

BRÍGIDA MARIA DOS REIS TEIXEIRA

**VARIABILIDADE RADIAL E LONGITUDINAL DE PROPRIEDADES  
DA MADEIRA DE ANGICO-VERMELHO (*Anadenanthera peregrina*  
(L.) Speg.).**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

T266v  
2008

Teixeira, Brígida Maria dos Reis, 1982-  
Variabilidade radial e longitudinal de propriedades da  
madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*  
(L.) Speg.) / Brígida Maria dos Reis Teixeira. – Viçosa,  
MG, 2008.  
xviii, 52f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: José de Castro Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 38-42.

1. Madeira - Avaliação. 2. Madeira - Propriedades.  
3. Madeira - Propriedades mecânicas. 4. Madeira -  
Anatomia. 5. Madeira - Densidade. 6. Angico-vermelho.  
7. *Anadenanthera peregrina*. I. Universidade Federal de  
Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.9812

BRÍGIDA MARIA DOS REIS TEIXEIRA

**VARIABILIDADE RADIAL E LONGITUDINAL DE PROPRIEDADES  
DA MADEIRA DE ANGICO-VERMELHO (*Anadenanthera peregrina*  
(L.) Speg.).**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20 de junho de 2008.

---

Prof. Benedito Rocha Vital

---

Prof. José Tarcísio da Silva Oliveira

---

Prof<sup>a</sup>. Angélica de Cássia O. Carneiro

---

Prof<sup>a</sup>. Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho

---

Prof. José de Castro Silva  
(Orientador)

*Eu ouvi o papel roxo,  
papel roxo da maçã,  
que é mais cheiroso que o cravo,  
que é mais macio que a lã...  
Veio lá de muito longe,  
de um lugar onde faz frio,  
lugar de vento gelado,  
que dá na gente um arrepio!  
Ele me diz tanta coisa,  
tanta coisa que eu não sei:  
Automóvel, prédio e praia,  
Guerra, garra, rota e rei.*

...

*Pus o meu sonho num navio  
e o navio em cima do mar;  
depois, abri o mar com as mãos,  
para o meu sonho naufragar.  
Minhas mãos ainda estão molhadas  
do azul das ondas entreabertas,  
e a cor que escorre dos meus dedos  
colore as areias desertas.  
O vento vem vindo de longe,  
a noite se curva de frio;  
debaixo da água vai morrendo  
meu sonho, dentro de um navio...*

*O PAPEL ROXO DA MAÇÃ.  
Marcos Bagno*

*A MINHA FAMÍLIA (Mãe Geralda, Pai Toninho,  
Irmãos: Carol, Tudi e Marcos, sobrinho Caio),  
PARENTES, AMIGOS, AMOR...  
À DEUS, MARIA, aos SANTOS, aos ANJOS,  
GNOMOS, DUENDES E FADAS...  
Dedico esse trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

À DEUS, MARIA e meus pais (Geralda e Antônio), pela minha vida e por viver este momento.

Aos meus irmãos, Marcos, Tudinha e Carol, por toda paciência, atenção e carinho.

Ao meu lindo sobrinho, Caio, pelas brincadeiras.

Aos meus avós, tios, tias, primos e primas.

A tudo que representa o amor...

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela minha formação como Engenheira Florestal, pela oportunidade de treinamento em nível de mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado; à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), pelo apoio financeiro ao projeto.

Ao Professor José de Castro Silva, pela amizade, orientação, sugestões e, principalmente, críticas, que me fizeram crescer.

Ao Professor Ricardo Marius Della Lucia, pela orientação, ensinamentos, pelas grandes lições, exemplos de vida e, principalmente, por sua amizade, tão valiosa, que levarei por toda a minha vida.

Aos Professores Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, Benedito Rocha Vital, Hélio Garcia Leite, Ana Márcia Macedo L. Carvalho e José Tarcísio da Silva Oliveira, pela valiosa ajuda durante a realização desse trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM), do setor de Marcenaria, do setor de Parques e Jardins, da Silvicultura, e do Departamento de Engenharia Florestal.

Às graduandas em Engenharia Florestal, Helena e Lívia, o agradecimento especial, pela amizade, dedicação e valiosa ajuda em todas as etapas desse trabalho.

Às colegas de pós-graduação em Ciência Florestal, Carla, Zaíra, Solange, e Flávia, pela amizade e atenção.

Às minhas amigas Gláucia, Flaviane, Natália, Celma, Graça, Mariquinha e Taninha, pelo incentivo, torcida e paciência.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

*MUITO OBRIGADA*

## **BIOGRAFIA**

BRÍGIDA MARIA DOS REIS TEIXEIRA, filha de Antônio Fernando Teixeira e Geralda Maria dos Reis Teixeira, nasceu em 23 de junho de 1982, em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em 2000, concluiu o ensino fundamental no Colégio Pitágoras em Viçosa, Minas Gerais.

Em fevereiro de 2001, iniciou o curso de graduação em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa. Foi bolsista em projeto da Divisão de Extensão em 2003. Em 2005, foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) no projeto Rizolyptus.

Em maio de 2006, concluiu o curso de Graduação em Engenharia Florestal e, a seguir, iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal, na área de Tecnologia da Madeira, na mesma instituição.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE ANEXOS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xiv
RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvii
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivos específicos .....	3
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
3.1. <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg. (angico-vermelho) .....	5
3.2. Anatomia .....	6
3.3. Massa específica .....	9
3.4. Retratibilidade .....	10
3.5. Propriedades mecânicas .....	11
3.6. Correlações .....	13
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>

	<b>Página</b>
4.1. Localização e descrição do local.....	16
4.2. Amostragem, desdobro das toras e ensaios realizados .....	17
4.2.1. Anatomia .....	18
4.2.2. Massa específica.....	19
4.2.3. Retratibilidade .....	19
4.2.4. Propriedades mecânicas .....	19
4.3. Análises estatísticas.....	20
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
5.1. Resultados Dendrométricos.....	21
5.2. Anatomia .....	22
5.2.1. Descrição anatômica qualitativa .....	22
5.2.2. Descrição anatômica quantitativa .....	24
5.3. Massa específica básica e aparente .....	25
5.4. Retratibilidade linear e volumétrica.....	27
5.5. Propriedades mecânicas .....	29
5.6. Correlações.....	31
5.6.1. Correlações entre as propriedades.....	32
5.6.2. Correlações entre as propriedades em relação às direções radial e longitudinal .....	32
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>35</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1 Esquema de retirada dos corpos de prova.....	18
2 Imagens dos planos anatômicos das seções transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de angico-vermelho ( <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.) .....	23
3 Valores médios das dimensões das fibras na posição radial, sentido medula-casca.....	24
4 Valores da massa específica básica e aparente na posição radial, sentido medula-casca .....	26
5 Valores médios de massa específica aparente e básica na direção longitudinal, sentido base-topo .....	27
6 Valores médios para a contração volumétrica, tangencial e radial na direção radial, sentido medula-casca.....	28
7 Valores médios para a contração volumétrica e radial na direção longitudinal, sentido base-topo .....	29

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
1 Propriedades da madeira de angico-vermelho, nas condições, verde e 16% de umidade .....	13
2 Valores médios das propriedades mecânicas na direção radial (sentido medula-casca) e direção longitudinal (sentido base-topo)...	30
3 Coeficiente de correlação de Pearson entre as propriedades da madeira de angico-vermelho e a posição no tronco.....	33
4 Resumo dos resultados das propriedades da madeira de angico-vermelho ( <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.) nas direções radial e longitudinal.....	35

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Página</b>
A1	Dados dendrométricos das árvores de angico-vermelho..... 44
A2	Valores médios do comprimento das fibras (mm) das sete árvores de angico-vermelho em relação à variabilidade radial e longitudinal ..... 45
A3	Valores médios da largura das fibras ( $\mu\text{m}$ ) de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal ..... 45
A4	Valores médios do diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal..... 45
A5	Valores médios da espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal ..... 46
A6	Valores médios de massa específica básica da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal..... 46
A7	Valores médios de massa específica aparente da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal..... 46

A8	Valores médios de contração volumétrica (%) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.....	47
A9	Valores médios de contração tangencial (%) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.....	47
A10	Valores médios de contração radial (%) da madeira de sete árvores de angico-vermelho em relação à variabilidade nas direções radial e longitudinal.....	47
A11	Valores médios de contração longitudinal (%) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.....	48
A12	Valores médios do fator anisotrópico da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal .....	48
A13	Valores médios da resistência à compressão (kgf/cm <sup>2</sup> ) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal .....	48
A14	Valores médios da resistência ao cisalhamento (kgf/cm <sup>2</sup> ) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua à variabilidade nas direções radial e longitudinal.....	49
A15	Valores médios da dureza no plano radial (kgf) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.....	49
A16	Valores médios da dureza no plano tangencial (kgf) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal .....	49
A17	Valores médios da dureza no plano transversal (kgf) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal .....	50
A18	Valores médios do módulo de ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> ) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.....	50
A19	Valores médios do módulo de elasticidade (kgf/cm <sup>2</sup> ) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal .....	50

A20	Coeficiente de correlação de Pearson entre as propriedades da madeira de angico-vermelho.....	51
-----	---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

CV	coeficiente de variação
DP	desvio-padrão
mm <sup>2</sup>	milímetro quadrado
µm	micrômetro
g/cm <sup>3</sup>	gramas por centímetro cúbico
kgf	quilograma-força
kgf/cm <sup>2</sup>	quilograma-força por centímetro quadrado
MOR	módulo de ruptura
MOE	módulo de elasticidade

## RESUMO

TEIXEIRA, Brígida Maria dos Reis, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2008. **Variabilidade radial e longitudinal de propriedades da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.)**. Orientador: José de Castro Silva. Co-Orientadores: Ricardo Marius Della Lucia e Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

O objetivo deste trabalho foi determinar a variabilidade nas direções radial e longitudinal de algumas propriedades da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.), procedente de uma área de mata nativa, localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa, Estado de Minas Gerais. Foram determinadas a massa específica (básica e aparente), retratibilidade, compressão, cisalhamento, dureza Janka e resistência mecânica à flexão estática (MOR e MOE), determinadas segundo a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e ABNT MB-26 (1940). As propriedades anatômicas foram determinadas segundo a norma COPANT (1974). Utilizaram-se sete árvores, de idade desconhecida, tomadas aleatoriamente no campo, com medidas semelhantes de diâmetro à altura do DAP. Os resultados mostraram, através do teste Tukey, com 5% de significância, que houve diferença significativa entre as posições, no sentido medula-casca. Tais diferenças foram observadas entre as toras, no sentido base-topo, na maioria das propriedades estudadas. Observou-se uma tendência de aumento do comprimento de fibras, espessura de parede, massa específica básica e aparente, contração tangencial, contração radial, contração volumétrica, resistência à compressão, cisalhamento, dureza nos planos

radial, tangencial e transversal, além dos módulos de ruptura e de elasticidade na direção radial, sentido medula-casca. A largura das fibras e o diâmetro de lume apresentaram uma diminuição no mesmo sentido. Não se observou uma tendência nítida de variação na direção radial, para a contração longitudinal e fator anisotrópico. Observou-se uma tendência de diminuição da massa específica básica e aparente, resistência à compressão, cisalhamento, dureza nos planos radial e transversal, além dos módulos de ruptura e de elasticidade na direção longitudinal, sentido base-topo. Não se observou uma tendência nítida de variação longitudinal, no sentido base-topo, para o comprimento de fibras, largura de fibras, diâmetro de lume, espessura de parede, contração tangencial, contração radial, contração volumétrica, contração longitudinal, fator anisotrópico e dureza no plano tangencial.

## ABSTRACT

TEIXEIRA, Brígida Maria dos Reis, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2008. **Radial and longitudinal variability of properties of the wood of “angico-vermelho” (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.)**. Adviser: José de Castro Silva. Co-Advisers: Ricardo Marius Della Lucia and Angélica de Cássia Carneiro.

The objective of this work was to determine the variability in the radial and longitudinal directions of some properties of the “angico-vermelho” (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.) wood, from an area of native forest, located in the campus of the Universidade Federal de Viçosa, State of Minas Gerais, Brazil. The specific mass (basic and apparent), retractility, compression, shearing, Janka hardness and static bend mechanical resistance (MOR and MOE), were determined according to the norm NBR 7190 (ABNT, 1997) and ABNT MB-26 (1940) rule. The anatomical properties were determined according to the norm COPANT (1974) rule. Some dendrometrical variables associated with the logs were also evaluated. Seven trees were used, of unknown age, chosen at random in the field, with similar diameters at breast height (DBH). The results, by the Tukey test at 5% significance, showed that there are significant differences between the positions, in the pith-bark direction. These differences were observed among the logs, in the base-top direction, for the majority of the properties studied. A tendency of increase of the fibers length, on the wall thickness, on the basic and apparent specific mass, on the tangential retraction, radial retraction, on the volumetric retraction, on the compression resistance, on the

shearing, on the hardness on the radial, tangential and cross sections, and on the rupture and elasticity modules on the radial direction, in the pith-bark orientation was observed. The fiber width and the lumen diameter showed a decrease in the same orientation. A clear tendency of variation in the radial direction, for the longitudinal retraction and for the anisotropic factor was not observed. A tendency of the decrease on the basic and apparent specific mass, on the compression resistance, on the shearing, on the hardness on the radial and cross sections was observed, as well as on the rupture and elasticity modules in the longitudinal direction, on the base-top orientation. A clear tendency of longitudinal variation, on the base-top orientation, for the fiber length, fiber width, lumen diameter, wall thickness, tangential retraction, radial retraction, volumetric retraction, longitudinal retraction, anisotropic factor and hardness on the tangential plane, was not observed.

