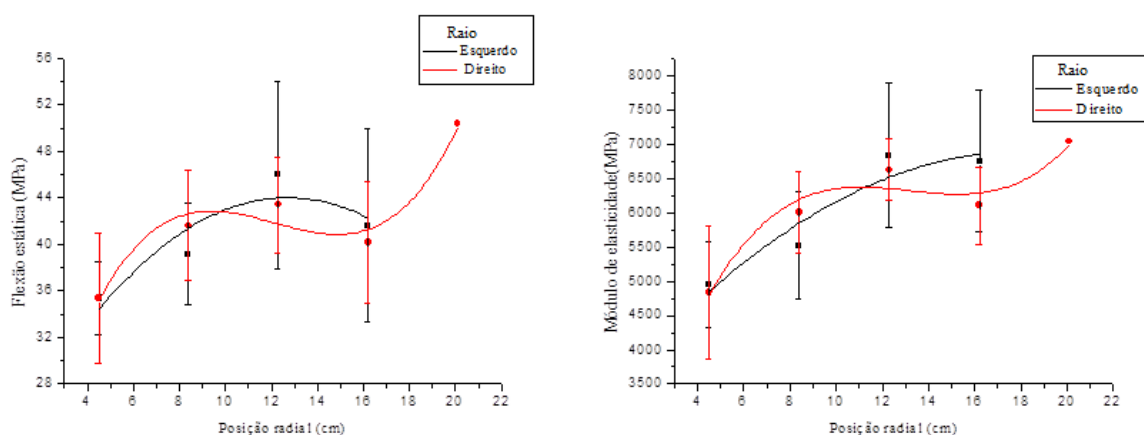


Figura 47. Curvas de regressão para as médias dos valores de flexão estática das seis árvores de *Schizolobium parahyba* estudadas, e comparação entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), com dados dos respectivos desvios padrão.

5.5.2.3 Dureza Janka (f_H)

Os valores variaram de 12,50 MPa a 29,40 MPa, com valor médio de 18,89MPa e coeficiente de variação de 19,33%, considerado médio pelo método de Garcia (1989), seguindo os mesmo padrões de variação encontrados para resistência à compressão paralela e resistência à flexão (Tabela 38). Não houve diferença estatística entre as durezas nos dois raios opostos.

Essas variações podem ser vistas nas Figuras 48 e 49. No Apêndice II(c) estão os relatórios dos ensaios.

Tabela 38: Resultados obtidos no ensaio de Dureza Janka de *Schizolobium parahyba*

Árvore	Dureza Janka (MPa)									
	Posição radial (cm)									
	-16,2	-12,3	-8,4	-4,5	4,5	8,4	12,3	16,2	20,1	
1		19,90	20,30	18,70	14,80	19,10	19,40	23,50		
2	17,10	21,10	17,70	12,60	12,50	15,10	17,40	20,96		
3	29,40	26,90	21,40	15,70	17,10	19,70	24,30	23,50		
4		19,50	14,70	13,20	15,40	18,30	17,40	19,20		
5	17,40	23,70	21,50	14,60	14,00	16,90	17,30	22,70	21,20	
6		23,30	21,70	16,00	16,30	17,00	19,90	19,20		
Média	21,30	22,40	19,55	15,13	15,02	17,68	19,28	21,51	21,20	
Desv. Pad.	7,02	2,80	2,81	2,20	1,65	1,69	2,71	2,02		
C.V. (%)	32,94	12,48	14,35	14,55	10,96	9,53	14,03	9,37		
Média raios	19,35 A				18,49 A					
Desv. Pad.	4,33				3,07					
C.V. (%)	22,38				16,63					
Média geral					18,89					
Desv. Pad.					3,65					
C.V. (%)					19,33					

Notas: Desv. Pad. – Desvio padrão; C. V. – Coeficiente de variação; E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio); *- Sem corpos de prova; Letras iguais na mesma linha para a média dos raios não diferem para o teste T-pareado ($p < 0,05$).

Na regressão obtida à partir dos resultados de dureza Janka (Figura 50) é evidente a maior variabilidade da propriedade no raio esquerdo das árvores (lenho oposto). O comportamento da dureza também é semelhante às outras propriedades analisadas neste item, seguindo padrão crescente da resistência no sentido medula-casca, seguido de estabilização. Também não há diferença entre as resistências nas posições equivalente para os raios direito e esquerdo visto que há sobreposição dos respectivos desvios-padrão.

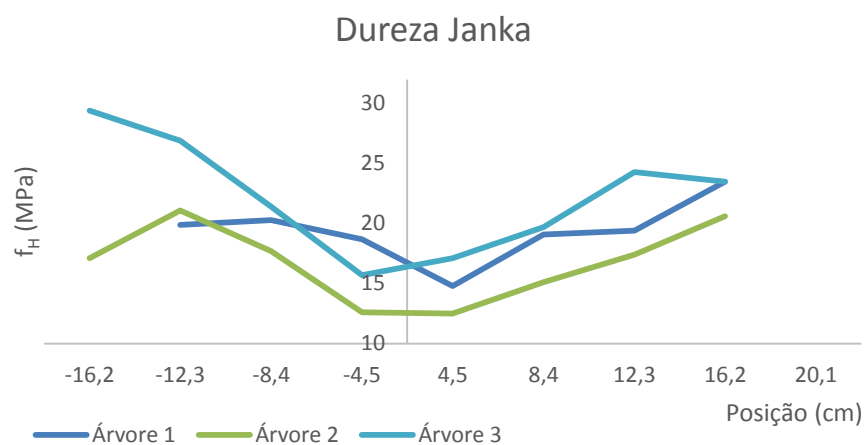


Figura 48. Variação radial da dureza Janka – Árvore 1 a 3

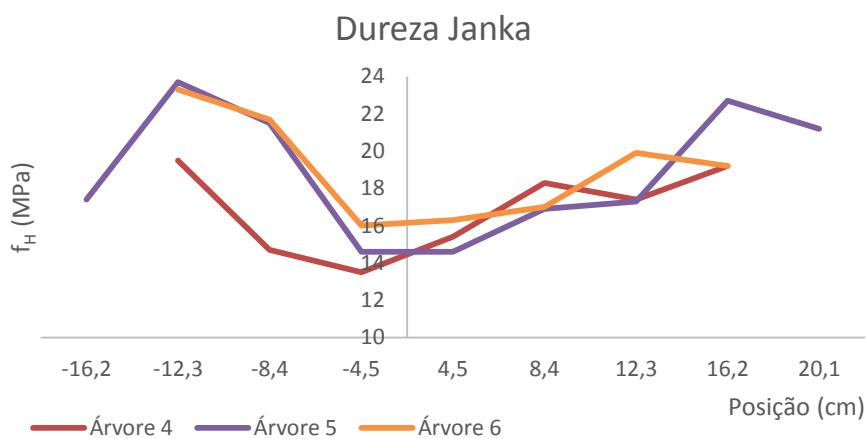


Figura 49. Variação radial da dureza Janka – Árvore 4 a 6

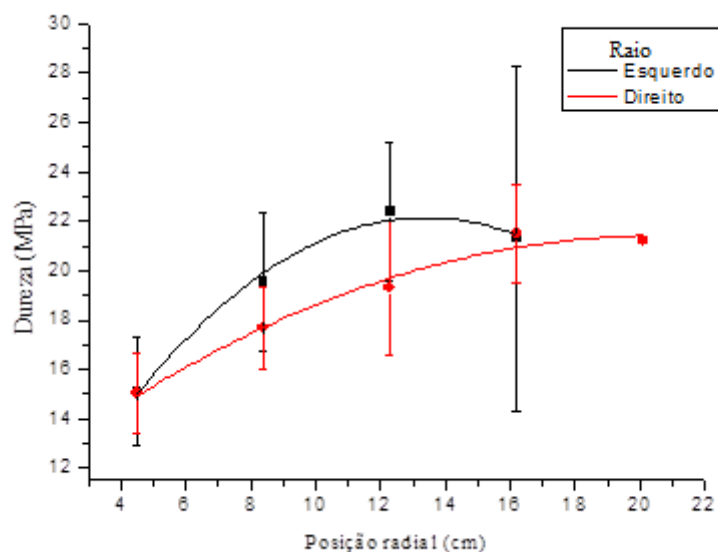


Figura 50. Curvas de regressão para as médias dos valores de dureza Janka das seis árvores de *Schizolobium parahyba* estudadas, e comparação entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto), com dados dos respectivos desvios padrão.

Ficou evidente que há influência qualitativa da juvenilidade nas propriedades mecânicas da madeira, visto que as resistências à compressão paralela, flexão estática e dureza Janka e o módulo de elasticidade à flexão foram sempre maiores na região de madeira adulta quando comparadas às da região de madeira juvenil (Tabela 39). O mesmo tipo de comparação não foi feito para as regiões de cerne e albúmeno pois como o último se limitou apenas aos anéis mais próximos à casca não foi possível a produção de corpos de prova dessa região.

Tabela 39: Valores médios de propriedades mecânicas nas regiões de madeira juvenil e adulta de *Schizolobium parahyba*

Propriedades mecânicas (MPa) em diferentes regiões do lenho (raio esquerdo)				
Propriedade	Madeira Juvenil (MPa)		Madeira adulta (MPa)	
Posição radial	-4,5	-8,4	-12,3	-16,2
Compressão Paralela	19,83	20,81	23,85	23,03
Flexão estática	35,38	39,16	45,97	41,64
Módulo elasticidade à Flexão	4.954	5.515	6.837	6.748
Dureza Janka	15,13	19,55	22,40	21,30

No entanto, não houve diferença estatisticamente significativa no teste T-pareado para as todas as propriedades mecânicas estudadas entre os raios de tração e oposto como retratibilidades, índices de anisotropia e desempenho, compressão paralela às fibras, flexão estática, módulo de elasticidade à flexão e dureza Janka, como visto nas Tabelas 31, 34, 35, e 38, respectivamente. Todas essas constatações atestam a alta homogeneidade da madeira de *Schizolobium parahyba*.

A Tabela 40 sumariza todos os resultados obtidos no presente trabalho.

Tabela 40: Compilação dos resultados obtidos nos ensaios físicos, mecânicos e de qualidade da madeira de *Schizolobium parahyba*

[illegible]

Tabela 40: Compilação dos resultados obtidos nos ensaios físicos, mecânicos e de qualidade da madeira de *Schizolobium parahyba* (continuação)

Amostra	ρ_b	ρ_{12}	Estabilidade dimensional			Qualidade da madeira				Propriedades mecânicas							
			Var. Vol.	Anisot.	Desemp.	f_{c0}	f_M	E_M	f_H	E_{c0}	f_{c0}	E_{t0}	f_{t0}	f_{v0}	E_{c90}	f_{c90}	f_{t90}
Árvore 5	277	291	10,53	3,002	3,34	23,38	35,91	5374	14,6	5907	23,99	6402	27,11	5,43	461	2,30	3,36
						16,82	43,29	6020	16,9	6629	22,65	6094	40,98	6,13	*	*	3,15
						23,66	46,26	6681	17,3	*	*	*	*	*	*	*	*
						18,72	35,84	5624	22,7	*	*	*	*	*	*	*	*
						22,52	50,38	7039	21,2	*	*	*	*	*	*	*	*
						21,97	37,64	5549	14,6	5572	22,12	*	**	5,24	457	2,12	3,22
						17,72	36,11	5451	21,5	6331	23,50	6783	45,78	5,29	*	*	3,89
						23,26	44,46	6665	23,7	*	*	*	*	*	*	*	*
						22,94	41,17	7354	17,4	*	*	*	*	*	*	*	*
Árvore 6	256	349	14,31	2,508	2,93	14,49	27,94	3625	16,3	5318	22,03	4184	18,59	5,54	371	2,13	3,35
						18,06	39,83	5745	17,0	6902	26,83	6539	33,07	5,59	*	*	3,38
						20,68	42,47	7217	19,9	*	*	*	*	*	*	*	*
						18,40	38,43	5780	19,2	*	*	*	*	*	*	*	*
						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						19,07	36,28	5680	16,0	5454	23,01	5627	27,04	5,60	532	2,38	3,10
						24,72	41,08	6033	21,7	6175	21,50	*	**	5,01	*	*	1,98
						21,03	47,61	7372	23,3	*	*	*	*	*	*	*	*
						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mínimo	256	291	9,78	2,508	2,93	14,49	27,94	3598	12,50	4532	17,27	4184	18,59	3,68	257	2,12	1,98
Máximo	321	388	14,31	3,002	4,02	28,99	55,04	7999	29,40	6902	26,83	7574	50,45	7,62	901	3,34	4,65
Média	290	336	11,2	2,825	3,45	21,14	40,47	5925	18,89	5728	22,81	6172	36,50	5,35	497	2,46	3,55
Desvio Padrão	28,85	34,74	1,6	0,185	0,36	2,82	6,26	1022,1	3,65	718	2,12	981	8,35	0,67	172	0,33	0,65
Coef. de Variação	9,96	10,34	14,3	6,799	10,47	13,35	15,46	17,25	19,33	12,54	8,61	15,89	22,88	12,50	34,55	13,36	18,16
Resistência Carac.	-	-	-	-	-	22,91	34,64	-	14,37	-	21,47	-	23,12	5,07	-	2,36	3,02
Quant. de C.P.	6	6	45	45	45	46	46	46	46	24	24	20	20	24	12	12	24

Notas – E – Raio esquerdo (menor raio); D – Raio direito (maior raio).

ρ – densidade (g/cm³); Var. vol. – Variação volumétrica (%); Anisot. – Anisotropia; Desemp. – Desempenho; f_{c0} – Resistência à compressão paralela às fibras (MPa); f_M – Resistência à Flexão estática (MPa); E_M – Módulo de elasticidade na flexão estática (MPa); f_H – Dureza Janka (MPa); f_{t0} – Resistência à tração paralela às fibras (MPa); E_{t0} – Módulo de Elasticidade à tração paralela; f_{v0} – Resistência ao cisalhamento (MPa); E_{c90} – Módulo de elasticidade à compressão normal; f_{c90} – Resistência à compressão normal às fibras (MPa); f_{t90} – Resistência à tração normal às fibras; Coef. De Variação – Coeficiente de Variação (%); Resistência Carac. – Resistência Característica (MPa); Quant. De C.P. – Quantidade de corpos de prova

*- Sem corpo de prova (Árvores com menor número de corpos de prova) ** - Corpos de prova descartados

5.6 Classificação e destinação final da madeira de guapuruvu

As Tabelas 41 a 45 apresentam os critérios de classificação propostos pelos autores citados na revisão bibliográfica com destaque (sombreado) para o enquadramento do *Schizolobium parahyba*.

Tabela 41: Classificação da madeira de *Schizolobium parahyba* com base nos critérios propostos por Araújo (2002)

	Muito Baixa	Baixa	Regular	Alta	Muito Alta
Densidade básica kg/m ³	Até 360	de 370 a 530	de 540 a 710	de 720 a 880	> 890

Notas: Sombreado – classe em que *Schizolobium parahyba* foi posicionado

Tabela 42: Classificação da madeira de *Schizolobium parahyba* com base nos critérios propostos IPT (1990?)