## **1. INTRODUÇÃO**

A despeito da existência de muitos sucedâneos, a madeira tem conservado muitos usos em virtude de suas propriedades e características, tais como: beleza, resistência mecânica em relação ao peso, facilidade de uso, baixa condutibilidade térmica e agradável ao tato. Os setores que utilizam outros produtos, como aço, alumínio e plástico, no entanto, têm tentado ocupar o espaço da madeira, apesar de estes materiais serem comprovadamente restritivos dos pontos de vista ambiental, econômico e estratégico.

Nas últimas décadas, a matriz produtiva brasileira de produtos sólidos da madeira apresentou uma substancial transformação. É cada vez maior a tendência dos centros consumidores do sul do País se abastecerem de madeira serrada e de outros produtos sólidos, com matéria-prima oriunda de reflorestamentos, localizados na própria região, em função dos problemas de falta de acesso, infra-estrutura e altos custos de transporte, enfrentados pelos madeireiros do norte do País, bem como a cobrança e a vigilância dos organismos internacionais quanto à questão ambiental.

O setor industrial de base florestal tem deparado com desafios significativos no que diz respeito ao processamento e aceitação de seus produtos. O primeiro grande desafio é a crescente expansão dos mercados para a “madeira ambientalmente correta”, exemplificado pela crescente força mercadológica dos “selos verdes” em todo o mundo; um segundo desafio é a globalização dos mercados consumidores,

com a conseqüente necessidade de aumento na produtividade e o atendimento a padrões de qualidade cada vez mais exigentes.

Até o presente momento, a grande experiência silvicultural brasileira se resumiu na produção de florestas jovens, de ciclo curto e de rápido crescimento envolvendo o gênero *Eucalyptus*, principalmente. Toda a madeira de reflorestamento atualmente disponível foi projetada para a utilização na produção de celulose, carvão vegetal e painéis, e, ainda, não se tem a madeira ideal para outros usos, como indústria moveleira e construção civil. Em vista da falta de controle da matéria-prima e dos parâmetros dependentes do processamento, as experiências na área de serraria e marcenaria têm-se mostrado muito restritas, quanto à possibilidade de suas extrapolações. Esse quadro tem grandes possibilidades de reversão, na medida em que se romperem alguns preconceitos e se aprofundarem os estudos sobre as inúmeras alternativas de uso de madeiras nativas e algumas exóticas, principalmente na indústria moveleira, construção civil e embalagens.

Não obstante o substancial avanço tecnológico observado nos últimos anos, quando se pensa na utilização da madeira para produtos sólidos, o setor vem enfrentando dificuldades em todos os segmentos dessa atividade. Para esses fins, a madeira carece de uma melhor adaptação da tecnologia de produção (melhoramento genético e práticas silviculturais adequadas), passando pela tecnologia de processamento (técnicas de colheita, desdobro e secagem) até atingir a fase de utilização (acabamento e design) e, além disso, enfrenta problemas de comercialização e aproveitamento de seus subprodutos.

A flora brasileira é extremamente rica em biodiversidade e apenas um pequeno número de espécies passou por estudos de caracterização e definição de usos. O mercado nacional e internacional de madeiras possui um elenco muito reduzido de espécies comercialmente aceitas. Tal restrição se deve ao pouco conhecimento das características das madeiras em questão, não tornando acessíveis ao público consumidor as informações sobre as madeiras potencialmente aptas para usos múltiplos.

Devido a sua vasta distribuição por todo o território brasileiro, a espécie *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., mais conhecida como angico-vermelho, apresenta-se com grande potencial para substituir outras madeiras mais nobres, mas já reconhecidamente raras.

## **2. OBJETIVO**

Devido à necessidade de se realizar um estudo mais aprofundado sobre a constituição e propriedades da madeira de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (angico-vermelho), este trabalho teve como objetivo principal caracterizar a madeira, visando a sua utilização como madeira sólida para usos múltiplos, principalmente, na indústria moveleira e construção civil.

### **2.1. Objetivos específicos**

Caracterizar a madeira de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., determinando as seguintes propriedades:

- Massa específica.
- Anatomia da madeira, com descrição nos três planos ortogonais e através de mensurações dos elementos anatômicos nas direções radial (sentido medula-casca) e longitudinal (sentido base-topo).
- Retratibilidade volumétrica e linear da madeira.

- Propriedades mecânicas da madeira, através da realização de ensaios de flexão estática (MOE e MOR), compressão paralela às fibras, dureza Janka e cisalhamento.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (angico-vermelho)

A espécie *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., conhecida como angico-vermelho e pertencente à Família Fabaceae Mimosoideae, apresenta uma grande dispersão por todo o território brasileiro, ocorrendo desde o estado do Maranhão e em toda a Região Nordeste, estendendo-se até os estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, principalmente na Floresta Latifoliada Semidecídua (LORENZI, 1992). De acordo com Paula e Alves (1997), a espécie ocorre nos Biomas do Cerrado e Mata Ciliar do Centro-Oeste, Caatinga, Mata Atlântica e Serra da Mantiqueira, além do Peru, Bolívia, Paraguai e Argentina.

As árvores apresentam uma altura que varia de 13 a 20 metros, tronco de 40-60 cm de diâmetro, copa ampla, casca marrom-claro, quase lisa, rica em tanino, muito utilizada em curtumes (LORENZI, 1992; PAULA e ALVES, 1997). Sua madeira é moderadamente pesada, compacta, de grande durabilidade, sob condições naturais (LORENZI, 1992). De modo geral, a madeira é de boa qualidade para geração de energia, notadamente carvão e lenha (PAULA e ALVES, 1997). Pode ser utilizada na construção rural, naval e civil, na forma de vigas, caibros, ripas, marcos de portas e janelas, tacos e tábuas para assoalho, esquadrias; pode, ainda, ser usada na fabricação de carrocerias, dormentes, cruzetas, madeiramento de currais, estacas,

esteios, postes, mourões e outros usos, como fabricação de móveis, faqueados, lambris e peças torneadas (BARBOSA e BARBOSA, 1999).

As espécies de angico possuem alburno pardo-rosado, cerne pardo-avermelhado, podendo revelar tonalidade amarelada uniforme, castanho-rosado que depois se torna castanho-escuro (REITZ, 1983). Segundo o mesmo autor, a espécie apresenta superfície pouco lustrosa e lisa, sabor levemente adstringente, madeira pesada, elástica, dura e bastante durável.

O cerne possui cor vermelho-claro (IOR 6/8), com superfície lisa e lustrosa, grã direita, textura fina, odor e sabor não característicos (VIEIRA, 1986).

Segundo Melo (1945), o angico apresenta cerne resistente, pesado, duro ao corte, apresentando veias e estrias harmoniosamente onduladas, que dão aspecto muito agradável à madeira, e que oferece excelente superfície para envernizamento.

Mori *et al.* (2003) afirmaram que a espécie (*Anadenanthera peregrina* (Benth) Speng) apresenta boa trabalhabilidade ao ser processada e manufaturada para a confecção de móvel e teve boa aceitação do verniz e demais acabamentos. Afirmaram, ainda, que o angico pode produzir lenha e carvão de qualidade, já que apresenta um alto teor de lignina.

Segundo Marcati (1992), a madeira de angico-vermelho apresenta o lenho de textura média, superfície com brilho e anéis de crescimento bem visualizados, demarcados por zonas fibrosas mais escuras, o que confere à madeira um valor decorativo pelos desenhos que forma. Do ponto de vista comercial, há bastante interesse nesse aspecto. Analisando as propriedades tecnológicas da madeira, a mesma autora verificou que não ocorreram problemas de empenamento e fendilhamento nas peças submetidas ao desdobro, embora ocorressem rachaduras como consequência de tensões de crescimento. A madeira apresentou boas condições de adesão, acabamento e durabilidade natural, além de boa aceitação a vernizes.

Mainieri e Chimelo (1989) afirmaram que a madeira de angico-vermelho apresenta propriedades mecânicas semelhantes às madeiras de imbuia, peroba-rosa, mogno e andiroba.

### **3.2. Anatomia**

Durante a formação da madeira, numerosos fatores, tanto internos quanto externos à árvore, conduzem a variações no tipo, número, tamanho, forma, estrutura

física e constituição dos seus elementos. Sua estrutura anatômica, bem como suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, variam de espécie para espécie, de uma árvore para outra, dentro da mesma espécie e, mesmo, de uma parte para outra na mesma árvore. Alguns pesquisadores (CHIMELO, 1980; MATEUS, 1977) afirmam que as diferenças nas propriedades estão diretamente relacionadas com a estrutura anatômica da madeira. Assim, a utilização de partes da madeira para uma aplicação específica depende de suas propriedades que, por sua vez, são influenciadas pela estrutura anatômica.

Os estudos anatômicos não se restringem apenas à identificação das espécies. Eles permitem, através da informação que fornecem sobre a estrutura do lenho, estabelecer relações entre si e as características gerais da madeira, no que se refere à resistência mecânica, trabalhabilidade e permeabilidade (MATEUS, 1977).

Segundo Moreira (1999), o lenho das árvores é constituído por diferentes tipos de células. As folhosas formam um grupo especial e apresentam uma grande variação em termos de tipos e arranjos celulares. Segundo Dadswell (1972), Knigge e Koltzenburg (1965), o comprimento das fibras, vasos e células do parênquima axial é diretamente influenciado pelas divisões das células iniciais fusiformes no câmbio; tais células originam os elementos dispostos no sentido longitudinal; as células radiais, por sua vez, originam os elementos dispostos no sentido radial (raios). O seu processo de desenvolvimento envolve cinco etapas: a) divisão celular; b) diferenciação; c) crescimento em área; d) espessamento da parede; e) lignificação. As etapas de desenvolvimento mencionadas, segundo Morey (1981), definem o comprimento, a largura, o diâmetro do lume e a espessura da parede das células.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980) e Tsoumis (1991), a variação do comprimento das células reflete duas fases: a) uma fase inicial, conhecida como período juvenil, próximo à medula, onde ocorrem mudanças fundamentais na composição da parede, associadas ao período de maturação cambial, onde ocorre um rápido aumento no comprimento da célula; b) uma segunda fase, onde o câmbio já se encontra maduro, produzindo células cujo comprimento pode variar intensamente nos anéis de crescimento adjacentes e, em consequência, resultando numa maior estabilidade.

Segundo Tomazelo Filho (1985a), Andrade (1987) e Wilkes (1988), as células cambiais passam a produzir, durante um certo tempo, elementos com maiores dimensões, até atingir a sua estabilização, em idades mais avançadas, ao longo do

raio. Em função disso, há um aumento no comprimento das fibras no sentido medula-casca, com o aumento da idade. Assim, as fibras localizadas nas camadas de crescimento, mais próximas da medula e a um dado nível do tronco, apresentam menores dimensões do que àquelas localizadas nas camadas finais de crescimento, mais próximas à casca. Tal fato foi constatado por Dadswell (1972), Knigge e Koltzenburg (1965), Tomazello Filho (1985b), Wilkes (1988), Shimoyama (1990), Trugilho *et al.* (1996), Oliveira (1997) ao estudarem outras espécies. Hans e Burley (1972), também verificaram uma variação crescente no comprimento das fibras, no sentido medula-casca.

Segundo Shimoyama (1990), a largura das fibras está relacionada a fatores genéticos e ambientais, além do crescimento sazonal. Na primavera e verão, por exemplo, a árvore produz maior quantidade de hormônios, acarretando maiores aumentos na largura das células. Hormônios específicos agem no arranjo das fibrilas, ora afrouxando-as, através de um aumento do ângulo fibrilar e aumento do diâmetro da fibra, ora concentrando-as, através da diminuição do ângulo fibrilar, acarretando uma diminuição da largura das fibras. Segundo a mesma autora, a largura das fibras é influenciada pela idade cambial e tende a aumentar no sentido medula-casca. A mesma autora, citando outros pesquisadores, afirmou que, quanto maior a largura das fibras, menor a massa específica. O diâmetro do lume, por sua vez, está relacionado com a largura e espessura da parede das fibras. Assim, quanto maiores forem os seus valores, mais espaços vazios serão encontrados na madeira, indicando uma menor massa específica. Segundo Panshin e De Zeuw (1980), a espessura da parede das fibras de folhosas tende a aumentar no sentido medula-casca, situação também observada por Tomazello Filho (1985b). Shimoyama (1990) citou inúmeros pesquisadores que encontraram relações positivas entre a massa específica e a espessura da parede das fibras, chegando, mesmo, a concluir que a massa específica pode dar indicações da espessura da parede da fibra.

A média de comprimento de fibras das folhosas dos Estados Unidos está em torno de 1 mm (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999), e a média de 104 espécies de folhosas do Brasil está em torno de 1,42 mm (MAINIERI e CHIMELO, 1989). Em estudo realizado por Marcati (1992), o comprimento de fibras do angico-vermelho foi de 1,056 mm, apresentando-se dentro da média das folhosas dos Estados Unidos, e menor que a média das folhosas do Brasil.

### 3.3. Massa específica

A massa específica da madeira é uma das propriedades mais estudadas na caracterização tecnológica da madeira, devido a sua facilidade de determinação e, principalmente, a sua íntima relação com outras propriedades, por isso, tornou-se um parâmetro muito utilizado para qualificar a madeira, nos diversos segmentos da atividade industrial. Segundo Tsoumis (1991), a massa específica é uma medida da quantidade de material na parede celular, presente em certo volume e é, também, uma indicadora do volume de espaços vazios na madeira.