	Muito Baixa	Baixa	Regular	Alta	Muito Alta
Densidade aparente kg/m ³	Até 400	de 400 a 550	de 550 a 750	de 750 a 950	> 950
Contração radial (%)	Até 3,51		de 3,52 a 5,59		> 5,60
Contração tangencial (%)	Até 7,43		de 7,44 a 11,93		> 11,94
Contração volumétrica (%)	Até 12,32		de 12,33 a 19,39		> 19,40
Flexão (f _M) (MPa)	Até 85,90		de 86,00 a 131,40		> 131,50
Compressão paralela (f _{c0}) (MPa)	Até 42,85		de 42,95 a 65,50		> 65,60

Notas: Sombreado – classe em que *Schizolobium parahyba* foi posicionado

Tabela 43: Classificação da madeira de *Schizolobium parahyba* com base nos critérios propostos Nahuz (1974) *apud* NOGUEIRA (1991) e BORTOLETTO(1993)

	Muito Baixa	Baixa	Regular	Alta	Muito Alta
Contração radial (%)	Até 1,5	de 1,6 a 2,5	de 2,6 a 4,5	de 4,6 a 6,5	> 6,6
Contração tangencial (%)	Até 3,0	de 3,1 a 5,0	de 5,1 a 9,0	de 9,1 a 13,0	> 13,0
Contração volumétrica (%)	Até 4,5	de 4,6 a 7,5	de 7,6 a 13,5	de 13,6 a 19,5	> 19,6
Dureza Janka (f _H) (MPa)	Até 10,0	de 10,01 a 40,0	de 40,01 a 90,0	de 90,01 a 140,0	> 140,0
Módulo de elasticidade à flexão (E _M) (MPa)	Até 10.000	de 10.001 a 12.000	de 12.001 a 15.000	de 15.001 a 20.000	> 20.001
Compressão paralela (f _{c0}) (MPa)	Até 20,0	de 20,1 a 35,0	de 36,0 a 55,0	de 56,0 a 85,0	> 85,1
Cisalhamento (f _{v0}) (MPa)	Até 5,0	de 5,1 a 10,0	de 11,0 a 15,0	de 16,0 a 20,0	> 20,1

Notas: Sombreado – classe em que *Schizolobium parahyba* foi posicionado

Tabela 44: Classificação da madeira de *Schizolobium parahyba* com base nos critérios propostos Sallenave (1955) *apud* NOGUEIRA (1991) e BORTOLETTO(1993)

	Muito Baixa	Baixa	Regular	Alta	Muito Alta
Densidade aparente kg/m ³	Até 400	de 400 a 490	de 500 a 590	de 600 a 700	> 700
Contração radial (%)	Até 4		de 4 a 7		> 7
Contração tangencial (%)	Até 7		de 7 a 11		> 11
Contração volumétrica (%)	Até 10		de 10 a 15		> 15
Dureza Janka (f_H) (MPa)	De 2,7 a 20,4	de 20,5 a 40,9	de 41,0 a 81,7	de 81,8 a 122,6	de 122,7 a 272,4
Cota de dureza (CD)*	De 408 a 817		de 817 a 1226		de 1226 a 1634
Flexão (f_M) (MPa)	Até 110		de 110 a 180		> 180,1
Tração normal (f_{t90}) (MPa)	De 1,0 a 2,5		de 2,6 a 4,5		de 4,6 a 6,5
Compressão paralela (f_{c0}) (MPa)	Até 35,0		de 35,0 a 45,0		> 45,0
Cisalhamento (f_{v0}) (MPa)	De 5,0 a 7,0		de 7,1 a 10,0		de 10,1 a 16,0

Notas: Sombreado – classe em que *Schizolobium parahyba* foi posicionado

Tabela 45: Classificação da madeira de *Schizolobium parahyba* com base nos critérios propostos Nogueira (1991)

	Baixa	Regular	Alta
Tração paralela (f_{t0}) (MPa)	Até 75,0	de 75,0 a 100,0	> 100,0
Módulo de elasticidade à tração paralela (E_{t0}) (MPa)	Até 16.000	de 16.000 a 20.000	> 20.000
Módulo de elasticidade à compressão paralela (E_{c0}) (MPa)	De 10.000 a 15.000	de 15.000 a 18.000	> 18.000
Módulo de elasticidade à compressão normal (E_{c90}) (MPa)	Até 440	de 450 a 630	> 630
Compressão normal (f_{c90}) (MPa)	Até 4,5	de 4,6 a 6,3	> 6,4

Notas: Sombreado – classe em que *Schizolobium parahyba* foi posicionado

* Classes definidas nesse trabalho a partir das resistências e classificações dadas à espécies de *Eucalyptus sp.* no trabalho de Nogueira (1991)

Nogueira (1991) sugere também em seu trabalho uma forma de classificação final para se obter uma perfeita aplicação das madeiras considerando-se os requisitos básicos de cada uso em relação às propriedades físicas, de resistência e de elasticidade da madeira. Usando os critérios de Sallenave (1955 *apud* NOGUEIRA, 1991), complementados pelos de Nahuz (1974 *apud* NOGUEIRA, 1991) e Nogueira (1991) adotou-se as propriedades listadas na Tabela 46, com as respectivas simbologias e pontuações:

- B – Propriedades com desempenho muito baixo a baixo – 1 ponto
- R – Propriedades com desempenho regular – 3 pontos
- A - Propriedades com desempenho alto ou muito alto – 5 pontos

A Tabela 46 mostra a pontuação recebida pelo guapuruvu para cada uma das propriedades de resistência e de elasticidade e o somatório com respectiva classificação final da madeira, com base nos critérios propostos:

- Para a resistência: Somatório até 16 – Baixa
Somatório de 17 a 23 – Média
Somatório de 24 a 30 – Alta
- Para a elasticidade: Somatório até 7 – Baixa
Somatório de 8 a 13 – Média
Somatório de 14 a 20 – Alta

Tabela 46: Classificação segundo Nogueira (1991)

Resistência			Elasticidade		
Propriedade	Classificação	Pontuação	Propriedade	Classificação	Pontuação
f_M	B	1			
f_{c0}	B	1	E_M	B	1
f_{c90}	B	1	E_{c0}	B	1
f_{t0}	B	1	E_{c90}	M	3
f_{t90}	M	3	E_{t0}	B	1
f_{v0}	B	1			
Classificação final	Baixa	8		Baixa	6

Apesar da baixa classificação final da madeira de guapuruvu, ela apresenta alta relação entre propriedades mecânicas e densidade aparente. Este fato evidencia bom desempenho relativo a outras espécies, apesar da leveza do seu lenho, como mostrado nos resultados da Tabela 47.

Tabela 47: Relação propriedades mecânicas e densidade aparente de espécies de *Eucalyptus* spp. e *Schizolobium parahyba*

	ρ_{12} (kg/m ³)	$f_{c0/p12}$	$f_{c90/p12}$	$f_{t0/p12}$	$f_{t90/p12}$	$f_{v0/p12}$	$f_{M/p12}$	$f_{H/p12}$	$E_{c0/p12}$	$E_{t0/p12}$	$E_{M/p12}$
		Valor característico (MPa)							Média (MPa)		
<i>E. Microcorys</i>	930	0,047	0,005	0,095	0,004	0,013	0,093	0,528	18,388	22,500	18,273
<i>E. Maculata</i>	950	0,053	0,007	0,100	0,004	0,014	0,089	0,093	18,613	19,820	17,910
<i>E. Propínqua</i>	960	0,043	0,006	0,086	0,004	0,012	0,094	0,069	15,934	18,396	15,654
<i>E. Paniculata</i>	1090	0,048	0,006	0,094	0,004	0,014	0,090	0,096	20,590	21,340	18,439
<i>E. Citriodora</i>	1000	0,054	0,005	0,112	0,004	0,015	0,107	0,099	17,764	21,461	18,944
<i>E. Grandis</i>	630	0,052	0,006	0,105	0,004	0,015	0,100	0,063	19,764	22,690	18,814
<i>E. Umbra</i>	890	0,050	0,006	0,100	0,001	0,014	0,086	0,094	16,062	171,684	15,769
<i>E. Punctata</i>	950	0,050	0,004	0,108	0,004	0,015	0,092	0,090	19,940	22,066	19,836
<i>E. Tereticornis</i>	900	0,049	0,005	0,089	0,003	0,014	0,088	0,075	18,834	20,167	19,030
<i>E. Urophylla</i>	740	0,047	0,006	0,104	0,004	0,014	0,094	0,065	17,747	20,385	17,780
<i>E. Camaldulensis</i>	900	0,042	0,004	0,073	0,004	0,013	0,081	0,067	14,477	18,906	16,217
<i>E. Triantha</i>	760	0,053	0,002	0,111	0,004	0,016	0,112	0,098	18,861	20,055	20,657
<i>E. Maidene</i>	920	0,047	0,002	0,100	0,004	0,012	0,098	0,080	15,383	20,181	17,081
<i>E. Saligna</i>	730	0,051	0,006	0,100	0,004	0,014	0,100	0,069	20,501	21,469	17,884
<i>E. Cloeziana</i>	920	0,046	0,006	0,106	0,005	0,014	0,081	0,071	14,883	17,063	14,098
<i>E. Alba</i>	710	0,046	0,006	0,088	0,004	0,014	0,094	0,054	18,521	23,324	18,241
<i>Schizolobium parahyba</i>	336	0,068	0,007	0,106	0,011	0,016	0,120	0,056	17,048	18,149	17,634
Média	842,118	0,050	0,005	0,099	0,004	0,014	0,095	0,104	17,842	29,391	17,780

Fonte: Nogueira (1991) complementado pelo autor. 2014.

Nogueira (1991) e Zenid (1997) citam os trabalhos de Nahuz (1974), Sudam/IPT (1981) e IPT (1989), que classificaram as principais madeiras usadas na construção civil a partir dos requisitos técnicos para cada aplicação. A partir dessas classificações, é possível dizer que a madeira de guapuruvu está apta para aplicação em algumas das categorias por eles estabelecidas, que são: construção civil leve (interna estrutural e interna de utilidade geral), construção civil leve externa, uso temporário e chapas compensadas. Na categoria construção civil leve interna decorativa estão os lambris, painéis, molduras e perfilados, guarnições, entre outros. Segundo os autores, madeiras destinadas para este fim possuem retratibilidade baixa e acabamento regular a bom. A secagem deve ser moderada a fácil e deve possuir boa aparência e cor.

Nas categorias de construção civil leve externa e de uso temporário está a madeira serrada na forma de tábuas e pontalotes empregados em usos temporários como os andaimes, escoramento e fôrmas para concreto e as ripas e caibros utilizadas em partes secundárias de estruturas de cobertura.

Já na categoria de painéis, a madeira deve ter densidade e dureza baixas a muito baixas e boa colagem. Características que são típicas dessa madeira porosa e

leve. Espécies dessa categoria são usadas em partes internas de móveis, armários, forros, divisórias e outros usos gerais.

Para todos esses usos deve ser observada a conservação da madeira e sua susceptibilidade ao ataque de insetos, visto que as partes do lenho descartadas deste trabalho, mesmo tendo passado por um tratamento superficial profilático, sofreu ataque do inseto *Lyctus ssp.*.

Como já relatado por Nisgoski et al. (2012), as fibras da espécie possuem dimensões adequadas para uso na produção de papel e celulose. Parte dessas dimensões foram avaliadas também neste trabalho com resultados pouco superiores.

6. CONCLUSÕES

Como respostas às perguntas formuladas e assumidas como objetivos da pesquisa tem- que:

- a. a madeira foi enquadrada na classe C20 - eudicotiledôneas de resistência mecânica – a menor das classes de resistência para uso estrutural da madeira - com resistência característica à compressão superior a 20 MPa;
- b. a juvenilidade da madeira tem influência nas propriedades mecânicas do lenho; as resistências e rigidezes à flexão avaliadas foram sempre numericamente superiores na região de madeira adulta;
- c. a baixa densidade aparente da madeira de guapuruvu em relação a outras espécies florestais (cerca de metade da densidade aparente referencial para essa classe de resistência) não significou, na mesma medida, uma baixa resistência mecânica;
- d. a madeira de guapuruvu apresentou alta relação entre propriedades mecânicas e densidade aparente. Essa relação, normalmente assumida como índice relativo de qualidade entre espécies florestais, evidenciou, para a espécie, um desempenho superior;
- e. a madeira de guapuruvu apresentou elevada homogeneidade; de modo geral não houve diferenciação de desempenho nos dois raios do lenho (lenho de tração e lenho oposto).

Assim, considerando-se o enquadramento estrutural obtido e a elevada homogeneidade, pode-se afirmar que a madeira de guapuruvu proveniente de plantios mistos de áreas de recuperação florestal com pouca idade (cerca de 15 anos) tem potencial tecnológico, podendo ser destinada comercialmente para a construção civil leve

(esquadrias, interna estrutural e interna de utilidade geral), construção civil leve externa, uso temporário e chapas compensadas.

Pode-se ainda afirmar que:

- O guapuruvu apresentou densidade aparente de 336 kg/m³ e densidade básica de 290 kg/m³;
- As resistências e rigidezes do guapuruvu se enquadraram na classe C20 - eudicotiledôneas, com baixos valores próximos aos limites mínimos dos referenciais teóricos sugeridos pela NBR 7190;
- Na classificação final, o guapuruvu obteve pontuação baixa para as resistências e rigidezes; quando essas propriedades são apresentadas por meio da relação entre elas e a densidade aparente da madeira - valor usado como índice de qualidade da madeira - a espécie possui resultados superiores aos de outras espécies comerciais;
- A madeira apresentou elevada retratibilidade, explicada pela presença de madeira de tração nas árvores – associada normalmente a elevada instabilidade dimensional - e pela pouca idade do plantio; a maioria dos valores encontrados para o guapuruvu foram melhores que os relatados na bibliografia para as espécies de eucaliptos, cedrinho e quaruba;
- Foi constatada cernificação nos primeiros nove a 10 anéis de crescimento, com uma faixa de transição de dois a três anéis e alborno nos três a quatro últimos anéis anuais;
- A densidade aparente ponderada - densitometria de raios X - apresentou valores menores na região de cerne, valores intermediários na região de transição e os maiores valores na região de alborno; análise semelhante permitiu constatar valores menores na região da madeira juvenil e os maiores valores na região da madeira adulta;
- Foi determinada a presença de madeira juvenil até o anel seis, com região de transição nos anéis sete e oito e madeira adulta do anel nove ao anel 15. Para as cinco árvores que permitiram essas definições, a região de madeira juvenil representou aproximadamente 50% do raio;
- As propriedades apresentaram coeficientes de variação baixos a médios, mostrando a homogeneidade da madeira;

- Os valores médios de cada propriedade física e mecânica estudada (densidade aparente, dureza Janka, retratibilidades, índice de anisotropia, desempenho, resistência à compressão paralela, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade à flexão estática) encontrados para cada raio das árvores (lenhos de tração e oposto) não diferiram estatisticamente para o teste T-variado - apesar da presença de lenho de tração - evidenciando a homogeneidade da madeira;
- O padrão de variação radial da maioria das propriedades analisadas pelas curvas de regressão foi semelhante: crescimento inicial no sentido medula-casca, seguido por uma tendência de estabilização dos valores ou certo declínio;
- A comparação das propriedades físicas e mecânicas nas posições radiais equivalentes entre os raios direito (lenho de tração) e esquerdo (lenho oposto) evidenciou sobreposições dos desvios-padrão, sugerindo que não houve diferença entre o comportamento de um raio para o outro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-GADIR, A. Y.; KRAHMER, R. L. Variation in the age of demarcation between juvenile and mature wood in *Douglas-fir*. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 25, n. 4, p. 384-394, out. 1993.

ALMEIDA, D H.; CALIL JUNIOR, C.; SCALIANTE, R. M.; MACEDO, L. B.; MACEDO, A. N.; DIAS, A. A.; CHRISTOFORO, A. L. Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá em peças de dimensões estruturais. **Revista Árvore**, v. 37, n.6, p. 1175-1181, Viçosa, 2013.

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.

AMARAL, A .C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios-x em madeira**. Piracicaba. 1994. 109f. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo).

AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 11/12, n. 6, p. 17-23, 1998.

ANDRADE, A. M. de; CARVALHO, L. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 24-42, 1998.

APEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELO-GUERREIRO, S.M. **Anatomia vegetal**. 2ªed; Viçosa: UFV, 2006.

ARAUJO, H. J. B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por**

similaridade das propriedades físicas e mecânicas. Piracicaba, 2002. 168 p. Dissertação (Mestre em Recursos Florestais). ESALQ-USP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190/97:** projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF ano base 2012.** Brasília, DF: ABRAF, 2013.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D143-94 (2007). **Standard test methods for small clear specimens of timber.** West Conshohocken, 2007 Reapproved, PA.

ATHANÁZIO-HELIODORO, J. C.; BALLARIN, A. V.; PALMA, H. A. L.; MADRUGA, M. V.; BASTON, R.R. **Desempenho físico e mecânico de painéis LVL de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (vell.) blake).** XXVI CIC UNESP. Botucatu. 2014.

BAMBER, R.K. Heartwood, its function and formation. **Wood Science and Technology**, Monona, v. 10, n. 1, p. 1-8, 1976.

BARBOSA, Luiz Mauro. *et al.* Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista. In: **Curso de capacitação e atualização em recuperação de áreas degradadas (RAD) com ênfase em matas ciliares do interior paulista**, 2006, Guaratinguetá - SP. Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista. São Paulo: Fapesp, 2006. p.1-129.

BENDTSEN, B. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, Madison, v. 28, n. 10, p. 61-72, 1978.

BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis*.** 2006. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

BERTHIER, S., KOKUTSE, A., STOKES, A. Irregular heartwood formation in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.): consequences for biomechanical and hydraulic tree functioning. **Annals of Botany**, Oxford, v.87, p.10–25, 2001.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B.; RUGMINI, P. Characterization of juvenile wood in teak. **Wood Science and Technology**; 34:517-532. 2001.

BIANCHETTI, A; RAMOS, A. Quebra de dormência de sementes de guapuruvu (*Schizolobium parahyba*(Vell.) Blake). **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 3, p. 69- 76, 1981, Colombo.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites.** 2. Ed. Malabar: Krieger Publish Company, 1993. 712 p.

BORTOLETO JUNIOR, G. BELINI, Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, v. 9, n.1, p. 16-28, 2002.