Chimelo (1980) e Gérard *et al.* (1995) afirmaram que, geralmente, a massa específica se apresenta correlacionada com a retratibilidade, secagem, trabalhabilidade, impregnabilidade e várias propriedades mecânicas.

Oliveira *et al.* (1990) e Lima *et al.* (2000) asseguraram que a massa específica é uma boa indicadora de qualidade da madeira, em função das várias correlações com outras propriedades; entretanto, ela não indica, de forma direta e conclusiva, valores das propriedades mecânicas, dimensões dos elementos anatômicos, poder calorífico, composição química ou existência de defeitos internos. Assim sendo, quando analisada de forma isolada, a massa específica não representa um parâmetro bom e seguro para uma definição de usos.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), a massa específica pode variar entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, árvores de uma mesma espécie e até diferentes partes de uma única árvore ou de um pedaço de madeira.

Segundo Kollmann e Côté (1968), as variações da massa específica se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, em função, principalmente, da idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratos silviculturais. A estrutura da madeira a que se referem os autores está relacionada à espessura da parede celular e ao tamanho e à quantidade proporcional de diferentes tipos de células (fibras, traqueídeos, vasos, dutos de resina e parênquima). Nas madeiras da mesma espécie, as variações são decorrentes, principalmente, de alterações nos componentes estruturais e químicos. Vital (1984) afirmou que os efeitos, em geral, são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente e não se consegue modificar uma propriedade sem que as demais sejam alteradas.

Segundo Tomazello Filho (1985a), as variações da massa específica nos sentidos longitudinal/radial do tronco estão relacionadas com a idade da árvore, genótipo, condições ambientais de crescimento e amostragem. Variações no sentido base-topo têm sido constatadas em várias situações, porém, sem obedecer a um padrão bem definido; no sentido transversal, no entanto, tem sido observada uma tendência bem definida de aumento no sentido medula-casca em várias espécies.

O IPT (1956), em relação à massa específica aparente a 15 % de umidade, qualificou a madeira de angico-vermelho como moderadamente pesada sendo 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Segundo Lorenzi (1992), a madeira é pesada, com massa específica em torno de 0,93 g/cm<sup>3</sup>.

Marcati (1992) afirmou que a massa específica média de angico-vermelho é 0,65 g/cm<sup>3</sup>, observando-se um aumento no sentido radial, medula-casca, e um decréscimo com a altura da árvore.

Mori *et al.* (2003) concluíram que a massa específica tende a aumentar da base para o topo com uma amplitude de variação significativa, baseados na média dos resultados dos dados da massa específica básica da base (0,64 g/cm<sup>3</sup>) para o topo (0,57 g/cm<sup>3</sup>) da árvore,

### **3.4. Retratibilidade**

A madeira é um material orgânico, de estrutura complexa e heterogênea, que aumenta e diminui as suas dimensões, de acordo com a umidade do ambiente. Essa variação no teor de umidade afeta a geometria das peças em serviço e, por conseqüência, as características de resistência mecânica dos elementos estruturais.

Durlo e Marchiori (1992) asseguraram que as variações dimensionais e a anisotropia são características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades; exigem, por isso, técnicas específicas de processamento e utilização. Panshin e De Zeeuw (1980) e Moreira (1999) afirmaram que as contrações ocorrem mais intensamente no sentido transversal das fibras do que no longitudinal, em função de sua característica anisotrópica; afirmaram, ainda, que a maior alteração dimensional da madeira se manifesta no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela dimensão radial, mostrando-se praticamente, desprezível no sentido longitudinal. Segundo Vital e Trugilho (1997), as variações dimensionais, provocadas pela contração e inchamento da madeira, ocorrem quando

há flutuações na umidade da madeira a um ponto abaixo da umidade de saturação das fibras. Segundo Tsoumis (1991), Vital e Trugilho (1997) e Rocha (2000), a magnitude da variação dimensional é normalmente maior para madeiras de maior massa específica, devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume observado; além disso, madeiras de maior massa específica, para um mesmo teor de umidade, contêm mais água na parede celular. Moreira (1999), em estudo com madeiras de várias espécies, verificou que as contrações radial e volumétrica aumentaram no sentido medula-casca, como um reflexo do aumento da massa específica.

Panshin e De Zeeuw (1980) afirmaram que, na madeira juvenil, a contração é mais elevada na região mais próxima da medula, apresentando uma diminuição no sentido medula-casca. Tal variação está relacionada à redução do ângulo microfibrilar na parede celular, ao aumento do comprimento da célula e ao aumento do teor de celulose. Na madeira madura normal, as contrações transversais e volumétricas estão diretamente relacionadas com a massa específica, ângulo microfibrilar das paredes celulares e teor de extrativos presentes no cerne.

Marcati (1992), após a realização de estudos com angico-vermelho, concluiu que a relação entre a contração tangencial e radial da madeira, a 0 % de umidade, é de 2,27 e se compara àquela encontrada na madeira de imbuia (*Ocotea porosa* (Ness.e Mart.) Barroso), que é de 2,33; apesar dessa relação relativamente alta, a autora não observou problemas de empenamento e fendilhamento nas tábuas.

### **3.5. Propriedades mecânicas**

Segundo Tsoumis (1991), as propriedades mecânicas da madeira são a medida da sua resistência a forças exteriores que tendem a deformar a sua massa. A resistência da madeira para tais forças depende da magnitude das mesmas e da maneira como é feito o carregamento. Segundo Sousa Júnior (2004), devem ser conhecidos os esforços a que a madeira está submetida, na maioria das situações em que é utilizada. A determinação das propriedades mecânicas da madeira possibilita o correto dimensionamento dos vários componentes que formam o conjunto estrutural.

Segundo Kollmann e Côté (1968), Forest Products Laboratory (1999), as propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por fatores diversos, como idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura,

constituintes químicos, apodrecimento, massa específica, constituição anatômica, duração da tensão e da deformação, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos. Tal número de variáveis permite concluir que a madeira é um material de comportamento extremamente complexo.

O módulo de ruptura e o módulo de elasticidade são dois parâmetros normalmente determinados nos testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira; ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais (MOREIRA, 1999). Segundo Tsoumis (1991), a massa específica, retratibilidade, módulo de ruptura e módulo de elasticidade são considerados os mais importantes parâmetros físicos-mecânicos para a caracterização da madeira sólida. Os seus valores expressam a combinação de diversos fatores, incluindo a constituição morfológica, anatômica e química da madeira.

A resistência à flexão ou módulo de ruptura é uma das mais importantes propriedades da madeira como material construtivo, sendo o fator primordial na construção de casas, pontes, telhados, construções marítimas e demais construções de madeira (OLIVEIRA, 1997). A resistência de uma peça de madeira, submetida à flexão, é expressa em termos de esforços por unidade de área, através do módulo de ruptura, representando o máximo esforço que é aplicado sobre as fibras nos extremos superior e inferior da seção transversal da peça. Os valores do módulo de ruptura são utilizados para a obtenção de tensões admissíveis para diversas formas de utilização da madeira (SILVA, 2002).

Lima, Breese e Cahalan (2000), verificaram que o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) aumentaram seus valores no sentido medula-casca. Della Lucia e Vital (1983), estudando o comportamento de *Eucalyptus saligna*, com quarenta anos de idade, detectaram um módulo de elasticidade maior na madeira do cerne, em relação ao alburno. Chimelo (1980), procurando relacionar as propriedades mecânicas e a massa específica, verificou um alto nível de associação estatística entre a massa específica e as propriedades de resistência à flexão estática, como o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade.

Para madeiras utilizadas em componentes de móveis com elevado esforço, como peças de cadeiras, camas, mesas, estantes, bancos e sofás, Ashley e Ozarska (2000) recomendaram um material que apresentasse valores de 80.000 a 120.000

kgf/cm<sup>2</sup> para módulo de elasticidade, e valores próximos de 800 kgf/cm<sup>2</sup> para módulo de ruptura.

Marcati (1992) estudou algumas propriedades da madeira de angico-vermelho que podem ser observadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Propriedades da madeira de angico-vermelho, nas condições, verde e 16% de umidade.

Propriedades	Verde	16 % Umidade
Compressão paralela às fibras (kgf/cm <sup>2</sup> )	381	495
Cisalhamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	91	104
Dureza axial (kgf)	473	706
Dureza radial (kgf)	505	667
Dureza tangencial (kgf)	436	639
Módulo de ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	844	1.045
Módulo de elasticidade (kgf/cm <sup>2</sup> )	79.836	94.947

### 3.6. Correlações

O conhecimento e a compreensão da variabilidade da madeira e das suas relações com as propriedades têm grande importância porque fornecem subsídios para as diversas áreas da ciência florestal, como o melhoramento, a silvicultura e os diversos campos do setor industrial de base florestal. As informações geradas poderão ser utilizadas para se melhorar a qualidade da madeira na floresta, como a obtenção de matéria-prima mais homogênea e com características desejáveis para uma utilização determinada.

Carvalho (1997) afirmou que o conhecimento das correlações entre os parâmetros químicos, anatômicos e físico-mecânicos e das variáveis que os afetam são de grande importância para uma correta interpretação das variações que ocorrem na madeira, visando facilitar o desenvolvimento de técnicas adequadas para a obtenção de uma matéria-prima mais homogênea e com características desejáveis para um determinado produto final.

Segundo Moreira (1999), o estudo das características da madeira e de suas inter-relações é muito importante, em termos de entendimento do comportamento da madeira e de seu melhor aproveitamento. Segundo o mesmo autor, o interior do tronco não é uma massa homogênea e tais variações se devem à presença de alburno,

cerne e madeira juvenil, gerando diferenças consideráveis em muitas propriedades da madeira.

Vários são os parâmetros utilizados para a determinação da qualidade da madeira para um determinado uso ou um conjunto de usos. Esses parâmetros são normalmente classificados como químicos, anatômicos e físico-mecânicos. No que se refere aos parâmetros químicos, os teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e elementos minerais têm sido considerados como os mais relevantes. No que se refere aos parâmetros anatômicos, destacam-se a porcentagem e as dimensões de fibras, vasos, raios e parênquima. No que se refere aos parâmetros físico-mecânicos, a massa específica, a retratibilidade e a resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) têm sido considerados os mais importantes, sendo características bastante complexas, resultantes da combinação de diversos fatores, incluindo a constituição anatômica, química e morfológica da madeira (CARVALHO,1997).

Em termos gerais, as características anatômicas da madeira, como comprimento de fibra, espessura da parede, diâmetro do lume, proporção dos vários tipos de células e tecidos, como vasos e parênquima, possuem certa relação com a massa específica. Tal propriedade se correlaciona com as dimensões das fibras, com exceção da largura, que permanece praticamente inalterada. Barrichelo *et al.* (1983) afirmaram que as madeiras de maior massa específica apresentavam maior comprimento de fibras, maior espessura de parede celular e menor diâmetro de lume. Madeiras mais densas apresentam, em geral, fibras mais rígidas, com menores diâmetros e paredes mais espessas. Vital *et al.* (1984) afirmaram que, normalmente, a densidade tende a aumentar com a idade das árvores, como conseqüência do aumento da espessura da parede celular e da redução da largura das células.

Barrichelo *et al.* (1983) afirmaram que as dimensões estão correlacionadas entre si: o comprimento de fibra está diretamente correlacionado com a espessura da parede e inversamente correlacionado com o diâmetro do lume; por outro lado, a fibra que apresenta maior diâmetro de lume é, em geral, menos espessa.

A largura das fibras é uma característica que deixa dúvida quanto à sua relação com a massa específica: se as fibras possuírem diâmetros grandes e paredes espessas, encontrar-se-ão correlações positivas; se, ao contrário, as fibras forem largas, mas com paredes finas, a correlação será negativa.

O diâmetro do lume depende da largura e da espessura da parede das fibras: quanto maior o seu valor, mais espaços vazios serão encontrados na madeira e, conseqüentemente, menor massa específica básica. Quanto maior o diâmetro e o número de vasos na madeira, maior a área de espaços vazios; suas correlações com a massa específica básica, nesse caso, quando encontradas, mostrar-se-ão negativas.

Bendtsen e Senft (1986) afirmaram que as diferenças anatômicas, em relação às mudanças lenho juvenil/adulto, são mais acentuadas nas coníferas que nas folhosas. A mudança no comprimento de fibras em folhosas é de, aproximadamente, o dobro, enquanto que nas coníferas, a alteração no comprimento corresponde o seu triplo ou quádruplo; nas folhosas, o ângulo fibrilar se altera de 28 para 10°, enquanto nas coníferas o ângulo fibrilar muda de 55 para 20°. Os mesmos autores afirmaram que, na região da medula ou próximo dela, as fibras são mais curtas, apresentam menores diâmetros e, geralmente, paredes mais finas. Nessa região, o ângulo fibrilar é maior e diminui rapidamente em direção à casca. Nessa direção, ocorre um aumento rápido do diâmetro dos vasos.

Chimelo (1980), procurando relacionar as propriedades mecânicas e massa específica, verificou um alto nível de associação estatística entre a massa específica e as propriedades de resistência à flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade), compressão paralela e perpendicular às fibras, cisalhamento e dureza paralela e transversal às fibras. Moreira (1999), em estudo com várias espécies, verificou que as propriedades mecânicas apresentaram correlações significativas com muitas das características anatômicas, principalmente à proporção de fibras e vasos; o módulo de elasticidade à flexão estática, em especial, apresentou boas relações com fibras, raios e teor de lignina.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada no trabalho originou-se de sete árvores de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., procedentes de uma área de mata nativa, localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa, Estado de Minas Gerais.