BORTOLETO JUNIOR, G. **Indicações para utilização da madeira de seis espécies e variedades de pinus aplicada na construção civil**. São Carlos, 1993. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

BROWN, M. J.; McWILLIAMS, W. H. Pine stands across the South - trends and projections. In: SOUTHERN PLANTATION WOOD QUALITY WORKSHOP, 1989, Athens, GA. **Proceedings...** Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, 1990. p. 1-15.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley, 1963. 689 p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CALLADO, C. H.; GUIMARÃES, R. C. Estudo dos anéis de crescimento de *Schizolobium parahyba* (Leguminosae: Caesalpinioideae) após episódio de mortalidade em Ilha Grande, Rio de Janeiro. **Revista Brasil. Bot.**, v. 33, n. 1, p. 85 – 91, 2010.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSI, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 113-121, ago. 2005.

CARDOSO, C C.; MOUTINHO, V. H. P.; MELO, L. O.; SOUZA, L. K. V. S.; SOUZA, M. R. Caracterização físico-mecânica de madeiras amazônicas com aptidão tecnológica para comercialização. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, n.3, p. 176-183, Santarém, 2012.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras: recomendações silviculturais de espécies florestais**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 2003.

CARVALHO, P. E. R. Guapuruvu, **Circular Técnica**, 104, Embrapa Florestas, 2005, 10 p.

CHEADLE, V.I. Secondary growth by means of a thickening ring in certain monocotyledons. **Botanical Gazette** 98:535-555. 1937.

COELHO A. *et al.* Influência de substratos na formação de mudas de guapuruvu (*Schizolobium parahyba*(Vell.) Blake) **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 2, p. 149-152, 2006.

CORADIN, V. T. R.; MUÑIZ, G. I. **Normas e procedimentos em estudos de anatomia de madeira: (I) angiospermae, (II) gymnospermae**. Brasília: IBAMA, 1992. 17p. (Série Técnica, 15).

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*. **Revista Scientia Forestalis**, n.64, p.33-47, 2003.

DIAS, F. M.; LAHR, A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, n.65, p.102-113, 2004.

DINWOODIE, J. M. The relationship between fiber morphology and paper properties, A Review of Literature, **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**, Atlanta, v.48, n.8, p. 440-447, 1965.

DU, S.; YAMAMOTO, F. An overview of the biology of reaction wood formation. **Journal of Integrative Plant Biology**. v. 49, n. 2, p. 131 – 141. Japan. 2007.

ECKBLAD, J.W. How many samples should be taken. **Bio Science** **41**: 346-348. 1991.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Restauração de Ecossistemas Florestais. **Agroecologia Hoje**, p. 22-23, ago-set 2000.

ENGINEERED WOOD SYSTEMS EWS. PRL-501: **Performance standard for APAEWS laminated veneer lumber**. Tacoma, 2000. 6p.

EVANS, J. L. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, Madison, v.50, n.7/8, p. 75-87, 2000.

EVERT, R.F. **Esau's Plant Anatomy**, 3a. ed. Wiley-Interscience, new Jersey. 2006.

FAO. **Situación de los bosques del mundo 2011**. Roma, 2011. 176 p.

FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. **Eucalyptus online book**; 1997. 11p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Washington : U. S. Government Printing Office, 466 p. 1987.

FRANCO, M. P. **Efeito da substituição do potássio pelo sódio em árvores de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden, visando a expansão das plantações florestais sob condições de estresse hídrico**. Piracicaba, 2014. 199 p. Dissertação (Mestre em Recursos Florestais). ESALQ-USP.

FREESE, F. Elementary statistical methods for foresters. **Agriculture Handbook 317**. USDA Forest Service, Washington. 87p. 1967.

GALLAY, W. The interdependence of paper properties, in F. Bolam (ed), "The formation and structure of paper", Technical Section, **British Paper and Board Makers' Association**, United kingdom, v. 1, p. 491-531, 1962.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. **Circular técnica nº 171**. IPEF. 1989.

GARDINER, B.; BARNETT, J.; SARANPÄÄ, P.; GRIL, J. (EDS.). **The biology of reaction wood**. 274 p. Springer Series in Wood Sciences, 2014.

GONÇALVES, F. G. *et al.* Parâmetros dendrométricos e correlações com as propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 947-959, 2010.

HASELEIN, C.R.; LOPES, M.C.; SANTINI, E.J.; LONGHI, 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.

HEINRICH, I.; GÄRTNERT, H. Variations in tension wood broad-leaved tree species in response to different mechanical treatments: implications for dendrochronology and mass movement studies. **International Journal of Plant Sciences**. v. 169 (7), p. 928-936. 2008.

JIN, H.; KWON, M. Mechanical bending induces tension wood formation with reduced lignin biosynthesis in *Liriodendron tulipifera*. **Journal of Wood Science**. v. 55. (6). p. 401-408. 2009

HELLMEISTER, J.C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. São Carlos, 1982. 119p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

HOADLEY, R. B. **Understanding wood: a craftman's guide to wood technology**. Newton: Tauton, 280 p. 2000.

IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for wood identification. **IAWA Bulletin**, Oakland, v. 10, n. 3, p. 226-332, 1989.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Anuário Estatístico**. Ano base 2013. 100 p. 2014.

IM, K. H.; COSGROVE, D. J.; JONES, A. M. Subcellular localization of expansin mRNA in xylem cells. **Plant Physiol** 123: 463–470. 2000.

INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto Madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF-UFPR, 1984. 260p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília: IBAMA-LPF, 1997. 152p.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA – IMAZON. – PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém – PA. 124 p. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. – ZENID, G. J. **Uso Sustentável na Construção civil**. Piracicaba: 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Tabela de classificação das propriedades físicas e mecânicas da madeira**. São Paulo, [1990?]. Não publicado.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PINTO, J. F.; VIANA, L. C.; SOUZA, M. M.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Produção de painéis laminados unidirecionais – LVL

com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* E *Pinus taeda*. **Revista Cerne**. Lavras, MG. v. 16, n. 4, p. 557-563, out./dez. 2010.

JANKOWSKY, I.P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, v.81, p. 1-18, 1979.

JANKOWSKY, I.P.; CHIMELO, J.P.; CAVANCANTE, A. de A.; GALINA, I.C.M.; NAGAMURA, J.C.S. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172p.

KALIL FILHO N.A. *et al.* Espécies recomendadas para a restauração da Mata Atlântica. In: GALVÃO A.P.M. & MEDEIROS A.C.S. (eds). **Restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Embrapa, Colombo PR. 2002.

KOLLMANN, F. R.; COTÊ. W. A. Principles of Wood Science and tecnologia. Berlin, **Springer-Verlag**. 592p. 1968.

KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madeira y sus aplicaciones**. Madrid, Gráficas Reunidas S.A., 1959. 674p.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos e morfologia vegetal**. Seropédia, RJ. 1997.

KRETSCHMANN, D. E. The influence of juvenile wood content on shear parallel, compression, and tension perpendicular to grain strength and mode I fracture toughness of loblolly pine at various ring orientation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 58, n. 7/8, p. 89-96, 2008.

LARA PALMA, H. A.; LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, Lavras, n. 16, p. 141-148, jul. 2010.

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.

LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D. E.; CLARK, A.; ISEBRANDS, J. G. Formation and properties of juvenil wood in Southern pines. **Forest service**; 46 p. 2001.

LEONELLO, E. C. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de árvores de *Hevea brasiliensis* em três condições de sanidade no estado de São Paulo**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, Botucatu. 2011.

LIMA, J. P C.; MELLO FILHO, J. A.; FREIRE, L. R.; VIEIRA, F. Absorção de nitrogênio para *Schizolobium parahyba*(Vell.) Blake, em fase de viveiro em três ambientes. **Floresta e Ambiente**, v.7, n. 1, p. 11-18, 2000.

LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm**. 1996. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

LOBÃO, M. S.; COSTA, D. P.; ALMONACID, M. A. A.; TOMAZELLO FILHO, M. Qualidade do Lenho de Árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.

LOBÃO, M. S.; LUCIA, R. M. D.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de Eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v. 28, n.6, p. 889-894, Viçosa, 2004.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de Cedrela odorata L., Cedrela fissilis Vell. e Schizolobium parahyba var. amazonicum Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil**. 215 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LOGSDON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z. **Caracterização da madeira de Cambará, Voshysia guianensis** Aubl. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2007.

LOGSDON, N. B.; JESUS, J. M. H.; PENNA J. E. Avaliação dos estimadores da resistência característica à compressão paralela às fibras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 579-587, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 2002. v. 1.

LTM, 2009. **Banco de dados do Laboratório de Tecnologia da Madeira**, UFPR.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 418 p. (Publicação IPT N. 1791). Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MARCATI, C. R.; MILANEZ, C. R. D.; MACHADO, S. R. Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae: Caesalpinioideae). **Trees**, n. 22, p. 3-12, 2008.

MELO, R. R.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; STANGEREIN, D. M.; MENEZZI, D. H. S. Caracterização física e mecânica de *Araucaria angustifolia*. **Revista brasileira de ciências agrárias**, Recife; v. 5, n. 1, p. 67-73. 2010.

MELO, R.R.; MENEZZI, C.H.S.D.; SOUZA, M.R.; STANGERLIN, D.M.; MELO, R.R.; MENEZZI, C.H.S.D.; SOUZA, M.R.; STANGERLIN, D.M. Avaliação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e de superfície de lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 2, p. 238-249, 2013.

MENDONÇA, V. Z.; PENHA, A. S. Quebra de dormência de sementes do guapuruvu (*Schizolobium parahyba*– *Leguminosae*) e sua importância na restauração de áreas degradadas. **Anais**, IX Congresso de Ecologia do Brasil, MG, p. 1-3, 2009.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. **Illionis**: Southern Illionis University, 1974. v. 2, 245 p.

NAIR, M. N. B Sapwood and heardwood, in "The cambial derivates (Ed. Iqbal, M.)", Encyclopdia of plant anatomy, **Gebrüder Borntraeger**, Berlin, 1995.

NAWROT, M.; PADROWSKI, W.; SZYMANSKI, M. Dynamics of heartwood formatation and axial and radial distribution os sapwood and heardwood in stems os European larch (*Larix decídua* Mill.). **Jounal of Forest Science**: 409-417. 54(9), Poland. 2008.

Nelson pine laminated veneer lumber LVL. NP form: LVL formwork beams NZ/AUS E10. Richmond, 2003.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; VENSON, I. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Tecnologia da madeira**. Curitiba: UFPR, 1975. 21p

NOGUEIRA, M.C.J.A. **Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil**. São Carlos, 1991. 116p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

NUTTO, L.; TOUZA, M. C. V. High Quality Eucalypt Sawlog Production. In: **Proceedings Eucalyptus in a Changing World**, International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalypts; 2004; Aveiro. Aveiro; p. 658-666, 2004.

OLIVEIRA, A. M. F. *et al.* Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E.S. (Coord.) Manual de preservação de madeiras. São Paulo: **IPT**; SICCT, 1986. v.1, cap. 5, p. 99-278.

OLIVEIRA, J. T. S.; BRAZ, R. L.; MOTTA, J. P.; DUARTE, A. P. C.; ROSADO, A. M. **Ações de ventos em povoamentos florestais**. In: Chichorro JF, Garcia GO, Bauer MO, Caldeira MVW. Tópicos em Ciências Florestais. Alegre: Suprema, 2010. cap. 17, p. 443-476.

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

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

PAULA, J. E. de. Madeiras que produzem álcool, coque e carvão. **CNP - Atualidades**, Brasília, DF, n. 72, p. 31-45, 1980.

PINHEIRO, W. **Estimadores da resistência mecânica característica da madeira**. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Botucatu, 2011.

PLOMION, C.; LEPROVOST, C.; STOKES, A. Wood formation in trees. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 127, p. 1513-1523, 2001.

PULROLNIK, K. *et al.* Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. n. 276. Embrapa Cerrados, 2010, 17p.

QMS. **Tree ring analyzer users guide - Model QTRS-01X**. Knoxville, 1999. 72 p.

REITZ, R. KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**, Rio Grande do Sul, Ed Corag, 525 p. 1979.

RENDLE, B. J. - Juvenile and adult wood. **Journal of the Institute of Wood Science**, 5: 58-61, 1960.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. Tese (Livre docência na disciplina de Física) – Instituto de Biociências de Botucatu – IBB – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu – SP, 138p. 1997.

RICHTER, H. G.; TOMASELLI, I, MORESCHI, J. C. Estudo tecnológico do guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) - 1 Parte: Informe geral sobre características importantes na espécie. **Floresta**, v. 5, n. 1, p. 26-30, 1974.

RICHTER, H. G.; TOMASELLI, I.; MORESCHI, J.C. Estudo tecnológico do guapuruvu (*Schizolobium parahyba*). 2 Parte: Fabricação de compensados. **Floresta**, v. 6, n. 1, p. 14-23, 1975.

ROLLO, L. C. P. **Tomografia de impulso para estimativa da densidade da madeira**. Piracicaba, 2009. 48 p. Dissertação (Mestre em Recursos Florestais). ESALQ-USP.

ROQUE, R. M., TOMAZELLO, M. Avaliação da densidade da madeira de árvores de *Gmelina arborea* pela aplicação da densitometria de raios X. **International Nuclear Atlantic Conference**. 2005.

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.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors effecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Eds.). **Natural polymers and agrofibers composites**. São Carlos: IQSQ/USP, p.115-133, 2000.

RUELLE; YAMAMOTO; THIBAUT. Growth stresses and cellulose structural parameters in tension and normal wood from three tropical rainforest angiosperm species, **bioresources**. v 2 , pg. 235-251. 2007.

SALES, A. **Características de Resistência Mecânica de algumas espécies de eucalipto do Estado de São Paulo**. São Carlos, 1991. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

SALGADO, A. L. B.; CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. O guapuruvu: desenvolvimento, produtividade e características celulósicas. **O Agrônomo**, Campinas, v. 41, n. 2, p. 104-109, maio/ago. 1989.

SANTANA, M. A. E.; EIRAS, K. M. M.; PASTORE, T. C. M. Avaliação da madeira de quarto clones de *Hevea brasiliensis* por meio de sua caracterização físico-mecânica. **Brasil Florestal**, n.70, p. 61-68, 2001.

SANTOS, F. W. *et al.* Variação genética para a densidade básica da madeira e caracteres silviculturais em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 185-194, dez. 2008.

SENFT, J. F.; BENDTSEN, B. A.; GALLIGAN, W. L. Weak wood. **Journal of Forestry**, Washington, n. 83, p. 476-485, 1985.

SETTE JUNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.S.; LACLAU, J.P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 43, n. 6, p. 979-990, 2010.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. Curitiba, 2002. 181 p. Tese (Doutor em Ciências Florestais). UFPR.

SILVA, L. L. **Caracterização física e mecânica da madeira de seringueira (*Hevea Brasiliensis* (Willd. Ex. A. Juss.); Mull. Arg.)** Botucatu: UNESP, 2010. 36p. (Relatório de Pesquisa).

SORIANO, J.; GONÇALVES, R. Tensões de crescimento em coníferas e dicotiledôneas. **Carpintaria blog de estruturas da madeira**. 2013. Online, disponível em <<http://estruturasdemadeira.blogspot.com.br/2011/01/tensoes-de-crescimento-em-coniferas-e.html>>

SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica**[Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2004. 77 p.

SOUZA, V C. T.; LAHR, F. A. R. **Caracterização de espécies tropicais de madeira para emprego em estruturas.** Resumo on-line, disponível em <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=4753&numeroEdicao=19>> consulta em 05/10/2014.

SPIEGELBERG, H. L. The effect of hemicelluloses on the mechanical properties of individual pulp fiber, **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**, Atlanta, v.49, n. 9, p. 389-396, 1966.

TASSISSA, G.; BURKHART, H. E; BROOKS, T. M. Juvenile-mature wood demarcations in *Loblolly pine* trees. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 30, n. 2, p. 119-127, 1998.

TAYLOR, F.W. Variation in anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. **Appita Journal**, v. 27, p. 171-178, 1973a.

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.

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

TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C.S.; HANSEN, N.; CURY, G. Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. **Scientia forestalis**, Piracicaba; n. 66, p. 46-55. 2004.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada.** 260 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TSOUMIS, G. Science and technology of Wood: structure, properties, utilization. New York: **Chapman & Hall**, 1991. P. 309-339.

VALE, A. T. *et al.* Densidade básica média em função da produtividade e da penetração do pino Pilodyn e da classe diamétrica e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. **Árvore**, v. 19, n. 1, p.80-91, 1995.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; MARTINS, I. S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; FRANÇA, F. J. N.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, A. D. C. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**. v. 20, n. 1, p. 26-37. 2013.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S. P.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e ambiente**; v. 8 (4), p 469-480. 2011.

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

WANGAARD, F.F. Research on quality of wood in relation to its utilization as fiber for papermaking, **Norsk Skogindustri**, Oslo, v.8, 1958.

WARENSJÖ M. **Compression wood in Scots pine and Norway spruce: distribution in relation to external geometry and the impact on the dimensional stability in sawn wood** [Tese]. Swedish University of Agricultural Science; 2003.