### 4.1. Localização e descrição do local

As árvores selecionadas estavam localizadas dentro do campus da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa, nas coordenadas 20°45' S e 42°55' W. A altitude varia de 600 a 800 m (MEIRA-NETO, 1997). Segundo a classificação de Köpen, o clima é do tipo Cwb, mesotérmico, com verões chuvosos, invernos frios e secos. A precipitação média é de aproximadamente, 1.200 mm. Há um excedente hídrico de novembro a abril; a precipitação fica abaixo da evapotranspiração potencial de abril até setembro, causando um déficit hídrico nesse período; e nos meses de setembro a novembro a precipitação volta a ser maior que a evapotranspiração, definindo uma estação seca e outra chuvosa (MARANGON, 1999).

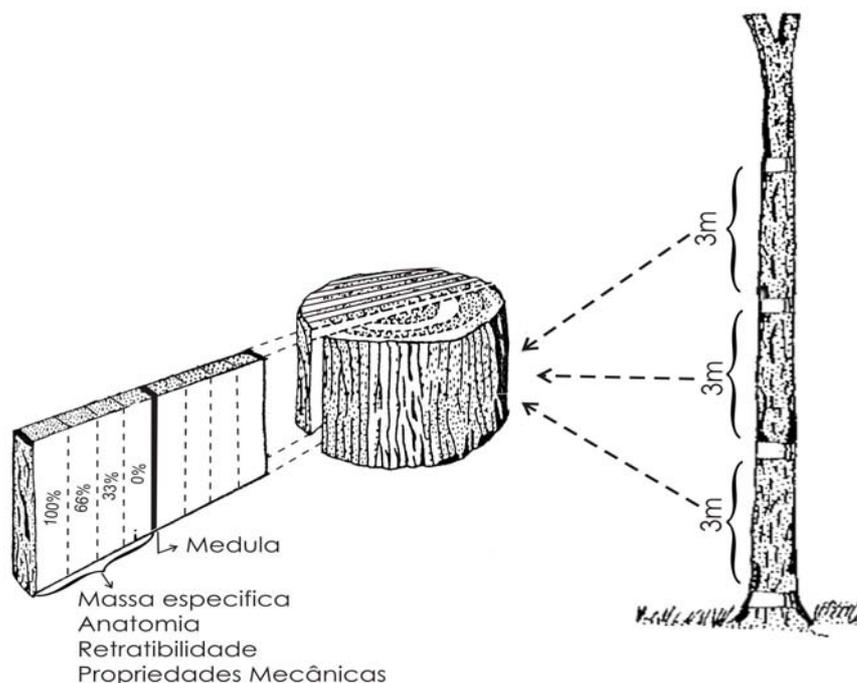
Quanto à topografia, são bem característicos os chamados “mares de morros”, de ampla distribuição na paisagem, cujos vales estreitos apresentam relevo acidentado, ondulado e montanhoso. Nos topos e nas encostas dos morros, ocorre o Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, enquanto nos terraços o solo é o Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico (MEIRA-NETO 1997).

## **4.2. Amostragem, desdobro das toras e ensaios realizados**

Utilizaram-se sete árvores, de idade desconhecida, tomadas aleatoriamente no campo, com medidas semelhantes de diâmetro à altura do DAP, que foram seccionadas em toras de três metros. Utilizaram-se as três primeiras toras, que foram identificadas e depois transportadas para o Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM), do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa.

Em seguida, desdobraram-se as toras num engenho de serra fita simples, utilizando-se cortes paralelos, sendo obtidas tábuas de 3 metros de comprimento, 3 centímetros de espessura e largura variável. Do centro de cada tora, obteve-se uma prancha diametral, com 5 centímetros de espessura e largura correspondente ao diâmetro. As tábuas e as pranchas diametraes foram identificadas, individualmente e foram colocadas em pilhas para secagem natural.

As pranchas diametraes foram prontamente preparadas para retirada de corpos-de-prova. De cada prancha retirou-se uma amostra de madeira, com cerca de um metro de comprimento, pertencente ao terço superior da tora, que foi usada na preparação dos corpos de prova para a determinação da massa específica, retratibilidade, anatomia e propriedades mecânicas, conforme pode ser visto na Figura 1. Para a determinação da massa específica, retratibilidade e propriedades mecânicas utilizou-se a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Para a descrição anatômica da madeira, utilizou-se a norma ABNT MB-26 (1940).



**Figura 1:** Esquema de retirada dos corpos de prova

#### 4.2.1. Anatomia

Para a descrição anatômica da madeira, utilizaram-se amostras retiradas do terço superior da prancha diametral, com formato retangular, provenientes de regiões radiais equidistantes (0, 33, 66 e 100% de distância no sentido medula-casca), com dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a última no sentido longitudinal.

Das amostras retiraram-se pequenos fragmentos que foram colocados num tubo de ensaio, com solução de peróxido de hidrogênio, segundo método preconizado por Dadswell (1972). Posteriormente, montaram-se lâminas temporárias e mediu-se trinta fibras, individualmente, determinando-lhes o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede. Para as medições do comprimento, largura da fibra e diâmetro do lume das fibras utilizou-se um microscópio ótico, com um sistema de aquisição de imagens, através de uma câmera acoplada, possibilitando a visualização das fibras, diretamente no monitor e posterior captura da imagem, com o auxílio do software Axio-Vision.

Para a descrição anatômica qualitativa da madeira, realizaram-se cortes histológicos dos três planos fundamentais de cada amostra: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, segundo norma da COPANT (1974). Os cortes foram feitos com a espessura de 16 µm, através de um micrótomo de deslize.

#### **4.2.2. Massa específica básica e aparente**

Para a determinação da massa específica básica e aparente da madeira, utilizaram-se amostras retiradas do terço superior da prancha diametral, com formato retangular, provenientes de regiões radiais equidistantes (0, 33, 66 e 100% de distância no sentido medula-casca), com dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a última no sentido longitudinal. A determinação da massa específica foi realizada de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

#### **4.2.3. Retratibilidade**

Para a determinação da retratibilidade linear e volumétrica, utilizaram-se amostras retiradas do terço superior da prancha diametral, com formato retangular, provenientes de regiões radiais equidistantes (0, 33, 66 e 100% de distância no sentido medula-casca), com dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a última no sentido longitudinal. A determinação da retratibilidade foi realizada de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

As amostras foram saturadas e lhes foram determinadas todas as dimensões. Em seguida, as amostras foram levadas para uma estufa de ventilação forçada, por três dias, a uma temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . Realizaram-se novamente as medições lineares de cada amostra, em condição totalmente seca.

#### **4.2.4. Propriedades mecânicas**

Para a determinação das propriedades mecânicas da madeira, utilizaram-se amostras retiradas do terço superior da prancha diametral, com formato retangular, provenientes de regiões radiais equidistantes (0, 33, 66 e 100% de distância no sentido medula-casca). As dimensões dos corpos-de-prova seguiram a norma ABNT MB-26 (1940) e os ensaios foram realizados segundo a norma NBR 7190 (1997). Tal situação se deve à conveniência de se utilizar corpos de prova com dimensões adequadas à realização dos testes, bem como disponíveis no material original.

### **4.3. Análises estatísticas**

Para determinar a variabilidade da madeira nas direções radial e longitudinal, procedeu-se à análise estatística, através da análise de variância e quando foram observadas diferenças entre os efeitos em questão aplicou-se o teste de médias (Tukey), em nível de 5 % de significância. Utilizou-se o software SAEG, através de planilhas do Excel. Considerou-se cada árvore como repetição.

Foram realizados também, estudos de correlações de Pearson entre as propriedades, e entre as propriedades em relação às direções radial, sentido medula-casca, e longitudinal, sentido base-topo.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Resultados Dendrométricos**

Os valores relativos ao diâmetro, volume, porcentagem de alburno, porcentagem de cerne, relação cerne/alburno e conicidade, mensurados estão sumarizados na Tabela A1.

A média do diâmetro das toras, do volume, porcentagem de cerne, porcentagem de alburno, relação cerne/alburno e conicidade foram de, respectivamente, 44,20 cm, 0,16 m<sup>3</sup>, 64,47 %, 35,53 %, 2,02 e 1,27 cm/m.

Verificou-se alta variabilidade nos dados dendrométricos entre as árvores e toras que pode ser justificada pela pouca informação sobre a origem do material, heterogeneidade de material genético, condições de crescimento, além de outros fatores.

Do ponto de vista tecnológico, a quantificação da relação cerne/alburno passa a ser mais importante que a espessura do alburno. A madeira de cerne, pela sua coloração e propriedades desejáveis, apresenta um maior valor e tem sido alvo de interesse dos usuários de madeira.

## 5.2. Anatomia

### 5.2.1. Descrição anatômica qualitativa

Segundo Alfonso (1987), a descrição anatômica qualitativa permite a descrição de algumas características gerais e observações microscópicas da madeira. Analisando a madeira das diferentes árvores e suas direções radial e longitudinal, verificou-se extrema homogeneidade do material, não se destacando quaisquer detalhes que se caracterizassem como diferenças morfológicas entre elas. A descrição anatômica qualitativa do angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.) permitiu a obtenção das seguintes informações:

**Anéis de crescimento:** pouco distintos.

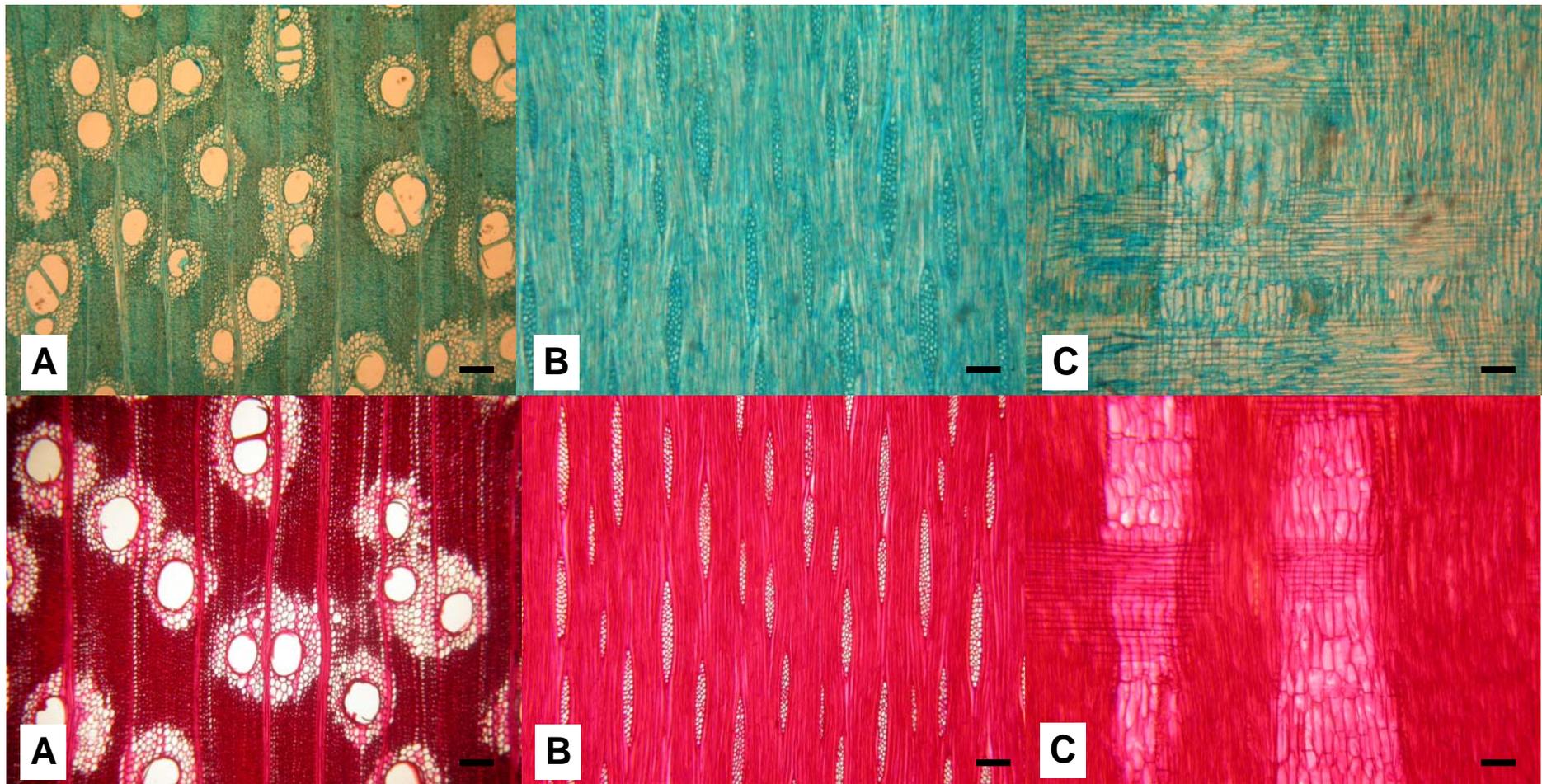
**Vasos:** visíveis apenas sob lente, com porosidade difusa, numerosos com formato arredondado (ovalado a circular). Os vasos são solitários e múltiplos geminados. A maioria dos vasos apresenta tilos.