WASHUSEN, R. K. **The occurrence and characteristics of tension wood and associated wood properties in Eucalyptus globulus Labill**[tese]. Melbourne: University of Melbourne; 254 p. 2000.

WILKINS, J. Sapwood, heartwood and bark thickness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 25, p. 415-423, 1991.

WILLIAMSON, G. B.; WIEMANN, M. C.; GEAGHAN, J. P. Radial wood allocation in *Schizolobium parahyba*. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 18, n. 6, p. 1010 – 1019, 2012.

ZENID, G. J. **Identificação e grupamento das madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional na cidade de São Paulo**. Piracicaba, 1997. 188 p. Dissertação (Mestre em Ciências). ESALQ-USP.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C.T. **Identificação botânica de madeiras**. Apostila de curso oferecido pelo Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras do Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT, 2007.

ZOBEL, B. J. Inherent differences affecting wood quality in fast-grown plantations. In: IUFRO CONFERENCE, 1980, Oxford. **Proceedings...** Oxford: IUFRO , 1980. p. 169-188.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, New York, v. 18, n. 1, p. 1-17, 1984.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. Wood variation: its causes and control. Berlin: **Springer-Verlag**, 1989. 361 p.

APÊNDICE

APÊNDICE I

Propriedades mecânicas da madeira

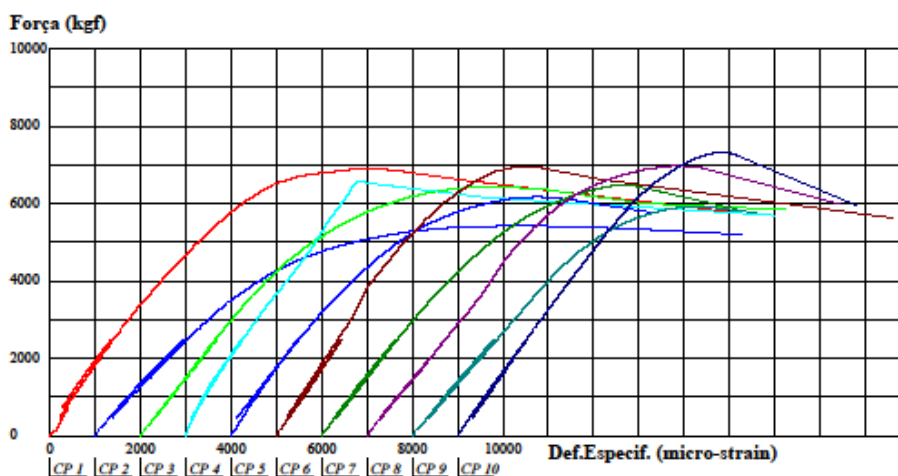
Apêndice I(a)

FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DENR

Relatório de Ensaio

Maquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: **Trd 11** Data: **31/07/2013** Hora: **16:40:16** Trabalho n° **0522**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR 7190-COMP_PARAL-5XS-1-5000**
Ident. Amostra: >> Material: **Guaapuruvu** Rato: **Árvores 1 a 3**

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura 1	Largura 2	Força Máxima	Tensão na Força máxima	Def. Espec. a 500 Kgf na fase final do ensaio (mm/mm)	Def. Espec. a 2500 Kgf na fase final do ensaio (mm/mm)	Modulo de Elasticidade na fase final do ensaio (MPa)
		(mm)	(mm)	(N)	(MPa)			
CP 1	1D2	49.63	48.69	67644.26	27.99	0.00024	0.00142	6892
CP 2	1E1	49.16	49.73	53247.64	21.78	0.00040	0.00205	4845
CP 3	1E2	49.24	48.46	63033.57	26.42	0.00034	0.00167	6180
CP 4	2D2	49.02	49.56	64424.10	26.52	0.00015	0.00128	7196
CP 5	2E1	48.86	49.69	60639.36	24.98	0.00015	0.00151	5939
CP 6	2E2	49.08	49.63	68271.56	28.03	0.00025	0.00136	7219
CP 7	3D1	48.63	49.31	63629.51	26.54	0.00034	0.00168	6098
CP 8	3D2	48.71	49.55	68449.30	28.36	0.00031	0.00174	5713
CP 9	3E1	48.89	49.68	58151.06	23.94	0.00039	0.00188	5417
CP 10	3E2	48.60	49.41	71868.10	29.93	0.00034	0.00153	6870
Número CPs	0	10	10	10	10	10	10	10
Média	*	48.98	49.37	63940	26.45	0.0002915	0.001612	6237
Desv. Padrão	*	0.3156	0.4422	5533	2.378	0.00008866	0.0002397	796.5
Coef. Var. (%)	*	0.6443	0.8957	8.654	8.992	30.42	14.87	12.77
Mínimo	*	48.60	48.46	53250	21.78	0.0001528	0.001276	4845
Máximo	*	49.63	49.73	71870	29.93	0.0003952	0.002051	7219



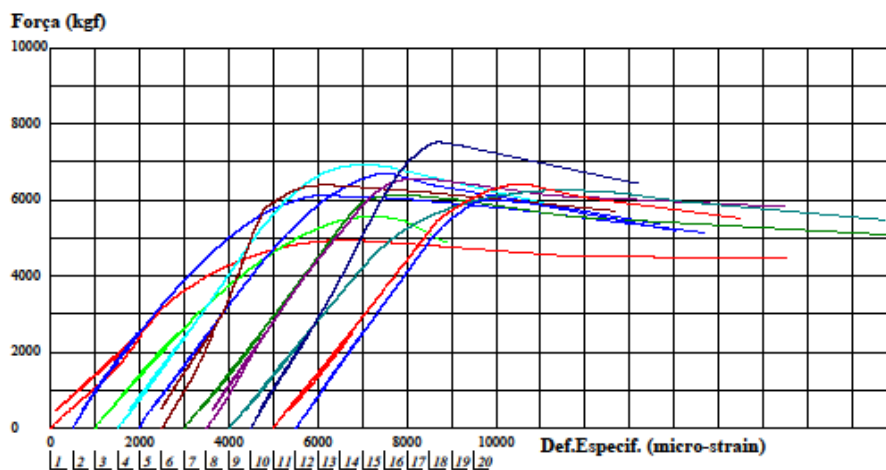
Apêndice I(a)

FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura 1	Largura 2	Força Máxima	Tensão na Força máxima	Def. Espec. a 500 Kgf na fase final do ensaio (mm/mm)	Def. Espec. a 2500 Kgf na fase final do ensaio (mm/mm)	Modulo de Elasticidade na fase final do ensaio (MPa)
		(mm)	(mm)	(N)	(MPa)			
CP 1	4D1	49.26	49.29	48553.31	20.00	0.00015	0.00200	4362
CP 2	4D2	49.49	48.89	60032.97	24.81	0.00024	0.00150	6432
CP 3	4E1	49.53	48.99	54617.25	22.51	0.00035	0.00189	5258
CP 4	4E2	48.96	49.60	68125.19	28.05	0.00028	0.00157	6276
CP 5	5D1	49.48	48.68	65835.53	27.33	0.00027	0.00153	6431
CP 6	5D2	48.67	49.69	62688.56	25.92	-0.00002	0.00110	7239
CP 7	5E1	48.52	49.59	60168.89	25.01	0.00036	0.00171	6038
CP 8	5E2	49.68	48.82	64382.28	26.55	0.00015	0.00133	6857
CP 9	6D1	49.28	49.63	61423.50	25.11	0.00038	0.00177	5791
CP 10	6D2	49.42	48.75	73833.66	30.65	0.00021	0.00129	7527
CP 11	6E1	49.58	48.82	62866.29	25.97	0.00034	0.00172	5902
CP 12	6E2	48.60	49.38	58977.01	24.58	0.00030	0.00152	6738
Número CPs	0	12	12	12	12	12	12	12
Média	*	49.21	49.18	61790	25.54	0.0002510	0.001576	6238
Desv. Padrão	*	0.4118	0.3900	6401	2.676	0.0001164	0.0002584	863.6
Coef. Var. (%)	*	0.8368	0.7931	10.36	10.48	46.39	16.39	13.85
Mínimo	*	48.52	48.68	48550	20.00	-0.0000221	0.001098	4362
Máximo	*	49.68	49.69	73830	30.65	0.0003826	0.002000	7527



Apêndice I(b)

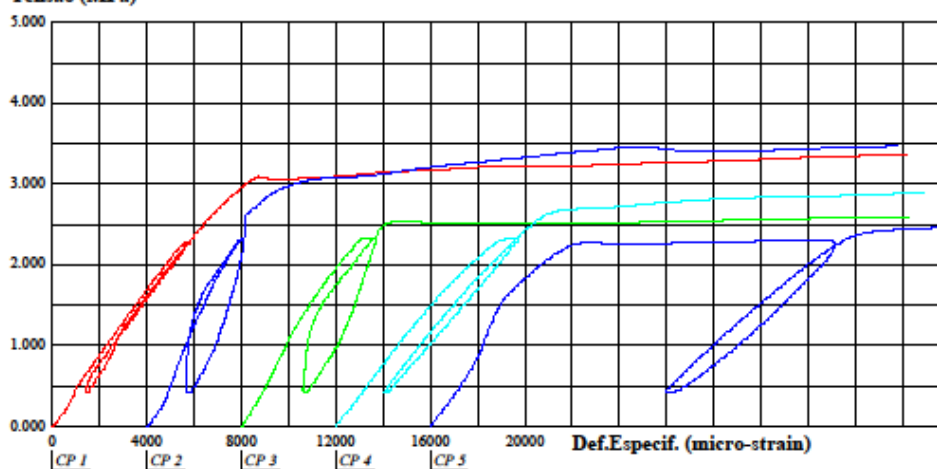
FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DENR

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura 1	Largura 2	Força Máxima	Tensão na Força máxima	Def. Espec. a 120 kgf	Def. Espec. a 600 kgf	Modulo de Elasticidade
		(mm)	(mm)	(N)	(MPa)	(mm/mm)	(mm/mm)	(MPa)
CP 1	1D	50.75	50.60	10207.99	3.98	0.00161	0.00583	435
CP 2 (R)	1E	50.11	50.53	8804.48	3.48	0.00197	0.00413	861
CP 3 (R)	2D	50.41	49.74	6542.68	2.61	0.00291	0.00575	662
CP 4	2E	49.75	50.71	7383.38	2.93	0.00216	0.00769	337
CP 5 (R)	3D	50.52	49.96	6489.92	2.57	0.01008	0.01768	245
Número CPs	0	2	2	2	2	2	2	2
Média	*	50.25	50.65	8796	3.451	0.001885	0.006759	386.0
Desv.Padrão	*	0.7071	0.07778	1997	0.7414	0.0003858	0.001313	68.69
Coef.Var.(%)	*	1.407	0.1536	22.71	21.48	20.46	19.43	17.80
Mínimo	*	49.75	50.60	7383	2.927	0.001613	0.005831	337.4
Máximo	*	50.75	50.71	10210	3.975	0.002158	0.007688	434.6

Tensão (MPa)



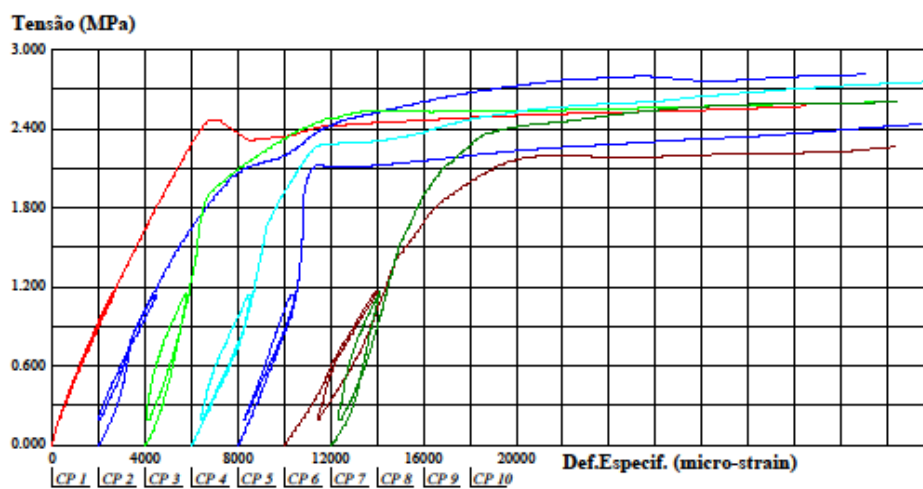
Apêndice I(b)

FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura 1	Largura 2	Força Máxima	Tensão na Força máxima	Def. Espec. a 60 kgf	Def. Espec. a 300 kgf	Modulo de Elasticidade
		(mm)	(mm)	(N)	(MPa)	(mm/mm)	(mm/mm)	(MPa)
CP 1	3E	49.64	50.51	6451.23	2.57	0.00039	0.00271	404
CP 2	4D	50.58	50.90	7246.20	2.81	0.00017	0.00235	418
CP 3	4E	50.77	50.19	6634.14	2.60	0.00029	0.00191	572
CP 4	5D	51.14	50.26	7084.39	2.76	0.00060	0.00267	443
CP 5	5E	50.96	50.37	6335.15	2.47	0.00040	0.00252	433
CP 6	6D	50.77	49.52	5846.20	2.33	0.00166	0.00433	350
CP 7	6E	50.81	49.84	6704.49	2.65	0.00058	0.00243	504
Número CPs	0	7	7	7	7	7	7	7
Média	*	50.67	50.23	6615	2.598	0.0005848	0.002703	446.3
Desv. Padrão	*	0.4854	0.4482	469.6	0.1665	0.0004959	0.0007645	71.85
Coef. Var. (%)	*	0.9580	0.8924	7.100	6.407	84.80	28.29	16.10
Mínimo	*	49.64	49.52	5846	2.325	0.0001694	0.001909	350.1
Máximo	*	51.14	50.90	7246	2.815	0.001655	0.004329	571.6



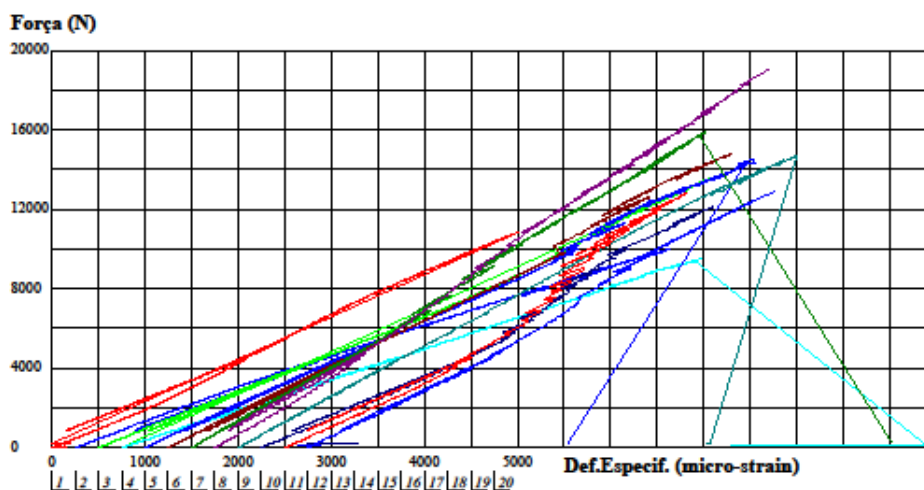
Apêndice I(c)

FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura 1	Largura 2	Força Máxima	Tensão na Força máxima	Def. Espec. a 100 Kgf na fase final do ensaio	Def. Espec. a 500 Kgf na fase final do ensaio	Modulo de Elasticidade na fase final do ensaio
		(mm)	(mm)	(N)	(MPa)	(mm/mm)	(mm/mm)	(MPa)
CP 1	1D1	6.91	49.41	10831.45	31.72	0.00021	0.00225	5641
CP 2	1E1	6.65	49.57	10015.95	30.38	0.00070	0.00293	5330
CP 3	2D2	6.74	49.14	13602.04	41.07	0.00059	0.00260	5896
CP 4	2E2	6.63	48.70	9545.47	29.56	0.00067	0.00321	4785
CP 5	3D1	6.80	49.00	14542.99	43.65	0.00047	0.00228	6505
CP 6	3E1	6.73	49.83	14835.73	44.24	0.00047	0.00209	7199
CP 7	1D2	7.04	49.77	15902.15	45.39	0.00035	0.00182	7570
CP 8	1E2	6.99	48.58	19017.76	56.00	0.00020	0.00164	7995
CP 9	2D1	6.82	49.10	14710.27	43.93	0.00037	0.00191	7607
CP 10	2E1	6.57	49.97	12159.24	37.04	0.00040	0.00237	6063
CP 11	3D2	6.66	49.95	12838.82	38.59	0.00029	0.00209	6555
CP 12	3E2	7.04	49.70	12880.64	36.81	0.00039	0.00210	6561
Número CPs	0	12	12	12	12	12	12	12
Média	*	6.798	49.39	13410	39.87	0.0004255	0.002275	6476
Desv. Padrão	*	0.1641	0.4813	2662	7.529	0.0001636	0.0004528	986.2
Coef. Var. (%)	*	2.414	0.9743	19.86	18.89	38.44	19.90	15.23
Mínimo	*	6.570	48.58	9545	29.56	0.0001983	0.001643	4785
Máximo	*	7.040	49.97	19020	56.00	0.0006999	0.003209	7995