**Fibras:** predomínio de fibras libriformes.

**Parênquima axial:** predominantemente paratraqueal vasicêntrico confluyente. Apresentam cristais prismáticos em série.

**Raios:** multisseriados homogêneos. Os raios são formados por várias camadas de células procumbentes.

Os três planos anatômicos de observação da madeira de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. podem ser vistos na Figura 2. A madeira de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. em estudo apresentou constituição anatômica qualitativa muito similar à estudada por Marcati (1992).



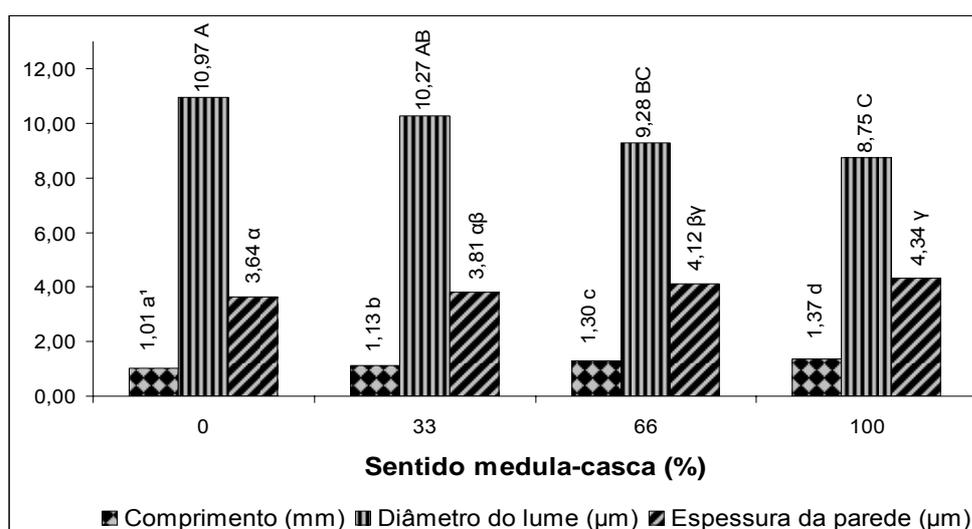
**Figura 2:** Imagens dos planos anatômicos das seções transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.). A barra preta corresponde a 100  $\mu$ m.

### 5.2.2. Descrição anatômica quantitativa

A descrição anatômica quantitativa envolve a mensuração dos elementos anatômicos, tornando-se um estudo indispensável para o entendimento da composição e organização dos tipos celulares. No presente estudo, verificou-se uma variação das dimensões dos elementos anatômicos nas diferentes direções (longitudinal e radial).

A análise de variância não indicou diferenças significativas quando se consideraram, simultaneamente, os efeitos das direções radial e longitudinal. Não se observaram diferenças significativas no sentido base-topo entre as médias das dimensões das fibras. Contudo, as médias diferiram entre si no sentido medula-casca, exceto para a largura das fibras, conforme pode ser observado na Figura 3.

Na Figura 3, são apresentados os valores das dimensões das fibras do angico-vermelho, em função da direção radial, sentido medula-casca.



1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

**Figura 3:** Valores médios das dimensões das fibras na posição radial, sentido medula-casca.

Na determinação do comprimento das fibras, verificou-se um aumento significativo no sentido medula-casca, sendo que o maior valor foi encontrado mais próximo à casca. Observa-se, ainda, que todos os valores foram diferentes entre si. Segundo Tomazello Filho (1985 A), Andrade (1987) e Wilkes (1988), as células cambiais passam a produzir elementos com maiores dimensões, até atingir a sua estabilização; e segundo Panshin e De Zeeuw (1980) e Tsoumis (1991) próximo à

medula, há uma predominância de tecido juvenil no qual ocorrem mudanças fundamentais na composição da parede, associadas ao período de maturação cambial, onde ocorre um rápido aumento no comprimento da célula. O valor médio de comprimento das fibras foi de 1,21 mm para o angico-vermelho.

Quanto ao diâmetro do lume das fibras, observa-se uma diminuição significativa na direção radial, sentido medula-casca, sendo que as duas posições mais próximas da casca apresentaram os menores diâmetros. Segundo Shimoyama (1990), o valor do diâmetro do lume está relacionado com a largura e a espessura da parede das fibras. O valor médio do diâmetro do lume das fibras foi de 9,82  $\mu\text{m}$ .

Ainda na Figura 3, para a espessura da parede das fibras verifica-se um aumento significativo na direção radial, sentido medula-casca, sendo que a posição mais próxima da medula apresentou o menor valor. Este comportamento encontrado para a espessura de parede foi observado por Panshin e De Zeuw (1980) que verificaram que a espessura da parede das fibras de folhosas tende a aumentar no sentido medula-casca, situação, também, observada por Tomazello Filho (1985b). A espessura média de parede das fibras encontrada foi de 3,97  $\mu\text{m}$ .

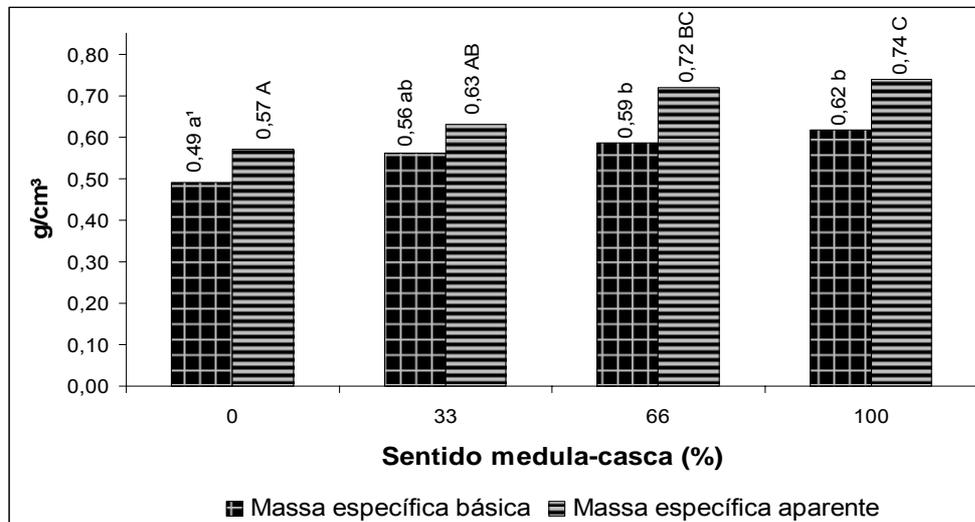
Quanto à largura das fibras, apesar de não ser significativa, na direção radial, apresentou uma tendência de diminuição. A largura média das fibras de angico-vermelho foi de 17,77  $\mu\text{m}$  (Tabela A5). Segundo Shimoyama (1990), a largura das fibras está relacionada a fatores genéticos e ambientais, além do crescimento sazonal.

Os coeficientes de variação (Tabelas A2, A3, A4 e A5) encontrados para a mensuração das fibras foram elevados, e este fato é justificado pela variabilidade individual das árvores, considerando a limitada informação sobre a origem do material, heterogeneidade de material genético, condições de crescimento, além de outros fatores.

### **5.3. Massa específica básica e aparente**

A análise de variância não indicou diferenças significativas quando se considerou simultaneamente os efeitos das direções radial e longitudinal. No entanto as médias diferiram entre si na direção radial, sentido medula-casca, para a massa específica básica e aparente, conforme pode ser observado na Figura 4. Já para a direção longitudinal foi observada diferença significativa apenas para a massa específica aparente.

A Figura 4 apresenta os valores da massa específica básica e aparente na direção radial, sentido medula-casca.

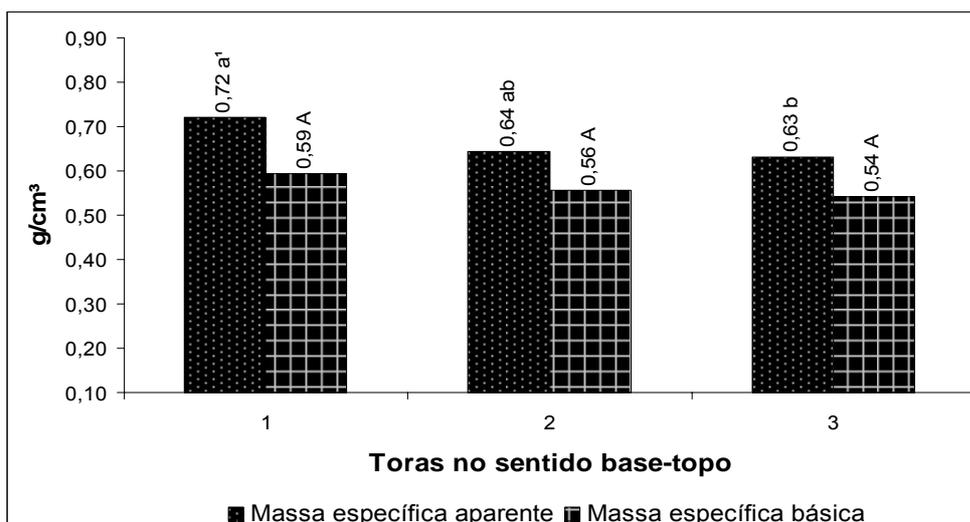


1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

**Figura 4:** Valores da massa específica básica e aparente na posição radial, sentido medula-casca.

Verificou-se um aumento significativo no sentido medula-casca para a massa específica básica e aparente. Tal situação pode ser explicada pela grande quantidade de madeira juvenil dotadas de paredes de fibras menos espessas concentradas na região mais próxima da medula. Segundo Kollmann e Côté (1968), as variações da massa específica se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas por unidade de volume. A estrutura da madeira a que se referem os autores está relacionada à espessura da parede celular e ao tamanho e à quantidade proporcional de diferentes tipos de células. Os valores médios de massa específica básica e aparente encontrados foram, 0,56 e 0,66 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Na Figura 5 observa-se que a massa específica aparente diminuiu de forma significativa no sentido base-topo. De acordo com alguns autores, as variações no sentido base-topo têm sido constatadas em várias situações, porém, sem obedecer a um padrão definido. Como provável explicação para a diminuição da massa específica aparente no sentido longitudinal pode-se apontar a maior quantidade de madeira juvenil mais próximo do topo. A Figura 5 apresenta os valores para a massa específica básica e aparente na direção longitudinal, sentido base-topo.



1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

**Figura 5:** Valores médios de massa específica aparente e básica na direção longitudinal, sentido base-topo.

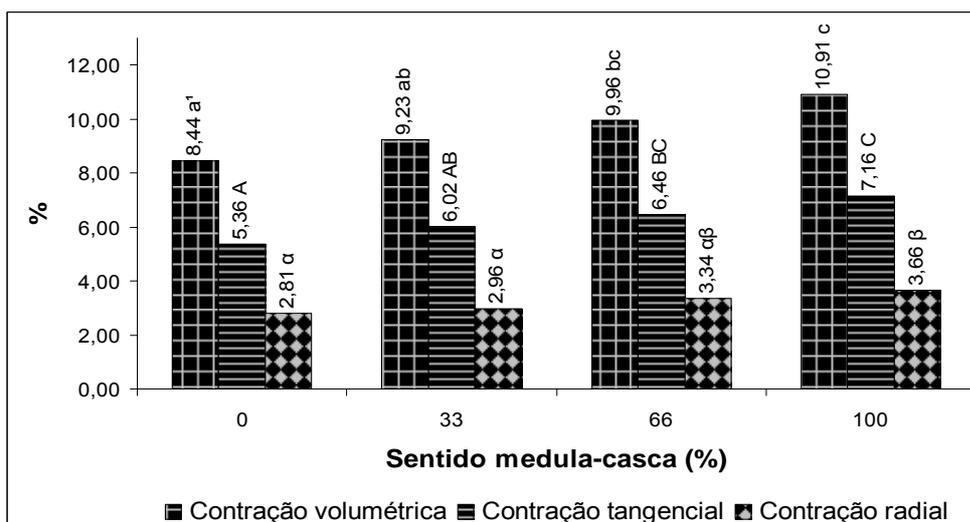
A variação da massa específica básica no sentido base-topo apesar de não ser significativa apresentou uma tendência de diminuição (Tabela A6).

Os coeficientes médios de variação encontrados para a massa específica básica e aparente (18 e 22 %) foram considerados elevados, quando comparados com os dados do Wood Handbook (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999), que relaciona o valor de 10 % para ambos. Provavelmente, os valores encontrados neste trabalho se justificam pela variabilidade individual das árvores, considerando a pouca informação sobre a origem do material, heterogeneidade de material genético, condições de crescimento, além de outros fatores (Tabelas A6 e A7).

#### 5.4. Retratibilidade Linear e Volumétrica

A análise de variância não indicou diferenças significativas quando se consideraram simultaneamente os efeitos das direções radial e longitudinal. Observaram-se diferenças significativas na direção radial, sentido medula-casca, para a contração volumétrica, radial e tangencial (Figura 6). Já para a direção longitudinal foi observada diferença significativa apenas para a contração volumétrica e radial (Figura 7).

A Figura 6 apresenta os valores médios para a contração volumétrica, tangencial e radial na direção radial, sentido medula-casca.

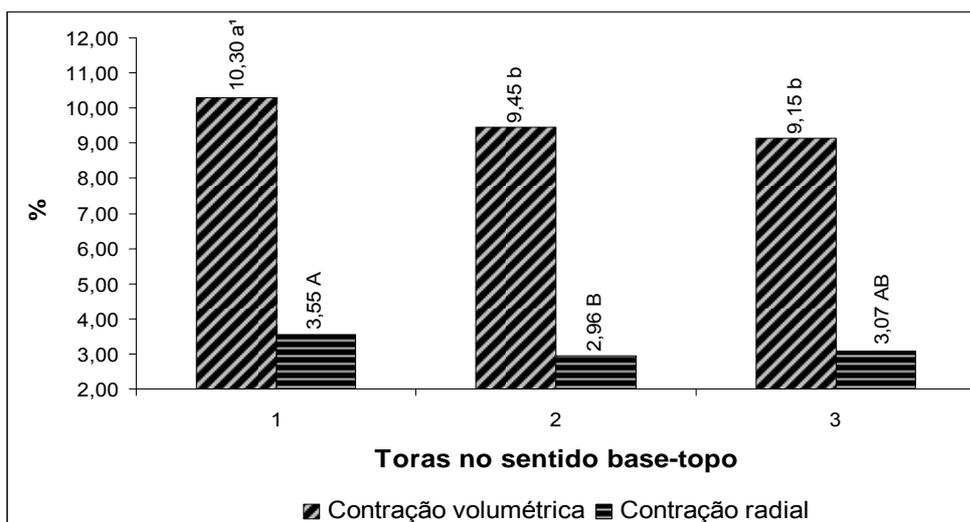


1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

**Figura 6:** Valores médios para a contração volumétrica, tangencial e radial na direção radial, sentido medula-casca.

Os valores médios da contração volumétrica, tangencial e radial para a madeira de angico-vermelho, foram 9,64; 6,25 e 3,19 %, respectivamente, com uma tendência de aumento na direção radial, sentido medula-casca. Isto se deve, provavelmente, ao aumento da massa específica nesse mesmo sentido, considerando-se que a magnitude da variação dimensional é proporcional à quantidade de madeira por volume analisado (TSOUMIS, 1991, VITAL e TRUGILHO, 1997, ROCHA, 2000). Os valores médios da contração longitudinal e fator anisotrópico foram de 0,44 % e 2,09, respectivamente, sem uma tendência definida na direção radial, sentido medula-casca.

A contração volumétrica apresentou uma diminuição significativa na direção longitudinal, sentido base-topo; este fato pode ser explicado pela diminuição, neste mesmo sentido, da massa específica. Para a contração radial, na direção longitudinal apesar de apresentar diferença significativa, a mesma não apresentou uma tendência definida. A Figura 7 apresenta os valores médios para a contração volumétrica e radial na direção longitudinal, sentido base-topo.



1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

**Figura 7:** Valores médios para a contração volumétrica e radial na direção longitudinal, sentido base-topo.

Os coeficientes de variação (Tabelas A8, A9 e A10) encontrados para contração volumétrica, tangencial e radial podem ser considerados elevados quando comparados com os dados do Wood Handbook (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999), que relaciona o valor de 15 %. Provavelmente, os valores elevados encontrados neste trabalho se justificam pela variabilidade individual das árvores, considerando a pouca informação sobre a origem do material, heterogeneidade de material genético, condições de crescimento, além de outros fatores. Para a contração longitudinal, a explicação para valores tão elevados se deve à diminuta variação no sentido longitudinal, bem como à metodologia utilizada, que não consegue captar, com precisão, as pequenas alterações nos corpos-de-prova (Tabelas A11).

### 5.5. Propriedades Mecânicas

A análise de variância não indicou diferenças significativas quando se considerou simultaneamente os efeitos das direções radial e longitudinal. Ocorreu diferença significativa na direção radial, sentido medula-casca, para todas as propriedades mecânicas estudadas. Já na direção longitudinal foi observada diferença significativa apenas para a dureza, nos planos radial, tangencial e transversal. Na Tabela 2 estão apresentados os valores das propriedades mecânicas na direção radial, sentido medula casca e direção longitudinal, sentido base-topo.

**Tabela 2:** Valores médios das propriedades mecânicas na direção radial (sentido medula-casca) e direção longitudinal (sentido base-topo).

	Compressão paralela (kgf/cm <sup>2</sup> )	Cisalhamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	Dureza plano radial (kgf)	Dureza plano tangencial (kgf)	Dureza plano transversal (kgf)	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>Sentido medula-casca (%)</b>							
<b>0</b>	463,35 a <sup>1</sup>	122,50 a <sup>1</sup>	418,40 a <sup>1</sup>	426,19 a <sup>1</sup>	629,57 a <sup>1</sup>	819,90 a <sup>1</sup>	72.727,15 a <sup>1</sup>
<b>33</b>	529,47 ab	132,52 ab	497,48 ab	528,48 ab	690,14 ab	1.055,49 b	86.007,20 ab
<b>66</b>	609,96 bc	150,66 ab	647,64 b	682,98 b	823,43 b	1.203,18 bc	97.280,12 bc
<b>100</b>	635,91 c	158,59 b	683,00 b	707,31 b	867,57 b	1.326,53 c	105.362,73 c
<b>Sentido base-topo</b>							
<b>1</b>	595,22 a <sup>1</sup>	154,04 a <sup>1</sup>	675,27 a <sup>1</sup>	692,93 a <sup>1</sup>	854,34 a <sup>1</sup>	1205,06 a <sup>1</sup>	96494,43 a <sup>1</sup>
<b>2</b>	549,81 a	136,68 a	512,75 b	526,18 b	710,00 ab	1052,61 a	87814,91 a
<b>3</b>	534,00 a	132,48 a	496,88 b	539,61 b	693,70 b	1046,16 a	86723,56 a

1. Médias ao longo das colunas, para a mesma direção, seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

Verificou-se um aumento significativo no sentido medula-casca para a resistência à compressão paralela às fibras. Este aumento acompanha a tendência para a massa específica. O menor valor de resistência à compressão foi encontrado na posição mais próxima da medula, indicando a presença de madeira juvenil, sendo que os maiores valores foram observados nas posições mais próximas da casca, apresentando resistências iguais. Em relação à direção longitudinal, apesar dos valores encontrados não serem significativos estatisticamente, pode ser constatada uma tendência de diminuição da resistência à compressão neste sentido, fato que pode ser justificado pela maior concentração de madeira juvenil na posição mais próxima do topo. Para a resistência a compressão, da madeira de angico-vermelho, foi encontrado o valor médio de 559,68 kgf/cm<sup>2</sup>, valor este que é superior ao encontrado por Marcati (1992), a 16% de umidade.

Quanto à resistência ao cisalhamento, de modo geral, observa-se um aumento na direção radial, sentido medula-casca. Não houve diferença significativa entre as posições 33, 66 e 100%. O menor valor foi encontrado mais próximo da medula, justificado pela maior presença de madeira juvenil nesta posição. Para o sentido base-topo, não foi encontrada uma diferença estatística significativa; apesar disto, foi

observada uma tendência de diminuição neste sentido. O valor médio da resistência ao cisalhamento foi de 141,07 kgf/cm<sup>2</sup>.

Os valores médios para a dureza Janka nos planos radial, tangencial e transversal encontrados no presente trabalho, para a madeira de angico-vermelho, foram 561,63; 586,24 e 752,68 kgf, respectivamente (Tabelas A15, A16 e A17). Na direção radial, sentido medula-casca, observou-se um aumento significativo, para os três planos. Já para a direção longitudinal, sentido base-topo, constatou-se uma diminuição significativa.

Na Tabela 2, verificou-se um aumento significativo para o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), na direção radial, sentido medula-casca; apresentando, ambos, os menores valores na região mais próxima da medula e os maiores valores mais próximos da casca. Apesar de não apresentar diferença estatística significativa, o MOR e o MOE, apresentaram uma tendência de diminuição, na direção longitudinal, sentido base-topo. Os valores médios do módulo de ruptura e o módulo de elasticidade foram 1.101,3 e 90.344,3 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Os coeficientes de variação encontrados para todas as propriedades mecânicas são considerados elevados, quando comparados com os dados do Wood Handbook (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999). Provavelmente, os valores encontrados neste trabalho se justificam pela variabilidade individual das árvores, considerando a limitada informação sobre a origem do material, heterogeneidade de material genético, condições de crescimento, além de outros fatores (Tabelas A13, A14, A15, A16, A17, A18 e A19).

## **5.6. Correlações**

O conhecimento das correlações entre esses parâmetros e das variáveis que os afetam são de grande importância para uma correta interpretação das variações que ocorrem na madeira, visando facilitar o desenvolvimento de técnicas adequadas para a obtenção de uma matéria-prima mais homogênea e com características desejáveis para um determinado produto final.

### **5.6.1. Correlações entre as propriedades**

As correlações entre as propriedades estão apresentadas na Tabela A20 (Anexo).

As massas específicas básica e aparente apresentaram correlações positivas significativas com a maioria das propriedades estudadas, à exceção do fator anisotrópico, largura das fibras e diâmetro de lume, que se correlacionaram significativamente, mas de forma negativa.

As contrações radial, tangencial e volumétrica apresentaram correlações significativas positivas com a massa específica básica e aparente, comprimento de fibras e espessura da parede; tais contrações, no entanto, apresentaram correlações significativas negativas com o diâmetro do lume. A contração longitudinal apresentou correlação significativa positiva somente com a massa específica básica e aparente. O fator anisotrópico apresentou correlação significativa positiva somente com a contração tangencial, mas apresentou uma alta correlação significativa negativa com a contração radial. Embora a massa específica básica e aparente tenha apresentado correlação significativa positiva com as contrações radial e tangencial, tal situação não foi observada em relação ao fator anisotrópico.

As propriedades mecânicas apresentaram correlações significativas positivas com a maioria das propriedades, com exceção da contração longitudinal, fator anisotrópico, largura e diâmetro do lume das fibras. Todas as propriedades mecânicas apresentaram alguma correlação significativa positiva com a massa específica básica e aparente. Tal fato também foi observado por Chimelo (1980), quando relacionou as propriedades mecânicas com a massa específica, encontrando um alto nível de associação estatística. Verificou-se, ainda, que as correlações entre as propriedades mecânicas e anatômicas mostraram-se significativas; negativas, com a largura e o diâmetro do lume, e positivas, com o comprimento e espessura da parede.

### **5.6.2. Correlações entre as propriedades em relação às direções radial e longitudinal**

Os coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades na direção radial, sentido medula casca, bem como na direção longitudinal, sentido base-topo, estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Coeficiente de correlação de Pearson entre as propriedades da madeira de angico-vermelho e a posição no tronco.

VARIÁVEIS	Sentido medula-casca	Toras no sentido base-topo
Resistência ao Cisalhamento	<b>0,36</b>	<b>-0,23</b>
Resistência Compressão	<b>0,56</b>	-0,21
Dureza Radial	<b>0,40</b>	<b>-0,27</b>
Dureza Tangencial	<b>0,42</b>	<b>-0,24</b>
Dureza Transversal	<b>0,38</b>	<b>-0,26</b>
Massa específica aparente	<b>0,47</b>	<b>-0,26</b>
Massa específica básica	<b>0,44</b>	-0,21
Contração Longitudinal	-0,07	-0,14
Contração Tangencial	<b>0,54</b>	-0,11
Contração Radial	<b>0,39</b>	<b>-0,23</b>
Contração Volumétrica	<b>0,59</b>	<b>-0,22</b>
Fator Anisotrópico	-0,06	0,07
Módulo de ruptura	<b>0,57</b>	-0,20
Módulo de elasticidade	<b>0,57</b>	-0,19
Comprimento das fibras	<b>0,86</b>	0,02
Largura das fibras	<b>-0,25</b>	-0,03
Diâmetro do lume	<b>-0,51</b>	0,08
Espessura da parede	<b>0,55</b>	-0,18

Em negrito = significativo a 5 % de significância.

Na direção radial, sentido medula casca, verificou-se que o comprimento das fibras, contração volumétrica e tangencial, resistência à compressão, espessura de parede e módulos de elasticidade e ruptura foram as propriedades que apresentaram os maiores coeficientes de correlação positiva. Na direção longitudinal, sentido base-topo, verificou-se que a massa específica aparente, resistência ao cisalhamento e contrações radial, transversal e tangencial mostraram os maiores coeficientes de correlação, mas negativa.

À exceção da contração longitudinal e fator anisotrópico, todas as demais propriedades apresentaram uma correlação significativa a 5 % de significância, no sentido medula-casca. Verificou-se uma correlação negativa no diâmetro do lume, largura das fibras, contração longitudinal e fator anisotrópico; às demais propriedades apresentaram uma correlação positiva, destacando-se os altos valores no comprimento de fibras.

Na direção longitudinal, sentido base-topo, verificou-se que a massa específica aparente, cisalhamento, contração radial e volumétrica, bem como dureza

radial, tangencial e transversal, apresentaram correlação significativa a 5 % de significância; as demais propriedades mostraram-se inversamente correlacionadas.

Os valores apresentados para a variação na direção radial foram superiores aos encontrados na direção longitudinal, confirmando-se as mesmas tendências apresentadas nas discussões anteriores, em que a análise de variância quase sempre detectava valores mais significativos para o efeito da variação radial.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na Tabela 4, encontram-se resumidos os resultados dos diferentes ensaios realizados no presente trabalho, considerando-se as variações dentro da árvore nas direções radial e longitudinal.

**Tabela 4:** Resumo dos resultados das propriedades da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.) nas direções radial e longitudinal.