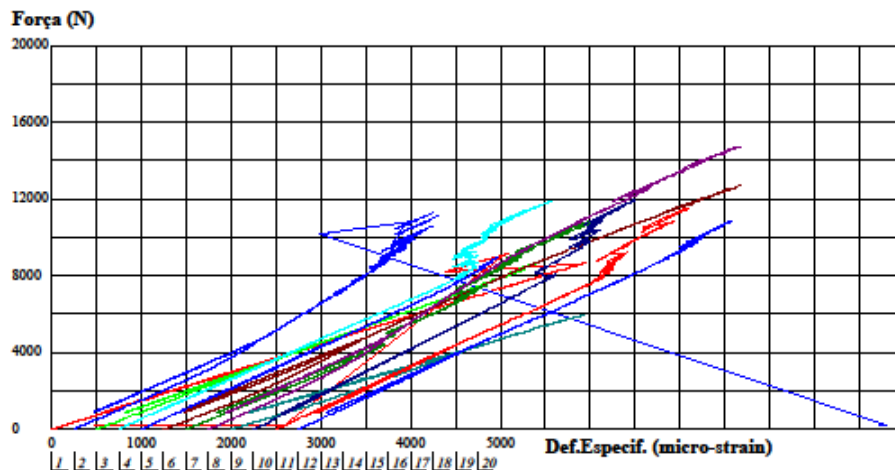
Apêndice I(c)

FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL3000N **Célula:** Trd 29 **Extensômetro:** Trd 11 **Data:** 30/07/2013 **Hora:** 14:21:06 **Trabalho n°** 0519
Programa: Tesc versão 3.04 **Método de Ensaio:** NBR 7190-Tração paralela - 1000-b
Ident. Amostra: >> **Madeira:** Guapuruvu **Arvore:** 4 a 6

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura 1	Largura 2	Força Máxima	Tensão na Força máxima	Def. Espec. a 100 Kgf na fase final do ensaio (mm/mm)	Def. Espec. a 500 Kgf na fase final do ensaio (mm/mm)	Modulo de Elasticidade na fase final do ensaio (MPa)
		(mm)	(mm)	(N)	(MPa)			
CP 1	4D1	6.54	49.68	9158.63	28.19	0.00062	0.00330	4502
CP 2	4D2	6.79	49.71	11281.01	33.42	0.00026	0.00215	6128
CP 3	4E1	7.16	49.91	8782.25	24.58	0.00038	0.00273	4669
CP 4	4E2	7.19	49.81	11908.32	33.25	0.00045	0.00233	5812
CP 5	5D1	7.13	49.23	9012.26	25.68	0.00047	0.00228	6172
CP 6	5D2	6.65	49.13	12702.90	38.88	0.00027	0.00231	5882
CP 7	5E1	6.82	49.89	10904.63	32.05	0.00040	0.00231	6029
CP 8	5E2	6.89	49.11	14762.55	43.63	0.00025	0.00201	6567
CP 9	6D1	6.76	50.02	5980.30	17.69	0.00027	0.00314	4047
CP 10	6D2	7.08	49.36	11981.50	34.28	0.00037	0.00205	6697
CP 11	6E1	7.26	49.53	11542.39	32.10	0.00050	0.00223	6287
CP 12	6E2	6.90	49.30	10852.36	31.90	0.00036	0.00221	6242
Número CPs	0	12	12	12	12	12	12	12
Média *	*	6.931	49.56	10740	31.30	0.0003816	0.002421	5753
Desv. Padrão	*	0.2307	0.3229	2254	6.743	0.0001137	0.0004148	860.2
Coef. Var. (%)	*	3.329	0.6516	20.99	21.54	29.80	17.13	14.95
Mínimo	*	6.540	49.11	5980	17.69	0.0002483	0.002014	4047
Máximo	*	7.260	50.02	14760	43.63	0.0006195	0.003301	6697



Apêndice I(d)

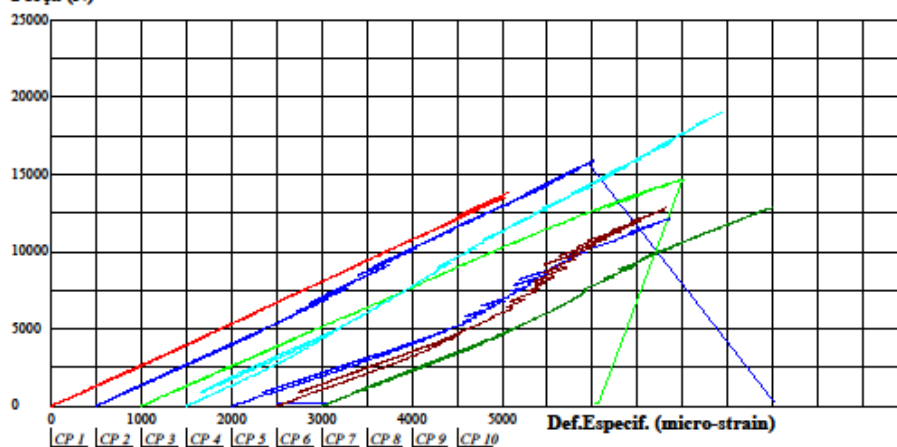
FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL3000N **Célula:** Trd 29 **Extensômetro:** Trd 11 **Data:** 31/07/2013 **Hora:** 08:18:28 **Trabalho n°** 0520
Programa: Tesc versão 3.04 **Método de Ensaio:** NBR 7190-Tração paralela - 1000-b
Ident. Amostra: >> **Madeira:** Guapuruvu **Arvore:** 1 a 3 - reensaio

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura 1	Largura 2	Força Máxima	Tensão na Força máxima	Def. Espec. a 100 Kgf na fase final do ensaio (mm/mm)	Def. Espec. a 500 Kgf na fase final do ensaio (mm/mm)	Modulo de Elasticidade na fase final do ensaio (MPa)
		(mm)	(mm)	(N)	(MPa)			
CP 1 (R)	1D2	7.04	49.77	13821.59	39.45	0.00037	0.00185	7580
CP 2	1D2	7.04	49.77	15902.15	45.39	0.00035	0.00182	7570
CP 3	2D1	6.82	49.10	14710.27	43.93	0.00037	0.00191	7607
CP 4	1E2	6.99	48.58	19017.76	56.00	0.00020	0.00164	7995
CP 5	2E1	6.57	49.97	12159.24	37.04	0.00040	0.00237	6063
CP 6	3D2	6.66	49.95	12838.82	38.59	0.00029	0.00209	6555
CP 7	3E2	7.04	49.70	12880.64	36.81	0.00039	0.00210	6561
Número CPs	0	6	6	6	6	6	6	6
Média	*	6.853	49.51	14580	42.96	0.0003318	0.001989	7058
Desv. Padrão	*	0.2035	0.5563	2578	7.334	0.00007697	0.0002521	765.8
Coef. Var. (%)	*	2.970	1.122	17.68	17.07	23.19	12.68	10.85
Mínimo	*	6.570	48.58	12160	36.81	0.0001983	0.001643	6063
Máximo	*	7.040	49.97	19020	56.00	0.0003959	0.002367	7995

Força (N)



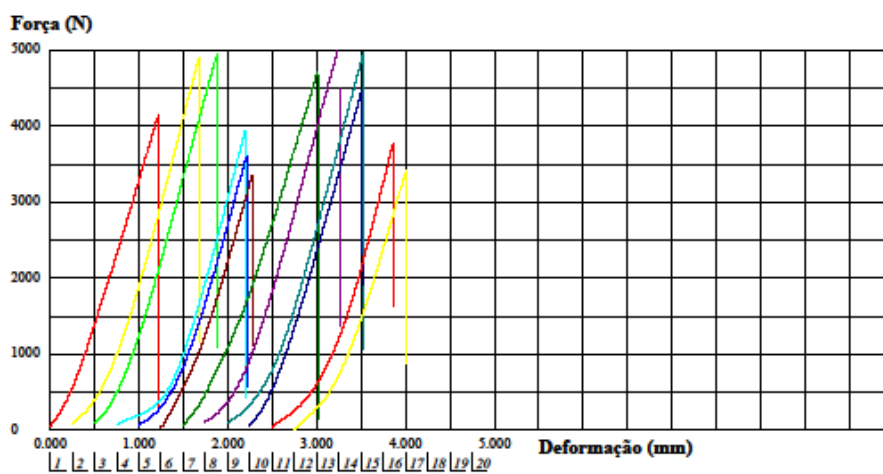
Apêndice I(e)

UNESP - FCA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura (mm)	Espessura (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	1E1	49.88	25.07	4143.11	3.31
CP 2	1E2	49.93	25.21	4897.02	3.89
CP 3	1D1	49.97	24.54	4949.61	4.04
CP 4	1D2	48.79	25.06	3942.34	3.22
CP 5	2D1	49.73	24.91	3615.23	2.92
CP 6	2D2	49.94	24.97	3357.78	2.69
CP 7	2E1	49.90	24.90	4708.54	3.79
CP 8	2E2	49.94	25.06	5091.65	4.07
CP 9	3D1	49.72	24.68	4983.07	4.06
CP 10	3E1	49.76	25.49	4481.14	3.53
CP 11	3D2	49.58	25.15	3775.03	3.03
CP 12	3E2	49.76	25.13	3430.85	2.74
Número CPs	0	12	12	12	12
Média	*	49.74	25.01	4281	3.442
Desv. Padrão	*	0.3224	0.2461	647.2	0.5238
Coef. Var. (%)	*	0.6482	0.9839	15.12	15.22
Mínimo	*	48.79	24.54	3358	2.693
Máximo	*	49.97	25.49	5092	4.068



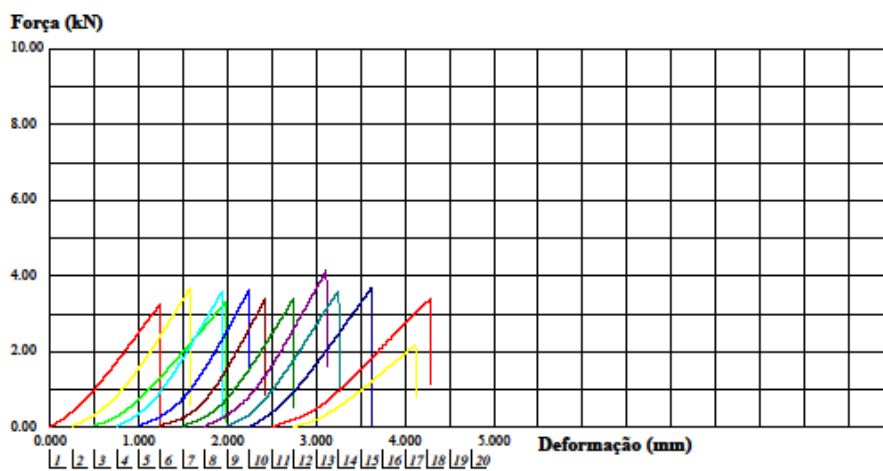
Apêndice I(e)

UNESP - FCA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura (mm)	Espessura (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	4D1	50.41	25.00	3261.49	2.59
CP 2	4D2	49.93	24.69	3697.86	3.00
CP 3	4E1	49.85	24.35	3299.05	2.72
CP 4	4E2	49.96	25.29	3606.36	2.85
CP 5	5D1	49.80	24.65	3638.45	2.96
CP 6	5D2	49.75	24.87	3413.10	2.76
CP 7	5E1	49.84	24.20	3410.37	2.83
CP 8	5E2	49.54	24.62	4154.04	3.41
CP 9	6D1	49.89	24.83	3624.11	2.93
CP 10	6D2	49.75	24.85	3696.50	2.99
CP 11	6E1	49.55	25.08	3395.34	2.73
CP 12	6E2	50.06	25.12	2183.89	1.74
Número CPs	0	12	12	12	12
Média	*	49.86	24.80	3448	2.792
Desv.Padrão	*	0.2306	0.3160	464.7	0.3905
Coef.Var.(%)	*	0.4625	1.274	13.48	13.99
Mínimo	*	49.54	24.20	2184	1.737
Máximo	*	50.41	25.29	4154	3.406



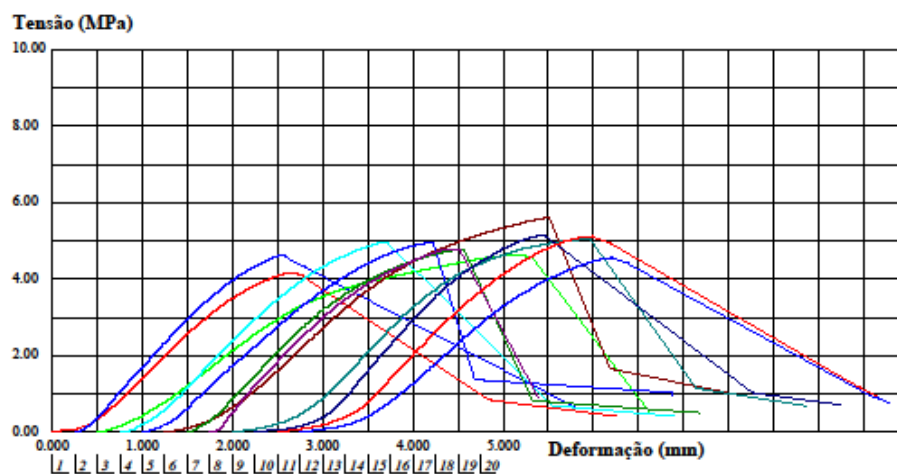
Apêndice I(f)

FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL3000N Célula: Trd 28 Extensômetro: - Data: 07/08/2013 Hora: 07:55:45 Trabalho n° 0525
Programa: Test versão 3.04 Método de Ensaio: NBR 7190-Cisalhamento-5X5
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Amostra: Material: Guapuruvu Rato: Árvore de 4 a 6

Corpo de Prova	Ident. CP	Largura 1 do CP	Largura 2 do CP	Força Máxima	Tensão na Força Máxima
		(mm)	(mm)	(kN)	(MPa)
CP 1	4D1	50.87	50.16	10.62	4.16
CP 2	4D2	50.83	50.02	11.76	4.63
CP 3	4E1	50.70	50.03	11.79	4.65
CP 4	4E2	50.96	50.11	12.68	4.97
CP 5	5D1	50.66	49.96	12.55	4.96
CP 6	5D2	50.67	50.01	14.20	5.60
CP 7	5E1	50.52	50.10	12.11	4.78
CP 8	5E2	50.82	49.99	12.18	4.80
CP 9	6D1	50.92	50.11	12.87	5.04
CP 10	6D2	50.87	49.90	13.04	5.14
CP 11	6E1	50.94	49.28	12.86	5.12
CP 12	6E2	50.86	50.13	11.65	4.57
Número CPs	0	12	12	12	12
Média	*	50.80	49.98	12.36	4.869
Desv.Padrão	*	0.1346	0.2345	0.8946	0.3611
Coef.Var.(%)	*	0.2649	0.4691	7.237	7.416
Mínimo	*	50.52	49.28	10.62	4.163
Máximo	*	50.96	50.16	14.20	5.604



APÊNDICE II
Qualidade da Madeira

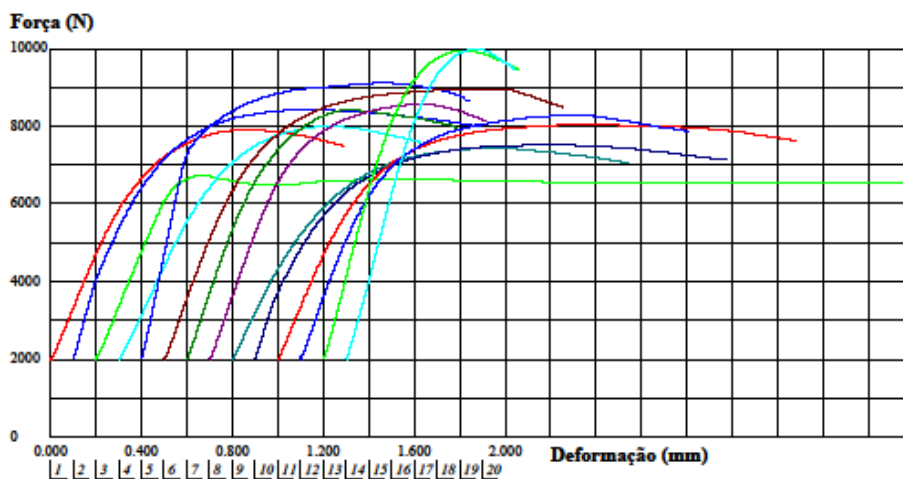
Apêndice II(a)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Força Máxima (N)	f _{cd} (MPa)
CP 1	1D1A	20.01	19.95	7915	19.83
CP 2	1D1B	20.00	20.05	8418	20.99
CP 3	1D2A	20.07	20.06	6726	16.71
CP 4	1D2B	20.11	20.00	8010	19.91
CP 5	1D3A	20.04	20.13	9111	22.58
CP 6	1D3B	20.08	19.97	8956	22.33
CP 7	1D4A	20.18	20.12	8418	20.73
CP 8	1D4B	20.19	20.12	8565	21.09
CP 9	1E1A	20.22	20.02	7433	18.36
CP 10	1E1B	19.94	20.10	7531	18.79
CP 11	1E2A	20.08	20.18	8041	19.84
CP 12	1E2B	20.06	20.16	8294	20.51
CP 13	1E3A	20.07	20.21	9958	24.55
CP 14	1E3B	20.16	20.20	9986	24.52
Número CPs	0	14	14	14	14
Média	*	20.09	20.09	8383	20.77
Desv. Padrão	*	0.07919	0.08435	911.7	2.202
Coef. Var.(%)	*	0.3942	0.4198	10.88	10.60
Mínimo	*	19.94	19.95	6726	16.71
Máximo	*	20.22	20.21	9986	24.55



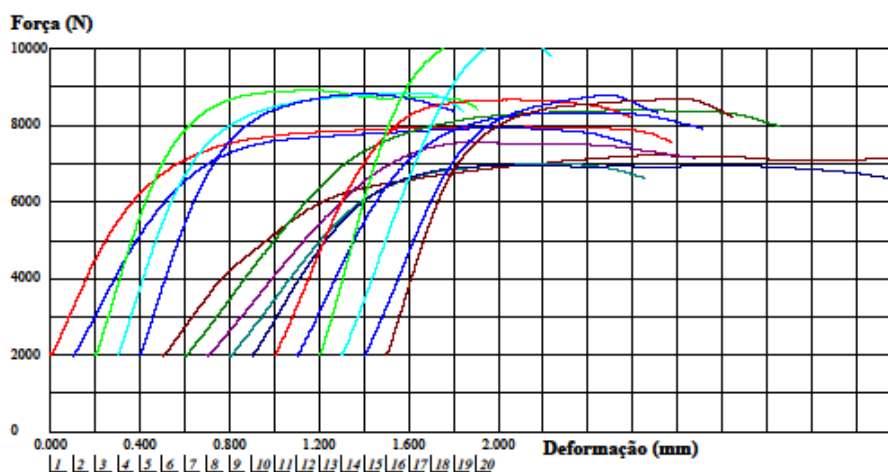
Apêndice II(a)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Força Máxima (N)	f _{cd} (MPa)
CP 1	3D1A	19.99	20.04	7974	19.91
CP 2	3D1B	20.18	20.20	7932	19.46
CP 3	3D2A	20.25	20.30	8917	21.69
CP 4	3D2B	20.09	20.28	8847	21.71
CP 5	3D3A	20.28	20.07	8826	21.68
CP 6	3D3B	20.28	20.13	7232	17.72
CP 7	3D4A	20.21	20.06	8414	20.75
CP 8	3D4B	20.23	20.40	7559	18.32
CP 9	3E1A	20.16	20.19	7021	17.25
CP 10	3E1B	20.00	20.13	6958	17.28
CP 11	3E2A	20.09	20.01	8685	21.60
CP 12	3E2B	20.06	20.16	8330	20.60
CP 13	3E3A	20.00	20.25	10834	26.75
CP 14	3E3B	20.17	20.30	10338	25.25
CP 15	3E4A	20.03	20.04	8780	21.87
CP 16	3E4B	20.08	19.92	8699	21.75
Número CPs	0	16	16	16	16
Média	*	20.13	20.16	8459	20.85
Desv. Padrão	*	0.1016	0.1292	1066	2.628
Coef. Var. (%)	*	0.5046	0.6408	12.60	12.60
Mínimo	*	19.99	19.92	6958	17.25
Máximo	*	20.28	20.40	10830	26.75



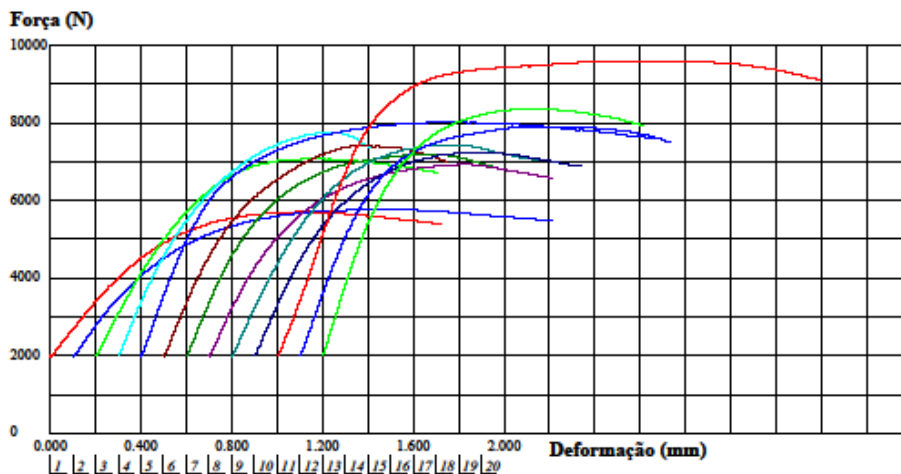
Apêndice II(a)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **-** Data: **15/01/2014** Hora: **10:24:38** Trabalho n° **0629**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR 7190-Compressão Paralela-ruína-aproxim**
Ident. Amostra: **#####** Espécie: **Schizolobium parahyba** Arvore: **6**

Corpo de Prova	CP	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Força Máxima (N)	f _{cd} (MPa)
CP 1	6D1A	20.34	20.33	5709	13.81
CP 2	6D1B	20.36	20.38	5783	13.94
CP 3	6D2A	20.32	20.31	7088	17.17
CP 4	6D2B	20.22	20.33	7767	18.89
CP 5	6D3A	20.31	20.28	8034	19.51
CP 6	6D3B	20.27	20.31	7415	18.01
CP 7	6D4A	20.28	20.09	7197	17.66
CP 8	6D4B	20.21	20.33	6940	16.89
CP 9	6E1A	20.06	20.27	7440	18.30
CP 10	6E1B	19.84	20.20	7250	18.09
CP 11	6E2A	20.27	20.22	9606	23.44
CP 12	6E2B	20.18	20.21	7908	19.39
CP 13	6E3A	20.34	20.21	8379	20.38
Número CPs	0	13	13	13	13
Média	*	20.23	20.27	7424	18.11
Desv. Padrão	*	0.1430	0.07804	1019	2.522
Coef. Var.(%)	*	0.7067	0.3850	13.73	13.92
Mínimo	*	19.84	20.09	5709	13.81
Máximo	*	20.36	20.38	9606	23.44



Apêndice II(b)

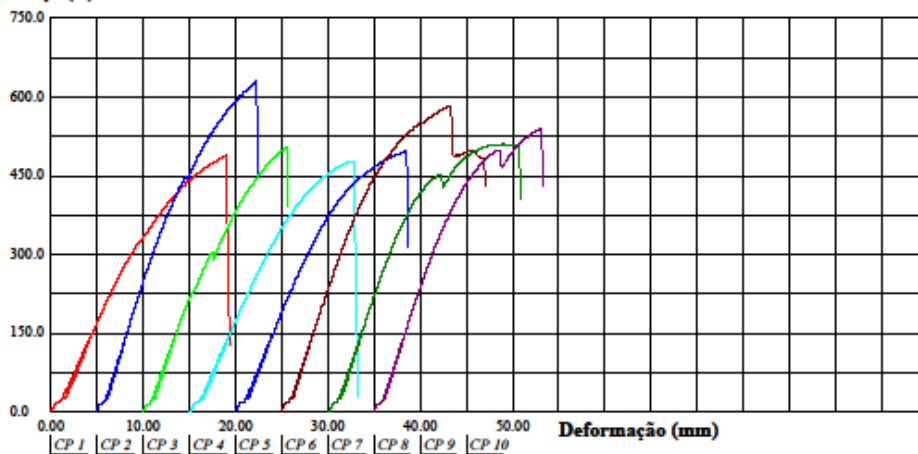
FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEenR

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: - Data: **04/12/2013** Hora: **08:10:26** Trabalho n° **0620**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR 7190-Flexão-2x2-1-30**
 Ident. Amostra: >===== Espécie: **Schizolobium parahyba** Arvore: 2

Corpo de Prova	CP	Altura (mm)	Largura (mm)	Força Máxima (N)	fM (MPa)	Deformação a 3 kgf (mm)	Deformação a 15 kgf (mm)	EM (MPa)
CP 1	2D1	19.71	20.04	489.37	39.60	1.70	4.47	5118
CP 2	2D2	20.07	19.94	630.74	49.47	1.26	3.22	6893
CP 3	2D3	20.01	20.00	505.68	39.78	1.34	3.56	6131
CP 4	2E1	20.07	20.51	478.49	36.49	1.60	4.38	4716
CP 5	2E2	20.16	20.20	498.20	38.23	1.51	4.06	5157
CP 6	2E3	20.22	19.98	583.84	45.03	1.34	3.42	6373
CP 7	2D4	20.09	20.11	511.12	39.67	1.55	3.65	6360
CP 8	2E4	20.16	20.15	541.70	41.67	1.28	3.35	6376
Número CPs	0	8	8	8	8	8	8	8
Média	*	20.06	20.12	529.9	41.24	1.448	3.765	5890
Desv. Padrão	*	0.1566	0.1821	52.71	4.161	0.1626	0.4808	780.6
Coef. Var. (%)	*	0.7807	0.9054	9.947	10.09	11.24	12.77	13.25
Mínimo	*	19.71	19.94	478.5	36.49	1.257	3.219	4716
Máximo	*	20.22	20.51	630.7	49.47	1.698	4.473	6893

Força (N)



Apêndice II(b)

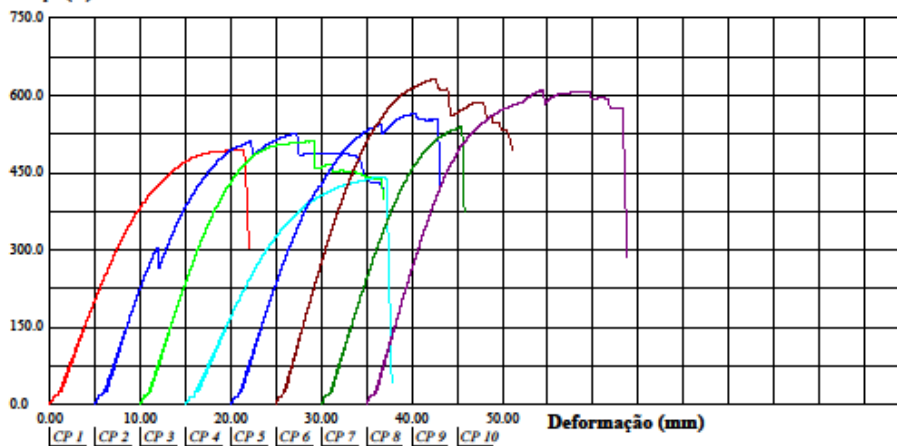
FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Altura (mm)	Largura (mm)	Força Máxima (N)	f _m (MPa)	Deformação a 3 kgf (mm)	Deformação a 15 kgf (mm)	EM (MPa)
CP 1	3D1	20.05	20.15	495.48	38.54	1.38	3.80	5543
CP 2	3D2	20.14	20.07	527.43	40.82	1.36	3.46	6324
CP 3	3D3	20.09	20.08	511.12	39.73	1.23	3.32	6394
CP 4	3E1	19.90	20.02	441.11	35.05	1.52	4.44	4736
CP 5	3E2	20.00	19.95	564.13	44.54	1.28	3.37	6557
CP 6	3E3	20.15	20.27	631.42	48.33	1.12	2.93	7265
CP 7	3D4	20.17	20.19	540.34	41.44	1.23	3.25	6502
CP 8	3E4	20.11	20.13	610.35	47.23	1.19	3.08	7047
Número CPs	0	8	8	8	8	8	8	8
Média	*	20.08	20.11	540.2	41.96	1.288	3.455	6296
Desv. Padrão	*	0.09039	0.1001	61.69	4.489	0.1266	0.4736	812.9
Coef. Var. (%)	*	0.4502	0.4979	11.42	10.70	9.827	13.71	12.91
Mínimo	*	19.90	19.95	441.1	35.05	1.118	2.928	4736
Máximo	*	20.17	20.27	631.4	48.33	1.518	4.435	7265

Força (N)



Apêndice II(b)

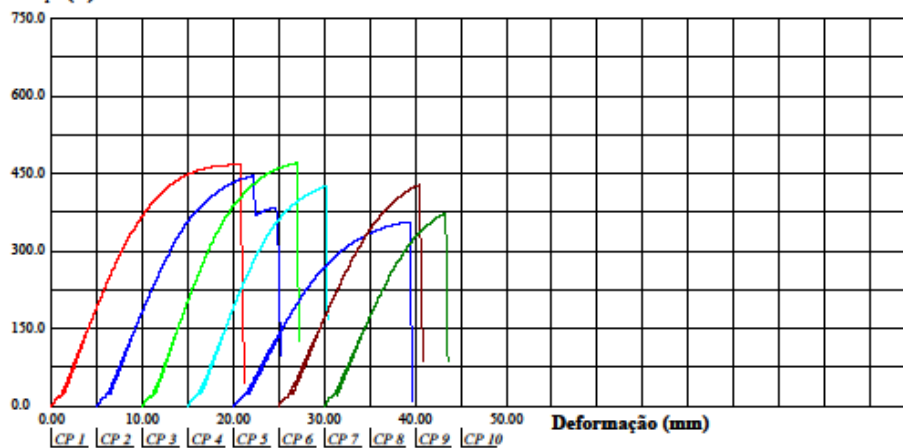
FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Altura (mm)	Largura (mm)	Força Máxima (N)	f _m (MPa)	Deformação a 3 kgf (mm)	Deformação a 15 kgf (mm)	EM (MPa)
CP 1	4D1	20.15	20.18	469.66	36.11	1.48	3.99	5249
CP 2	4D2	20.05	20.20	446.55	34.64	1.56	4.17	5120
CP 3	4D3	20.06	20.19	471.02	36.52	1.55	3.88	5758
CP 4	4D4	20.19	20.20	426.16	32.61	1.59	4.09	5234
CP 5	4E1	20.29	20.18	357.51	27.11	1.87	5.32	3746
CP 6	4E2	20.10	20.28	428.20	32.92	1.65	4.45	4734
CP 7	4E3	20.09	20.21	374.50	28.92	1.57	4.39	4708
Número CPs	0	7	7	7	7	7	7	7
Média	*	20.13	20.21	424.8	32.69	1.609	4.328	4936
Desv. Padrão	*	0.08499	0.03457	44.14	3.549	0.1266	0.4840	633.0
Coef. Var. (%)	*	0.4222	0.1711	10.39	10.86	7.867	11.18	12.83
Mínimo	*	20.05	20.18	357.5	27.11	1.476	3.876	3746
Máximo	*	20.29	20.28	471.0	36.52	1.871	5.322	5758

Força (N)



Apêndice II(b)

FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **-** Data: **12/03/2014** Hora: **09:15:06** Trabalho n° **0631**