Propriedades	Média	Medula-Casca	Base-topo
Comprimento (mm)	1,2066	Cresce	-
Largura (µm)	17,768	Decresce	-
Diâmetro do lume (µm)	9,8211	Decresce	-
Espessura da parede (µm)	3,9748	Cresce	-
MEB (g/cm <sup>3</sup> )	0,56370	Cresce	Decresce
MEA (g/cm <sup>3</sup> )	0,66486	Cresce	Decresce
C tangencial (%)	6,2500	Cresce	Decresce
C radial (%)	3,1917	Cresce	Decresce
C longitudinal (%)	0,43550	-	-
C Volumétrica (%)	9,6354	Cresce	Decresce
Fator Anisotrópico	2,0937	-	-
Rt Compressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	559,68	Cresce	Decresce
Rt Cisalhamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	141,07	Cresce	Decresce
Dureza Radial (kgf)	561,63	Cresce	Decresce
Dureza Tangencial (kgf)	586,24	Cresce	-
Dureza Transversal (kgf)	752,68	Cresce	Decresce
MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	1.101,3	Cresce	Decresce
MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	90.344,3	Cresce	Decresce

O hífen (-) indica ausência de padrão linear crescente ou decrescente na seção radial e longitudinal.

Baseado nos resultados apresentados pode-se concluir que:

- a) As propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira de angico-vermelho apresentam diferenças entre árvores, ao longo da direção radial, no sentido medula-casca, e ao longo da direção longitudinal, no sentido base-topo;
- b) Para a maioria dos ensaios as variações observadas na direção radial foram mais evidentes do que as observadas na direção longitudinal;
- c) A direção radial, sentido medula-casca, mostrou-se positivamente correlacionada com quase todos os ensaios envolvidos, à exceção da largura, diâmetro de lume das fibras, contração longitudinal e fator anisotrópico.
- d) A direção longitudinal, sentido base-topo, mostrou-se negativamente correlacionada com a massa específica básica e aparente, contração tangencial e volumétrica, resistência à compressão e ao cisalhamento, dureza nos planos, radial e transversal, além dos módulos de ruptura e de elasticidade.
- e) Os valores médios encontrados nas análises efetuadas se encontram entre aqueles recomendados pela literatura para o uso na indústria moveleira e construção civil.
- f) A madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.) apresenta matéria-prima com boa adequação às demandas tecnológicas da indústria moveleira e construção civil, substituição de espécies nobres, mas já reconhecidamente raras, além de múltiplos usos da floresta e de seus produtos.

Com base nos resultados e conclusões deste trabalho, recomendam-se:

- a) Estudar outras propriedades da madeira que não foram contempladas neste trabalho, como: usinagem, acabamento, resistência natural ao ataque de cupim etc.
- b) Ter cautela na extrapolação dos dados, por se tratar de situações muito específicas, em vista do material e das técnicas de avaliação utilizadas.
- c) Utilizar métodos não destrutivos para possibilitar o planejamento florestal, acompanhando o processo de formação e desenvolvimento da madeira.

- d) Ampliar a base de informação sobre as possibilidades de utilização da madeira de angico-vermelho para usos múltiplos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO, V.A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit cultivados no Brasil**, São Paulo, 1987. 188f. Tese (Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo).

ANDRADE, M.C.D. **Variação das características das fibras em função da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex.Maiden**. Botucatu (SP), 1987, 43f. Dissertação (Mestrado – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita).

ASHLEY, P.N. & OZARSKA, B. Furniture from young, plantation grown Eucalyptus. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston, IUFRO, 2000. p. 150-158.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Ensaio Físicos e Mecânicos** – MB 26. ABNT. 1940. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Projeto de estruturas de madeira** – NBR 7190. Rio de Janeiro: ABNT. 1997. 107 p.

BARBOSA, F. M.; BARBOSA, M. R. de V. Inventário exploratório em áreas produtoras de carvão vegetal e de cascas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan no Cariri Ocidental do Paraíba. In: **CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA**, 50., 1999. Blumenau. Programa e resumos. Blumenau: Sociedade Botânica do Brasil / Universidade Regional de Blumenau, 1999. p.230.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-731. 1983.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth ring of plantation grown eastern cottonwood and loblolly pine. Madison, **Wood and Fiber Science**, v. 18, n. 1, p. 23–38. 1986.

CARVALHO, H. G. **Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose kraft branqueada de eucalipto**. Viçosa (MG), 1997, 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa).

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods**. 1980. 206f. Tese (Doutoramento Virginia Polytechnic Institute and State University), Blacksburg, 1980.

COPANT – Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. **COPANT**, v. 30, p. 1-19, 1974.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. Melbourne. **Forest Products Laboratory**, CSIRO, n. 66, p. 1-28. 1972.

DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de três regiões do tronco de *Eucalyptus saligna* SM. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 7, n. 1, p. 71-75. 1983.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série Técnica, 10).

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as engineering material**. Madison, Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1999. 463p.

GÉRARD, J. BAILLÈRES, H.; FOURNIER, M., THIBAUT, B. Qualité du bois chez les eucalyptus de plantation. Etude de variation de trois propriétés de référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nancy, n. 245, p. 101-111, 1995.

HANS A. S.; BURLEY, J. Wood quality of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden grown in Zambia, Berlim, **Holzforschung**, v. 26, p.138-141. 1972.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Métodos de ensaios adotados no IPT para estudo de madeiras nacionais; tabelas de resultados obtidos para madeiras nacionais. 2 ed. São Paulo, 1956. 62p. (**Boletim técnico**, 31).

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlim: Springer-Verlag, v. 1, 1968. 592p.

KNIGGE, W.; KOLTZENBURG, C. The influence of timber qualities and ecological conditions on the cell sizes and the proportions of types of cell in hardwoods in the temperate zones. **Proceedings... IUFRO**, 1965. n. 2, p. 1-24

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston: IUFRO. 2000, p. 282-291.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1992. 352p.

MAINIERI, C. e CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras Brasileiras**. São Paulo, IPT, 1989. 418 p. (Publicação I.P.T, 1971).

MARANGON, L. C. **Florística e fitossociologia de área de floresta estacional semidecidual visando dinâmica de espécies florestais arbóreas no município de Viçosa-MG**. 1999. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1999.

MARCATI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth)**. Viçosa (MG), 1992. 94f. Dissertação (Mestrado, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa)

MATEUS, T. J. E. As características das madeiras nas suas relações com as aplicações. Lisboa, Instituto dos produtos Florestais, 1977. p.11-9 (**Boletim Técnico, 14**).

MEIRA-NETO, J. A. A. **Estudos florísticos, estruturais e ambientais nos estratos arbóreos e herbáceo-arbustivo de uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG**. 1997. 154 f. Tese (Doutorado em Biologia – Universidade Estadual de Campinas), 1997.

MELO, O. S. A identificação dos angicos. **Revista Florestal**, 4(2): 14-7, 1945.

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

MOREY, P. R. O crescimento das árvores. São Paulo: EDUSP, 1981. 78p.

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; MENDES L. M.; SILVA, J. R. M. Caracterização da Madeira de Angico-Vermelho (*Anadenanthera Peregrina* (Benth) Speng) para Confecção de Móveis. **Brasil Florestal**. IBAMA. n. 77, p. 29-36, 2003.

OLIVEIRA, E. VITAL, B. R.; GOMIDE, J. L.; VALENTE, O. F. Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden, **Boletim Técnico da SIF**, Viçosa, MG, n. 2, p. 1- 9, 1990.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2 v., 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1997.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4a ed. New York: McGraw Hill, 1980, 722p.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Brasília: Fundação Mokiti Okada - MOA, 1997. 543p.

RREITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Sellowia, n.34, 525p. 1983

ROCHA, M. P. **Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus dunnii Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. Curitiba. 2000. 157f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em Eucalyptus sp**. Piracicaba, 1990. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

SOUSA JÚNIOR, W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de Eucalyptus cloeziana e de Eucalyptus urophylla oriundas dos municípios de turmalina e de Paraopeba (MG)**. 2004. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

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

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do Eucalyptus gummiifera, E. microcorys e E. pilularis. **IPEF**, Piracicaba, SP, v.30, p.45-54, 1985b.

TRUGILHO, P. F. Influência da idade e das características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptus saligna. **CERNE**, Lavras (MG) v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, properties and utilization**. New York: Van Nostrand Reinold, 1991, 494p.

VIEIRA, A. H. **Estudo dendrológico e anatômico das principais madeiras nativas utilizadas pelas serrarias na microregião de Viçosa. – Minas Gerais**. Viçosa/MG, UFV, 1986 (Dissertação de Mestrado).

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21p. (Boletim técnico, 1).

VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de Eucalyptus. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 57-61. 1997.

WILKES, J. **Variations in wood anatomy within of Eucalyptus**. Australia. IAWA Bulletin, v. 9, n. 1, p. 13-23. 1988.

## **ANEXOS**

**Tabela A1:** Dados dendrométricos das árvores de angico-vermelho.

Árvore	Tora	Diâmetro das toras (cm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Cerne (%)	Alburno (%)	Relação Cerne/alburno	Conicidade (cm/m)
Árvore 1	1	52,60	0,22	64,26	35,74	1,8	1,62
	2	44,95	0,16	66,18	33,82	2,0	0,02
	3	39,95	0,13	65,21	34,79	1,9	1,22
Árvore 2	1	45,50	0,16	57,58	42,42	1,4	2,43
	2	37,00	0,11	58,51	41,49	1,4	0,29
	3	32,90	0,09	52,58	47,42	1,1	0,70
Árvore 3	1	59,25	0,28	66,24	33,76	2,0	3,83
	2	44,10	0,15	56,24	43,76	1,3	0,38
	3	36,88	0,11	40,07	59,93	0,7	1,50
Árvore 4	1	51,20	0,21	78,42	21,58	3,6	1,15
	2	42,90	0,15	74,94	25,06	3,0	2,36
	3	44,35	0,16	80,05	19,95	4,0	0,07
Árvore 5	1	44,60	0,16	64,01	35,99	1,8	3,49
	2	43,25	0,15	64,28	35,72	1,8	0,44
	3	41,25	0,14	70,42	29,58	2,4	1,02
Árvore 6	1	44,75	0,16	60,67	39,33	1,5	1,41
	2	41,35	0,14	61,55	38,45	1,6	1,37
	3	36,05	0,10	57,56	42,44	1,4	1,23
Árvore 7	1	49,20	0,19	70,43	29,57	2,4	1,43
	2	48,00	0,18	71,15	28,85	2,5	0,57
	3	48,25	0,18	73,47	26,53	2,8	0,13
MÉDIA		44,20	0,16	64,47	35,53	2,02	1,27

**Tabela A2:** Valores médios do comprimento das fibras (mm) das sete árvores de angico-vermelho em relação à variabilidade radial e longitudinal.

Posições	Média	Coefficiente de Variação (%)	Desvio-Padrão (mm)
Sentido medula-casca (%)			
0	1,01 a <sup>1</sup>	12	0,125
33	1,13 b	6	0,070
66	1,30 c	5	0,063
100	1,37 d	4	0,055
Sentido base-topo			
1	1,19 a <sup>1</sup>	12	0,142
2	1,23 a	14	0,171
3	1,20 a	15	0,180
Geral	1,21	14	0,164

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p>0,05$ ).

**Tabela A3:** Valores médios da largura das fibras ( $\mu\text{m}$ ) de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP ( $\mu\text{m}$ )
Sentido medula-casca (%)			
0	18,25 a <sup>1</sup>	9	1,600
33	17,90 a	7	1,340
66	17,50 a	7	1,229
100	17,43 a	5	0,795
Sentido base-topo			
1	17,84 a <sup>1</sup>	8	1,355
2	17,72 a	7	1,266
3	17,75 a	7	1,304
Geral	17,77	7	1,294

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p>0,05$ ).

**Tabela A4:** Valores médios do diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP ( $\mu\text{m}$ )
Sentido medula-casca (%)			
0	10,97 a <sup>1</sup>	15	1,688
33	10,27 ab	18	1,856
66	9,28 bc	14	1,269
100	8,75 c	11	0,946
Sentido base-topo			
1	9,59 a <sup>1</sup>	18	1,740
2	9,94 a	18	1,839
3	9,93 a	15	1,527
Geral	9,82	17	1,694

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p>0,05$ ).