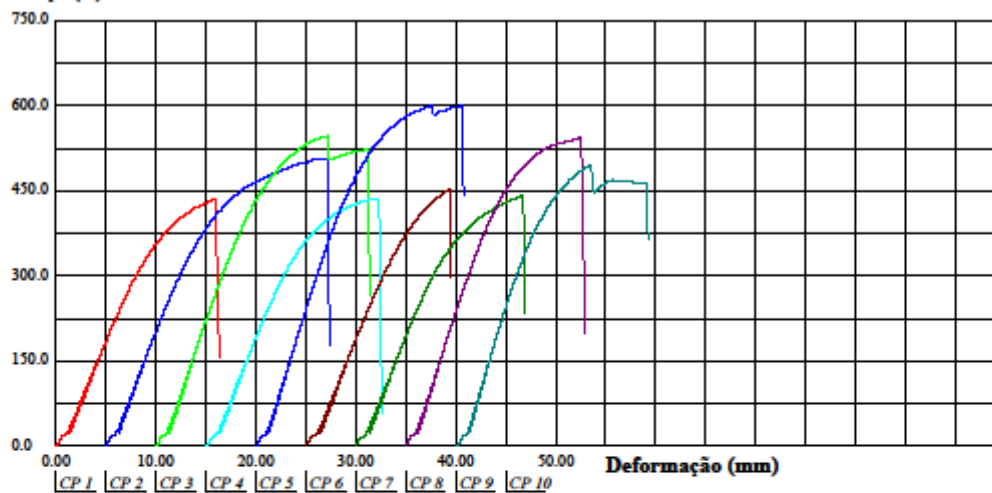
Programa: Tesc versão 3.04

Método de Ensaio: **NBR 7190-Flexão-2x2-1-30**

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Altura (mm)	Largura (mm)	Força Máxima (N)	f _m (MPa)	Deformação a 3 kgf (mm)	Deformação a 15 kgf (mm)	EM (MPa)
CP 1	5D1	20.03	20.29	435.67	33.72	1.56	4.15	5151
CP 2	5D2	19.93	20.15	507.72	39.96	1.44	3.84	5703
CP 3	5D3	19.98	20.13	547.14	42.89	1.51	3.65	6349
CP 4	5D4	19.99	20.43	436.35	33.67	1.57	4.04	5392
CP 5	5D5	20.07	20.23	600.83	46.45	1.41	3.41	6664
CP 6	5E1	20.12	20.27	453.34	34.81	1.60	4.11	5263
CP 7	5E2	20.28	20.13	441.79	33.62	1.50	4.00	5194
CP 8	5E3	20.13	20.34	544.42	41.61	1.37	3.43	6374
CP 9	5E4	20.16	20.34	497.52	37.92	1.47	3.35	6957
Número CPs	0	9	9	9	9	9	9	9
Média	*	20.08	20.26	496.1	38.30	1.493	3.777	5894
Desv. Padrão	*	0.1082	0.1057	59.21	4.717	0.07684	0.3228	697.1
Coef. Var. (%)	*	0.5388	0.5219	11.94	12.32	5.146	8.547	11.83
Mínimo	*	19.93	20.13	435.7	33.62	1.371	3.349	5151
Máximo	*	20.28	20.43	600.8	46.45	1.604	4.154	6957

Força (N)



Apêndice II(b)

FCA-UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais - DEnR

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: - Data: **12/03/2014** Hora: **14:30:15** Trabalho n° **0632**

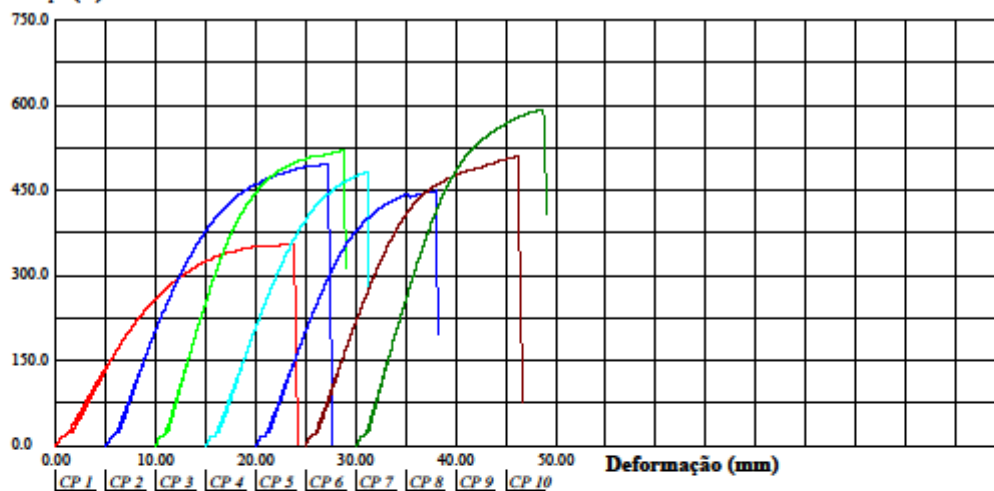
Programa: Tesc versão 3.04

Método de Ensaio: **NBR 7190-Flexão-2x2-1-30**

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Altura (mm)	Largura (mm)	Força Máxima (N)	f _m (MPa)	Deformação a 3 kgf (mm)	Deformação a 15 kgf (mm)	EM (MPa)
CP 1	6D1	20.48	20.26	355.47	26.35	1.81	5.40	3485
CP 2	6D2	20.22	20.26	495.48	37.69	1.44	3.80	5535
CP 3	6D3	20.18	20.25	520.63	39.77	1.31	3.21	6904
CP 4	6D4	20.12	20.56	481.89	36.48	1.44	3.77	5581
CP 5	6E1	20.20	20.17	449.27	34.39	1.46	3.85	5479
CP 6	6E3	20.15	20.37	510.44	38.88	1.34	3.59	5814
CP 7	6E2	20.12	20.19	592.68	45.68	1.36	3.21	7170
Número CPs	0	7	7	7	7	7	7	7
Média	*	20.21	20.29	486.6	37.04	1.451	3.832	5710
Desv. Padrão	*	0.1250	0.1335	72.65	5.881	0.1668	0.7421	1199
Coef. Var. (%)	*	0.6187	0.6579	14.93	15.88	11.49	19.37	20.99
Mínimo	*	20.12	20.17	355.5	26.35	1.309	3.206	3485
Máximo	*	20.48	20.56	592.7	45.68	1.806	5.400	7170

Força (N)



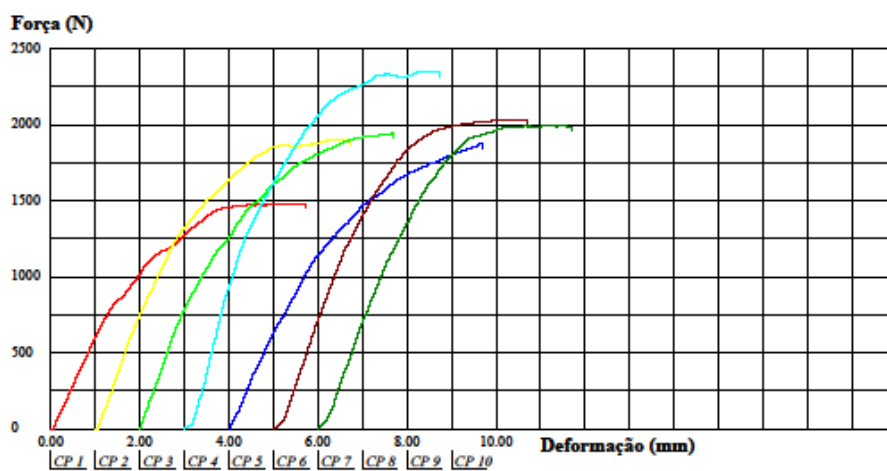
Apêndice II(c)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Força @Ponto PT1 (kN)	Tensão @Ponto PT2 (MPa)
CP 1	D1	1.479	14.8
CP 2	D2	1.907	19.1
CP 3	D3	1.945	19.4
CP 4	D4	2.350	23.5
CP 5	E1	1.875	18.7
CP 6	E2	2.030	20.3
CP 7	E3	1.991	19.9
Número CPs	0	7	7
Média	*	1.939	19.39
Desv.Padrão	*	0.2572	2.572
Coef.Var.(%)	*	13.26	13.26
Mínimo	*	1.479	14.79
Máximo	*	2.350	23.50



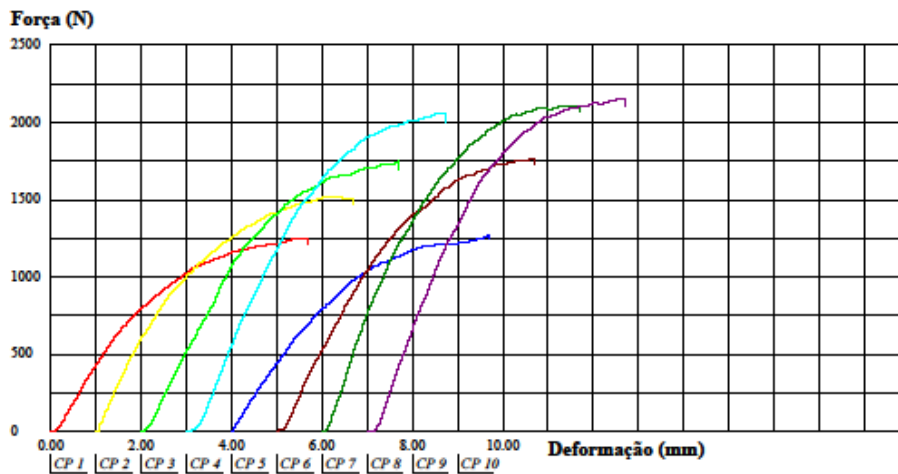
Apêndice II(c)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Força @Ponto PT1 (kN)	Tensão @Ponto PT2 (MPa)
CP 1	D1	1.249	12.5
CP 2	D2	1.512	15.1
CP 3	D3	1.743	17.4
CP 4	D4	2.062	20.6
CP 5	E1	1.264	12.6
CP 6	E2	1.766	17.7
CP 7	E3	2.108	21.1
CP 8	E4	2.152	21.5
Número CPs	0	8	8
Média	*	1.732	17.32
Desv.Padrão	*	0.3641	3.641
Coef.Var.(%)	*	21.02	21.02
Mínimo	*	1.249	12.49
Máximo	*	2.152	21.52



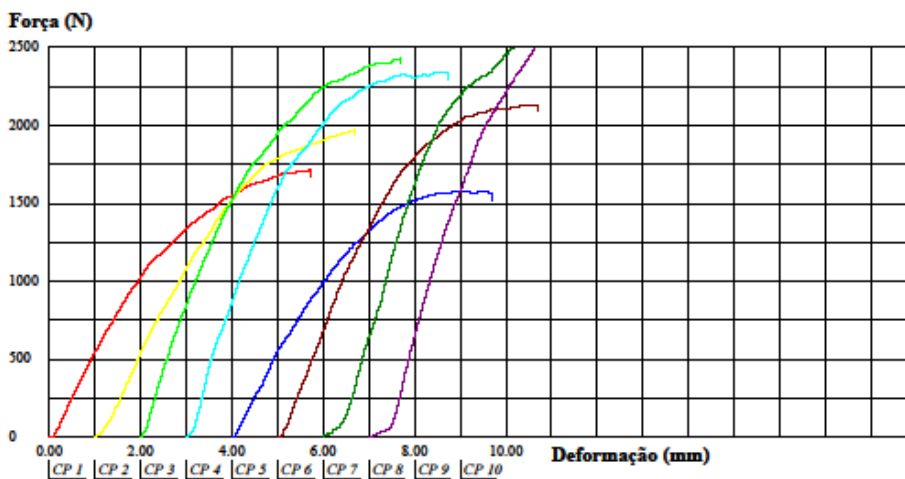
Apêndice II(c)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **-** Data: **02/06/2014** Hora: **09:53:19** Trabalho n° **0642**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR7190-Dureza Janka**
 Ident. Amostra: **#####** Espécie: **Schizolobium parahyba** Arvore: **3**

Corpo de Prova	CP	Força @Ponto PT1 (kN)	Tensão @Ponto PT2 (MPa)
CP 1	D1	1.711	17.1
CP 2	D2	1.966	19.7
CP 3	D3	2.428	24.3
CP 4	D4	2.349	23.5
CP 5	E1	1.568	15.7
CP 6	E2	2.136	21.4
CP 7	E3	2.690	26.9
CP 8	E4	2.943	29.4
Número CPs	0	8	8
Média	*	2.224	22.24
Desv.Padrão	*	0.4721	4.721
Coef.Var.(%)	*	21.23	21.23
Mínimo	*	1.568	15.68
Máximo	*	2.943	29.43



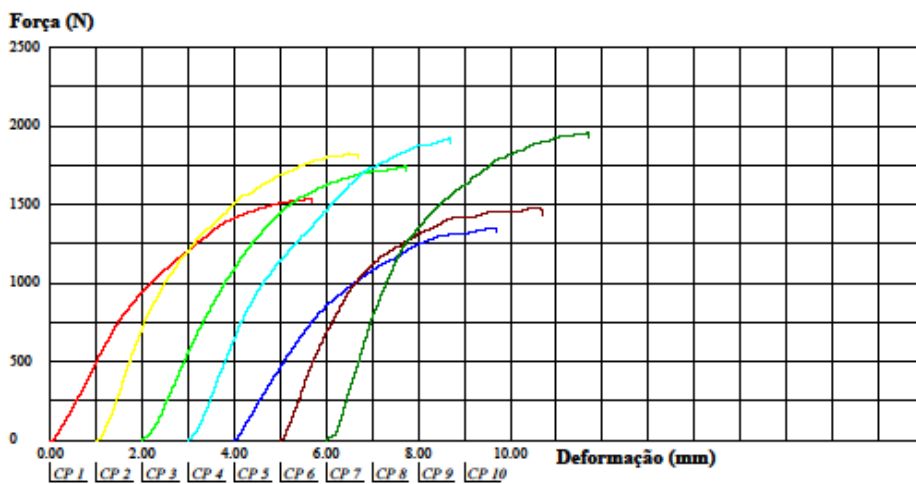
Apêndice II(c)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Força @Ponto PT1 (kN)	Tensão @Ponto PT2 (MPa)
CP 1	D1	1.536	15.4
CP 2	D2	1.826	18.3
CP 3	D3	1.742	17.4
CP 4	D4	1.918	19.2
CP 5	E1	1.350	13.5
CP 6	E2	1.474	14.7
CP 7	E3	1.954	19.5
Número CPs	0	7	7
Média	*	1.686	16.86
Desv.Padrão	*	0.2341	2.341
Coef.Var.(%)	*	13.89	13.89
Mínimo	*	1.350	13.50
Máximo	*	1.954	19.54



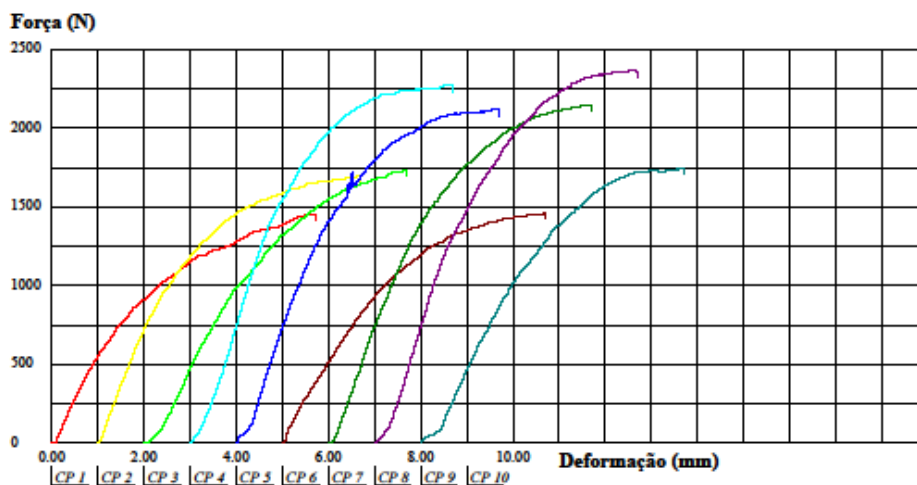
Apêndice II(c)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	CP	Força @Ponto PT1 (kN)	Tensão @Ponto PT2 (MPa)
CP 1	D1	1.456	14.6
CP 2	D2	1.694	16.9
CP 3	D3	1.731	17.3
CP 4	D4	2.273	22.7
CP 5	D5	2.121	21.2
CP 6	E1	1.456	14.6
CP 7	E2	2.148	21.5
CP 8	E3	2.365	23.7
CP 9	E4	1.744	17.4
Número CPs	0	9	9
Média	*	1.888	18.88
Desv. Padrão	*	0.3453	3.453
Coef. Var. (%)	*	18.29	18.29
Mínimo	*	1.456	14.56
Máximo	*	2.365	23.65



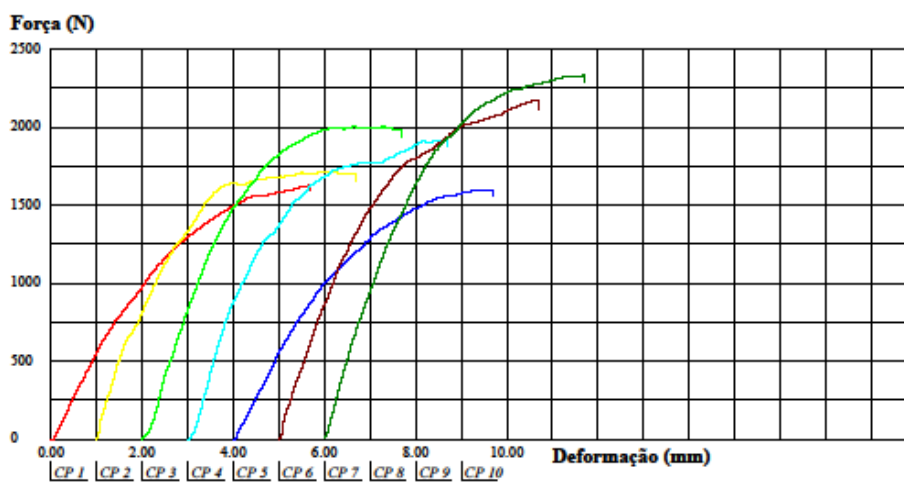
Apêndice II(c)

FCA - UNESP
Laboratório de Ensaio de Materiais

Relatório de Ensaio

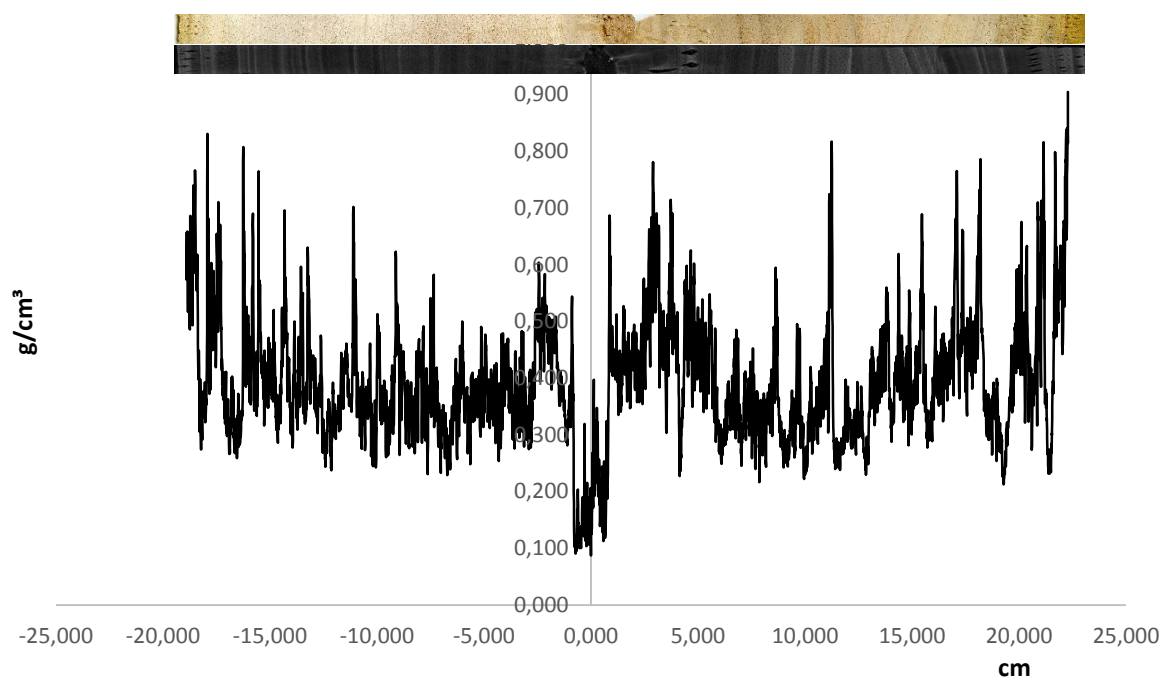
[illegible]

Corpo de Prova	CP	Força @Ponto PT1 (kN)	Tensão @Ponto PT2 (MPa)
CP 1	D1	1.625	16.3
CP 2	D2	1.704	17.0
CP 3	D3	1.987	19.9
CP 4	D4	1.917	19.2
CP 5	E1	1.601	16.0
CP 6	E2	2.171	21.7
CP 7	E3	2.332	23.3
Número CPs	0	7	7
Média	*	1.905	19.05
Desv.Padrão	*	0.2802	2.802
Coef.Var.(%)	*	14.71	14.71
Mínimo	*	1.601	16.01
Máximo	*	2.332	23.32

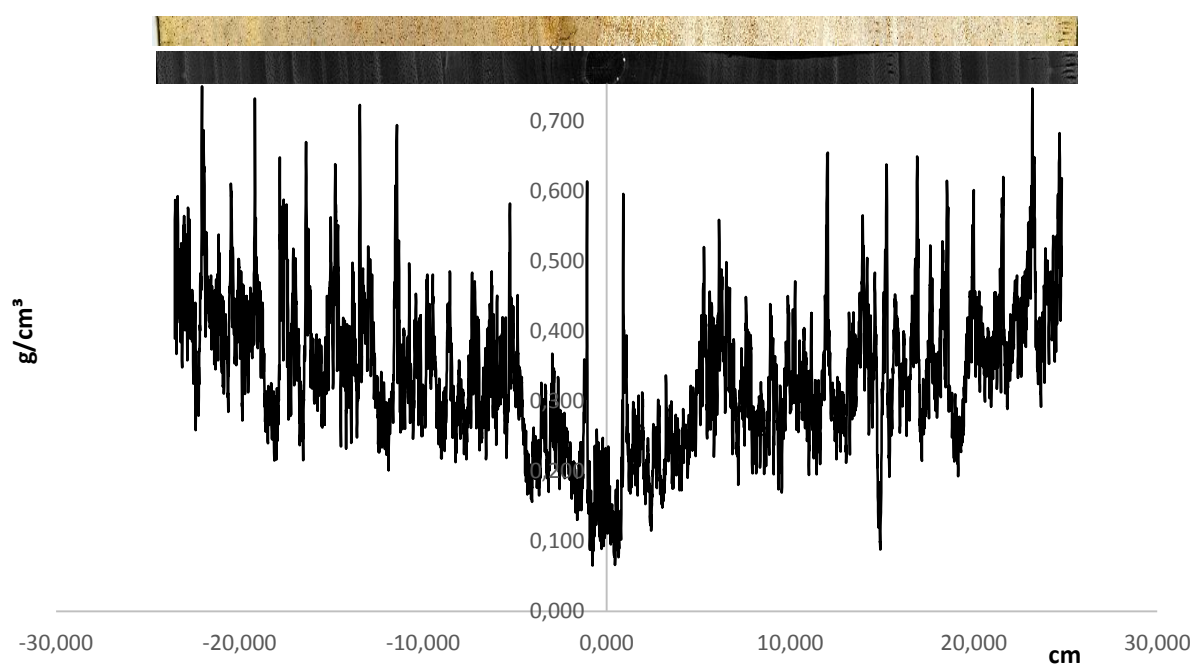


APÊNDICE III

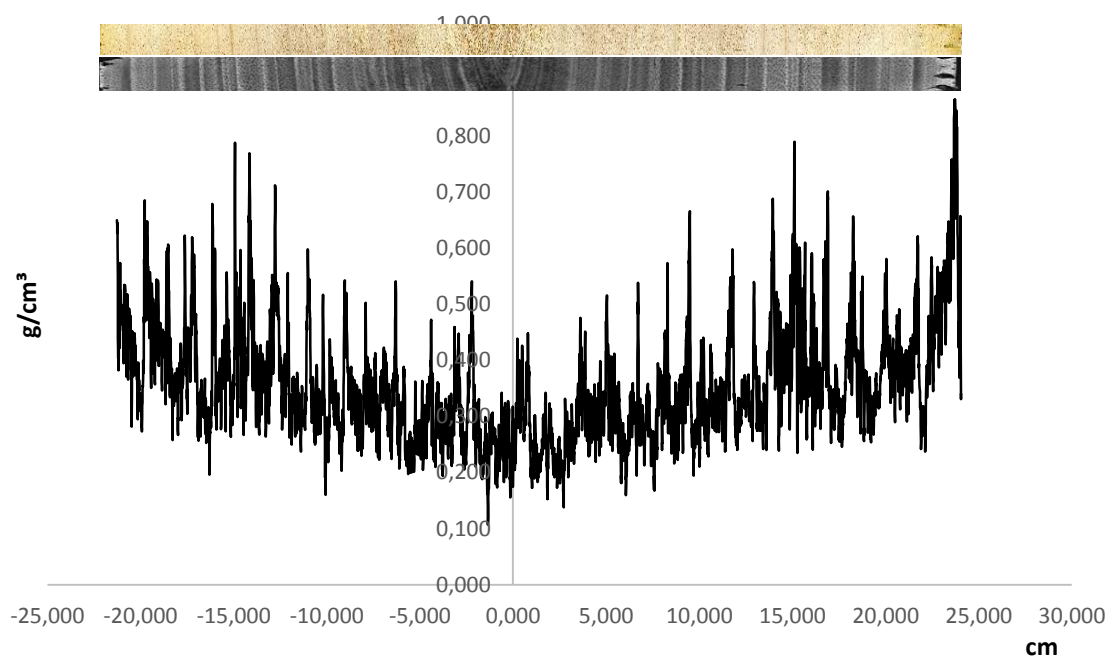
Perfis densitométricos obtidos pela Técnica de Densitometria de raios X



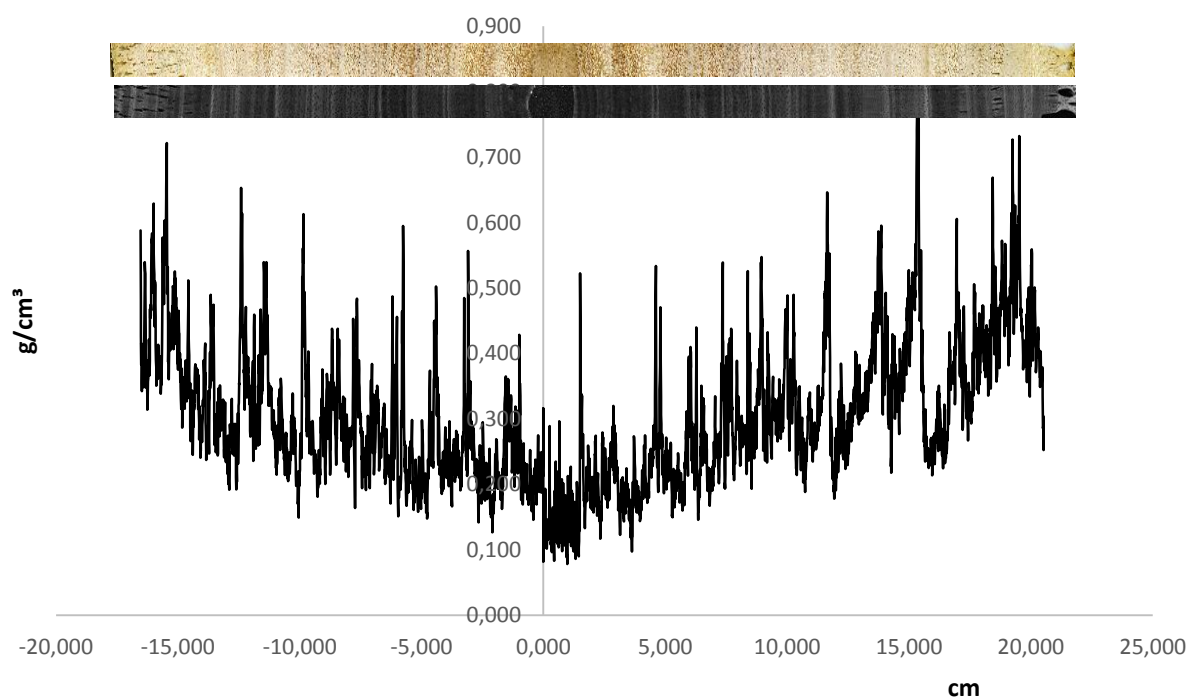
Apêndice III(a). Árvore 1 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de guapuruvu e da imagem obtida pelo equipamento de raios X digital



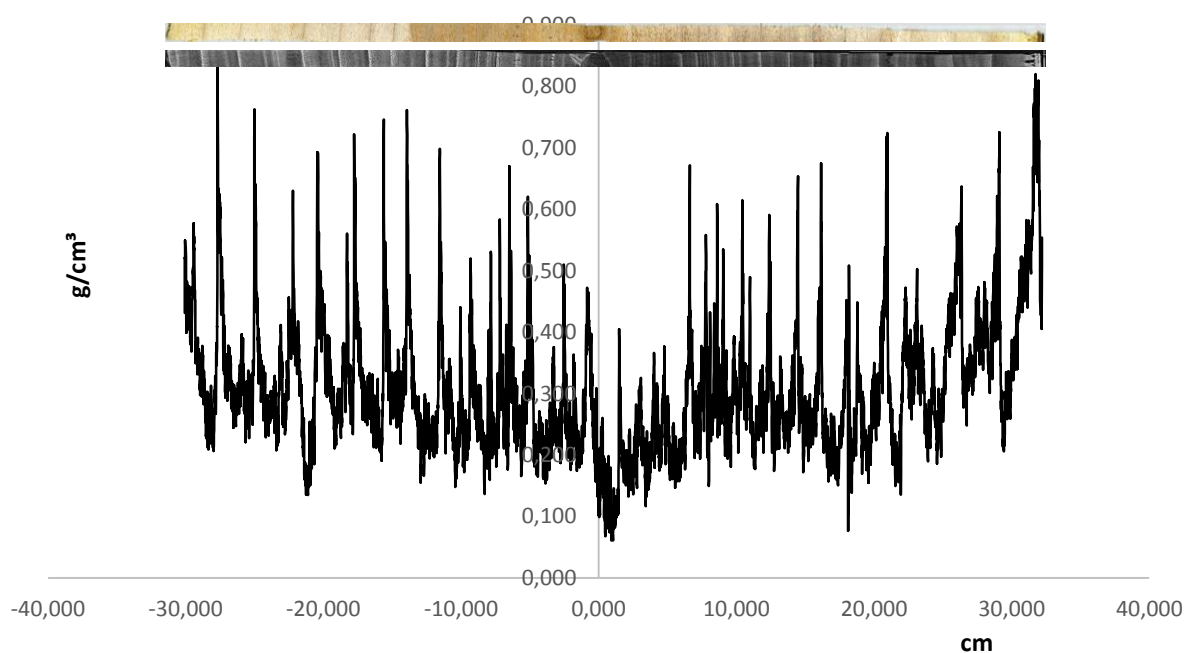
Apêndice III(b). Árvore 2 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de guapuruvu da imagem obtida pelo equipamento de raios X digital



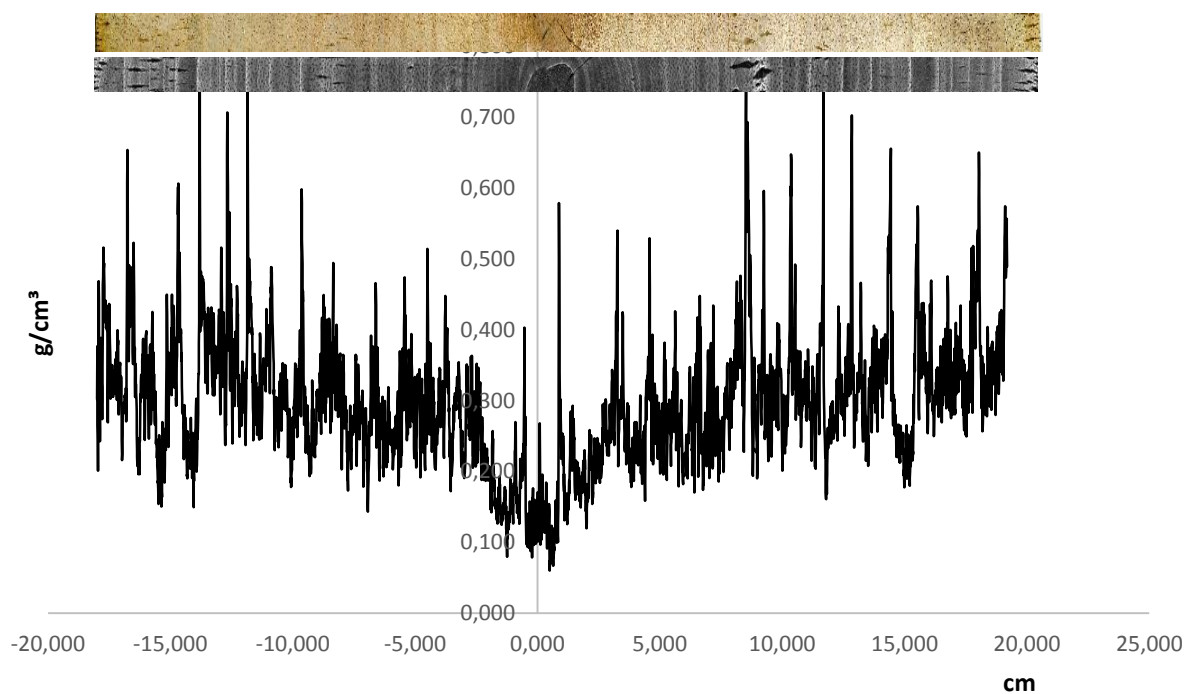
Apêndice III(c). Árvore 3 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de guapuruvu e da imagem obtida pelo equipamento de raios X digital



Apêndice III(d). Árvore 4 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de guapuruvu e da imagem obtida pelo equipamento de raios X digital



Apêndice III(e). Árvore 5 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de guapuruvu e da imagem obtida pelo equipamento de raios X digital



Apêndice III(f). Árvore 6 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de guapuruvu e da imagem obtida pelo equipamento de raios X digital