**Tabela A5:** Valores médios da espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (mm)
Sentido medula-casca (%)			
0	3,64 a <sup>1</sup>	11	0,414
33	3,81 ab	12	0,451
66	4,12 bc	8	0,332
100	4,34 c	11	0,471
Sentido base-topo			
1	4,12 a <sup>1</sup>	11	0,441
2	3,89 a	14	0,529
3	3,91 a	13	0,492
Geral	3,97	12	0,494

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A6:** Valores médios de massa específica básica da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
Sentido medula-casca (%)			
0	0,49 a <sup>1</sup>	18	0,089
33	0,56 ab	18	0,099
66	0,59 b	16	0,096
100	0,62 b	15	0,09
Sentido base-topo			
1	0,59 a <sup>1</sup>	21	0,122
2	0,56 a	18	0,100
3	0,54 a	15	0,080
Geral	0,56	18	0,103

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A7:** Valores médios de massa específica aparente da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (mm)
Sentido medula-casca (%)			
0	0,57 a <sup>1</sup>	25	0,142
33	0,63 ab	18	0,116
66	0,72 bc	20	0,146
100	0,74 c	14	0,106
Sentido base-topo			
1	0,72 a <sup>1</sup>	23	0,165
2	0,64 ab	21	0,137
3	0,63 b	18	0,111
Geral	0,66	22	0,143

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A8:** Valores médios de contração volumétrica (%) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (mm)
Sentido medula-casca (%)			
0	8,44 a <sup>1</sup>	13	1,057
33	9,23 ab	11	1,046
66	9,96 bc	16	1,597
100	10,91 c	12	1,306
Sentido base-topo			
1	10,30 a <sup>1</sup>	19	2,005
2	9,15 b	12	1,064
3	9,45 b	13	1,222
Geral	9,64	16	1,550

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A9:** Valores médios de contração tangencial (%) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (%)
Sentido medula-casca (%)			
0	5,36 a <sup>1</sup>	18	0,964
33	6,02 ab	18	1,054
66	6,46 bc	16	1,043
100	7,16 c	15	1,057
Sentido base-topo			
1	6,57 a <sup>1</sup>	23	1,540
2	5,93 a	16	0,928
3	6,25 a	16	1,019
Geral	6,25	19	1,207

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A10:** Valores médios de contração radial (%) da madeira de sete árvores de angico-vermelho em relação à variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (%)
Sentido medula-casca (%)			
0	2,81 a <sup>1</sup>	28	0,778
33	2,96 a	25	0,747
66	3,34 ab	24	0,803
100	3,66 b	21	0,776
Sentido base-topo			
1	3,55 a <sup>1</sup>	27	0,944
2	2,96 b	27	0,809
3	3,07 ab	20	0,611
Geral	3,19	26	0,831

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A11:** Valores médios de contração longitudinal (%) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (%)
Sentido medula-casca (%)			
0	0,45 a <sup>1</sup>	75	0,335
33	0,47 a	64	0,299
66	0,43 a	61	0,260
100	0,40 a	88	0,353
Sentido base-topo			
1	0,47 a <sup>1</sup>	64	0,302
2	0,48 a	76	0,362
3	0,36 a	69	0,251
Geral	0,44	71	0,309

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p>0,05$ ).

**Tabela A12:** Valores médios do fator anisotrópico da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP
Sentido medula-casca (%)			
0	2,09 a <sup>1</sup>	40	0,841
33	2,23 a	42	0,944
66	2,01 a	22	0,444
100	2,04 a	24	0,482
Sentido base-topo			
1	1,99 a <sup>1</sup>	39	0,771
2	2,18 a	36	0,781
3	2,11 a	26	0,548
Geral	2,09	34	0,704

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p>0,05$ ).

**Tabela A13:** Valores médios da resistência à compressão (kgf/cm<sup>2</sup>) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (kgf/cm <sup>2</sup> )
Sentido medula-casca (%)			
0	463,35 a <sup>1</sup>	24	112,695
33	529,47 ab	15	80,231
66	609,96 bc	19	113,284
100	635,91 c	14	91,976
Sentido base-topo			
1	595,22 a <sup>1</sup>	24	140,653
2	549,81 a	20	109,596
3	534,00 a	19	102,330
Geral	559,68	21	120,128

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p>0,05$ ).

**Tabela A14:** Valores médios da resistência ao cisalhamento (kgf/cm<sup>2</sup>) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua à variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (kgf/cm <sup>2</sup> )
Sentido medula-casca (%)			
0	122,50 a <sup>1</sup>	29	36,036
33	132,52 ab	29	38,93
66	150,66 ab	27	40,249
100	158,59 b	21	32,571
Sentido base-topo			
1	154,04 a <sup>1</sup>	28	43,287
2	136,68 a	26	36,004
3	132,48 a	27	35,560
Geral	141,07	28	39,124

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A15:** Valores médios da dureza no plano radial (kgf) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (kgf)
Sentido medula-casca (%)			
0	418,40 a <sup>1</sup>	52	216,359
33	497,48 ab	39	192,325
66	647,64 b	46	294,998
100	683,00 b	40	274,857
Sentido base-topo			
1	675,27 a <sup>1</sup>	49	329,136
2	512,75 b	42	217,038
3	496,88 b	42	207,870
Geral	561,63	48	266,827

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A16:** Valores médios da dureza no plano tangencial (kgf) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (mm)
Sentido medula-casca (%)			
0	426,19 a <sup>1</sup>	46	195,626
33	528,48 ab	37	193,297
66	682,98 b	43	292,371
100	707,31 b	39	272,328
Sentido base-topo			
1	692,93 a <sup>1</sup>	47	322,865
2	526,18 b	40	209,905
3	539,61 b	41	222,203
Geral	586,24	45	264,754

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A17:** Valores médios da dureza no plano transversal (kgf) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (mm)
Sentido medula-casca (%)			
0	629,57 a <sup>1</sup>	33	206,162
33	690,14 ab	30	208,696
66	823,43 b	34	276,381
100	867,57 b	29	255,794
Sentido base-topo			
1	854,34 a <sup>1</sup>	39	328,991
2	710,00 ab	29	204,066
3	693,70 b	26	178,025
Geral	752,68	34	253,653

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A18:** Valores médios do módulo de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (mm)
Sentido medula-casca (%)			
0	819,90 a <sup>1</sup>	30	249,382
33	1.055,49 b	27	286,761
66	1.203,18 bc	25	306,525
100	1.326,53 c	20	260,241
Sentido base-topo			
1	1.205,06 a <sup>1</sup>	26	316,961
2	1.052,61 a	34	353,950
3	1.046,16 a	29	308,184
Geral	1.101,28	30	331,344

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A19:** Valores médios do módulo de elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>) da madeira de sete árvores de angico-vermelho e sua variabilidade nas direções radial e longitudinal.

Posições	Média	CV (%)	DP (mm)
Sentido medula-casca (%)			
0	72.727,15 a <sup>1</sup>	26	18.596,8
33	86.007,20 ab	22	19.098,2
66	97.280,12 bc	20	19.180,1
100	105.362,73 c	14	15.234,5
Sentido base-topo			
1	96.494,43 a <sup>1</sup>	22	20.866,040
2	87.814,91 a	26	22.801,962
3	86.723,56 a	24	20.612,389
Geral	90.344,30	24	21.640,675

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, para amostras independentes, com significância de 5% ( $p > 0,05$ ).

**Tabela A20:** Coeficiente de correlação de Pearson entre as propriedades da madeira de angico-vermelho. Continua...

VARIÁVEIS	Cisalhamento	Compressão	Dureza Radial	Dureza Tangencial	Dureza Transversal	MEA	MEB	Contração Longitudinal	Contração Tangencial
Rt Cisalhamento	1,00	<b>0,75</b>	<b>0,65</b>	<b>0,68</b>	<b>0,71</b>	<b>0,82</b>	<b>0,74</b>	0,11	<b>0,47</b>
Rt Compressão	<b>0,75</b>	1,00	<b>0,68</b>	<b>0,71</b>	<b>0,71</b>	<b>0,87</b>	<b>0,74</b>	0,05	<b>0,49</b>
D Radial	<b>0,65</b>	<b>0,68</b>	1,00	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>0,76</b>	<b>0,69</b>	0,20	<b>0,38</b>
D Tangencial	<b>0,68</b>	<b>0,71</b>	<b>0,97</b>	1,00	<b>0,94</b>	<b>0,77</b>	<b>0,68</b>	0,13	<b>0,44</b>
D Transversal	<b>0,71</b>	<b>0,71</b>	<b>0,95</b>	<b>0,94</b>	1,00	<b>0,80</b>	<b>0,74</b>	0,18	<b>0,37</b>
MEA	<b>0,82</b>	<b>0,87</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>0,80</b>	1,00	<b>0,83</b>	<b>0,23</b>	<b>0,43</b>
MEB	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	<b>0,69</b>	<b>0,68</b>	<b>0,74</b>	<b>0,83</b>	1,00	<b>0,24</b>	<b>0,32</b>
C. Longitudinal	0,11	0,05	0,20	0,13	0,18	<b>0,23</b>	<b>0,24</b>	1,00	-0,03
C. Tangencial	<b>0,47</b>	<b>0,49</b>	<b>0,38</b>	<b>0,44</b>	<b>0,37</b>	<b>0,43</b>	<b>0,32</b>	-0,03	1,00
C. Radial	<b>0,44</b>	<b>0,64</b>	<b>0,56</b>	<b>0,57</b>	<b>0,60</b>	<b>0,64</b>	<b>0,56</b>	-0,01	<b>0,23</b>
C. Volumétrica	<b>0,59</b>	<b>0,69</b>	<b>0,60</b>	<b>0,64</b>	<b>0,61</b>	<b>0,69</b>	<b>0,57</b>	0,15	<b>0,86</b>
F Anisotrópico	-0,11	<b>-0,23</b>	<b>-0,23</b>	-0,19	<b>-0,27</b>	<b>-0,27</b>	<b>-0,27</b>	0,00	<b>0,37</b>
MOR	<b>0,66</b>	<b>0,79</b>	<b>0,69</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,82</b>	<b>0,74</b>	0,10	<b>0,44</b>
MOE	<b>0,56</b>	<b>0,66</b>	<b>0,60</b>	<b>0,59</b>	<b>0,58</b>	<b>0,70</b>	<b>0,59</b>	0,17	<b>0,53</b>
Comprimento	<b>0,34</b>	<b>0,52</b>	<b>0,35</b>	<b>0,39</b>	<b>0,31</b>	<b>0,44</b>	<b>0,38</b>	-0,09	<b>0,45</b>
Largura	<b>-0,30</b>	<b>-0,28</b>	<b>-0,27</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,40</b>	-0,10	-0,10
Diâmetro do lume	<b>-0,47</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,56</b>	-0,01	<b>-0,26</b>
Espessura parede	<b>0,42</b>	<b>0,48</b>	<b>0,42</b>	<b>0,44</b>	<b>0,40</b>	<b>0,51</b>	<b>0,44</b>	-0,12	<b>0,30</b>

Em negrito = significativo a 5 % de probabilidade.

**Tabela A20:** Coeficiente de correlação de Pearson entre as propriedades da madeira de angico-vermelho.

VARIÁVEIS	Contração Radial	Contração Volumétrica	Fator Anisotrópico	MOR	MOE	Comprimento	Largura	Diâmetro do lume	Espessura da parede
Rt Cisalhamento	<b>0,44</b>	<b>0,59</b>	-0,11	<b>0,66</b>	<b>0,56</b>	<b>0,34</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,42</b>
Rt Compressão	<b>0,64</b>	<b>0,69</b>	<b>-0,23</b>	<b>0,79</b>	<b>0,66</b>	<b>0,52</b>	<b>-0,28</b>	<b>-0,50</b>	<b>0,48</b>
D Radial	<b>0,56</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,23</b>	<b>0,69</b>	<b>0,60</b>	<b>0,35</b>	<b>-0,27</b>	<b>-0,45</b>	<b>0,42</b>
D Tangencial	<b>0,57</b>	<b>0,64</b>	-0,19	<b>0,70</b>	<b>0,59</b>	<b>0,39</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,48</b>	<b>0,44</b>
D Transversal	<b>0,60</b>	<b>0,61</b>	<b>-0,27</b>	<b>0,70</b>	<b>0,58</b>	<b>0,31</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,40</b>
MEA	<b>0,64</b>	<b>0,69</b>	<b>-0,27</b>	<b>0,82</b>	<b>0,70</b>	<b>0,44</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,58</b>	<b>0,51</b>
MEB	<b>0,56</b>	<b>0,57</b>	<b>-0,27</b>	<b>0,74</b>	<b>0,59</b>	<b>0,38</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,56</b>	<b>0,44</b>
C. Longitudinal	-0,01	0,15	0,00	0,10	0,17	-0,09	-0,10	-0,01	-0,12
C. Tangencial	<b>0,23</b>	<b>0,86</b>	<b>0,37</b>	<b>0,44</b>	<b>0,53</b>	<b>0,45</b>	-0,10	<b>-0,26</b>	<b>0,30</b>
C. Radial	1,00	<b>0,67</b>	<b>-0,75</b>	<b>0,49</b>	<b>0,36</b>	<b>0,26</b>	-0,10	<b>-0,37</b>	<b>0,50</b>
C. Volumétrica	<b>0,67</b>	1,00	-0,09	<b>0,59</b>	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>	-0,14	<b>-0,38</b>	<b>0,46</b>
F Anisotrópico	<b>-0,75</b>	-0,09	1,00	-0,14	0,03	0,00	0,01	0,16	<b>-0,26</b>
MOR	<b>0,49</b>	<b>0,59</b>	-0,14	1,00	<b>0,87</b>	<b>0,57</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,61</b>	<b>0,58</b>
MOE	<b>0,36</b>	<b>0,61</b>	0,03	<b>0,87</b>	1,00	<b>0,60</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,49</b>	<b>0,39</b>
Comprimento	<b>0,26</b>	<b>0,45</b>	0,00	<b>0,57</b>	<b>0,60</b>	1,00	<b>-0,34</b>	<b>-0,55</b>	<b>0,51</b>
Largura	-0,10	-0,14	0,01	<b>-0,36</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,34</b>	1,00	<b>0,82</b>	-0,09
Diâmetro do lume	<b>-0,37</b>	<b>-0,38</b>	0,16	<b>-0,61</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,55</b>	<b>0,82</b>	1,00	<b>-0,65</b>
Espessura parede	<b>0,50</b>	<b>0,46</b>	<b>-0,26</b>	<b>0,58</b>	<b>0,39</b>	<b>0,51</b>	-0,09	<b>-0,65</b>	1,00

Em negrito = significativo a 5 % de probabilidade.