

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para facilitar a apresentação e discussão dos resultados, os mesmos foram divididos em itens, de acordo com as propriedades avaliadas. A análise estatística foi realizada separadamente, considerando os seguintes grupos: árvores, toras, tábuas e lâminas.

### 4.1 DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES

#### 4.1.1 Árvores

Os valores médios obtidos para as dimensões de fibras e suas relações para a secção avaliada das árvores são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES PARA A SECÇÃO DE TRONCO AVALIADA

PARÂMETRO	L	DL	C	EP	IR	FP	CF	IE
Média	47,4	32,3	3,8	7,5	0,470	32	68	80
s	2,3274	2,5312	0,1439	0,5627	0,0626	2,8240	2,8240	4,7151
CV (%)	4,9	7,8	3,8	7,5	13,3	8,9	4,1	5,9
n	1	3	1	3	7	3	1	2

L: largura das fibras ( m); DL: diâmetro do lume ( m); C: comprimento (mm); EP: espessura da parede ( m); IR: índice de Runkel; FP: fração parede (%); CF: coeficiente de flexibilidade (%); IE: Índice de enfiamento; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação, n: número de árvores necessárias para análise.

As dimensões das fibras apresentaram baixa variação entre as secções de tronco avaliadas, com coeficientes de variação inferiores a 8,0 %. Esse comportamento pode ser explicado pela padronização do diâmetro das árvores na classe intermediária e superior, podendo ter reduzido a variabilidade. Observa-se que a amostragem de sete árvores seria suficiente para análise destas variáveis. MUÑIZ (1993) também encontrou baixos coeficientes de variação das dimensões de fibras para esta espécie, que variaram de 1,3 a 5,8 %. Para o gênero *Pinus*, os coeficientes de variação destas propriedades podem variar de 10 a 30% (SHIMOYAMA; WIECHETEC, 1993).

Os valores obtidos para a largura, diâmetro do lume, espessura da parede e comprimento das fibras estão dentro dos padrões esperados para a espécie aos 28

anos. Valores similares foram verificados por MUÑIZ (1993), estudando a região próxima ao DAP desta espécie aos 30 anos de idade. Já KLOCK (2000) e HASSEGAWA (2003) obtiveram valores inferiores para as características morfológicas de árvores da mesma espécie, com idades de 13 e 25 anos, respectivamente.

O índice de Runkel apresentou valor inferior a 0,5 e a fração parede foi inferior a 40 %, relatados pela bibliografia como limites para boas resistências à tração da celulose/pasta. As fibras dos troncos avaliados também apresentaram boa flexibilidade e capacidade de entrelaçamento.

#### 4.1.2 Toras

Na Tabela 2 são apresentados os valores das dimensões de fibras para as toras 1 e suas relações.

TABELA 2 - VALORES DAS DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES PARA AS TORAS 1

TORA	L	DL	C	EP	IR	FP	CF	IE
Média	46,2	31,1	3,7	7,5	0,490	33	67	81
Desvio Padrão	2,553	2,602	0,143	0,624	0,068	2,988	2,991	5,031
CV (%)	5,5	8,4	3,9	8,3	14,0	9,1	4,5	6,2

L: largura das fibras (  $\mu\text{m}$ ); DL: diâmetro do lume (  $\mu\text{m}$ ); C: comprimento (mm); EP: espessura da parede (  $\mu\text{m}$ ); IR: índice de Runkel; FP: fração parede (%); CF: coeficiente de flexibilidade (%); IE: Índice de entrelaçamento; CV: coeficiente de variação.

As dimensões das fibras das toras 1 apresentam valores superiores à média da árvore ou secção de tronco estudada, pelo fato de estarem posicionadas próximo à base da árvore. Estas propriedades apresentaram baixos coeficientes de variação. Os valores observados para esta região do tronco estão dentro dos padrões esperados e de acordo com resultados observados por MUÑIZ (1993), que verificou para a mesma espécie, aos 30 anos de idade, um comprimento de fibras de aproximadamente 3,6 mm, largura de 48,0  $\mu\text{m}$  e diâmetro do lume de 30,8  $\mu\text{m}$ . A espessura de parede, verificada pelo autor, foi de 8,56  $\mu\text{m}$ , sendo superior àquela determinada no presente trabalho e o coeficiente de variação destas propriedades determinado pelo autor variou de 1,3 a 5,8 %.

As relações entre as dimensões de fibras, verificadas para as primeiras toras (Tabela 2), estão dentro dos padrões esperados para tais características de fibras, conforme dados verificados na bibliografia citada.

Quanto às dimensões de fibras obtidas para as toras 2 (Tabela 3), observam-se maiores largura, diâmetro de lume e comprimento das fibras, quando comparadas às toras 1 (Tabela 2) e se devem às diferentes posições no tronco. Estas diferenças são estatisticamente significativas (Tabela 4). TOMASELLI (1979) e MUÑIZ (1993), estudando posições ao longo do tronco de árvores da mesma espécie, verificaram variações semelhantes para estas propriedades.

TABELA 3 - VALORES DAS DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES PARA AS TORAS 2

TORA	L	DL	C	EP	IR	FP	CF	IE
Media	48,9	33,9	3,9	7,5	0,447	31	69	79
Desvio Padrão	2,252	2,619	0,178	0,571	0,062	2,869	2,899	4,617
Coefficiente de Variação	4,6	7,7	4,6	7,6	14,0	9,3	4,2	5,8

L: largura das fibras (  $\mu$ m); DL: diâmetro do lume (  $\mu$ m); C: comprimento (mm); EP: espessura da parede (  $\mu$ m); IR: índice de Runkel; FP: fração parede (%); CF: coeficiente de flexibilidade (%); IE: Índice de enfiamento; CV: coeficiente de variação.

No presente trabalho, não houve diferença estatística significativa para a média da espessura da parede das fibras entre ambas as toras (Tabela 4).

As relações entre as dimensões de fibras índice de Runkel, fração parede e índice de enfiamento são menores para as toras 2, estando de acordo com a tendência geral de aumento da largura e diâmetro do lume com a altura da árvore. Já o coeficiente de flexibilidade, tende a aumentar no sentido base-topo, apresentando, portanto, maior valor para as toras 2.

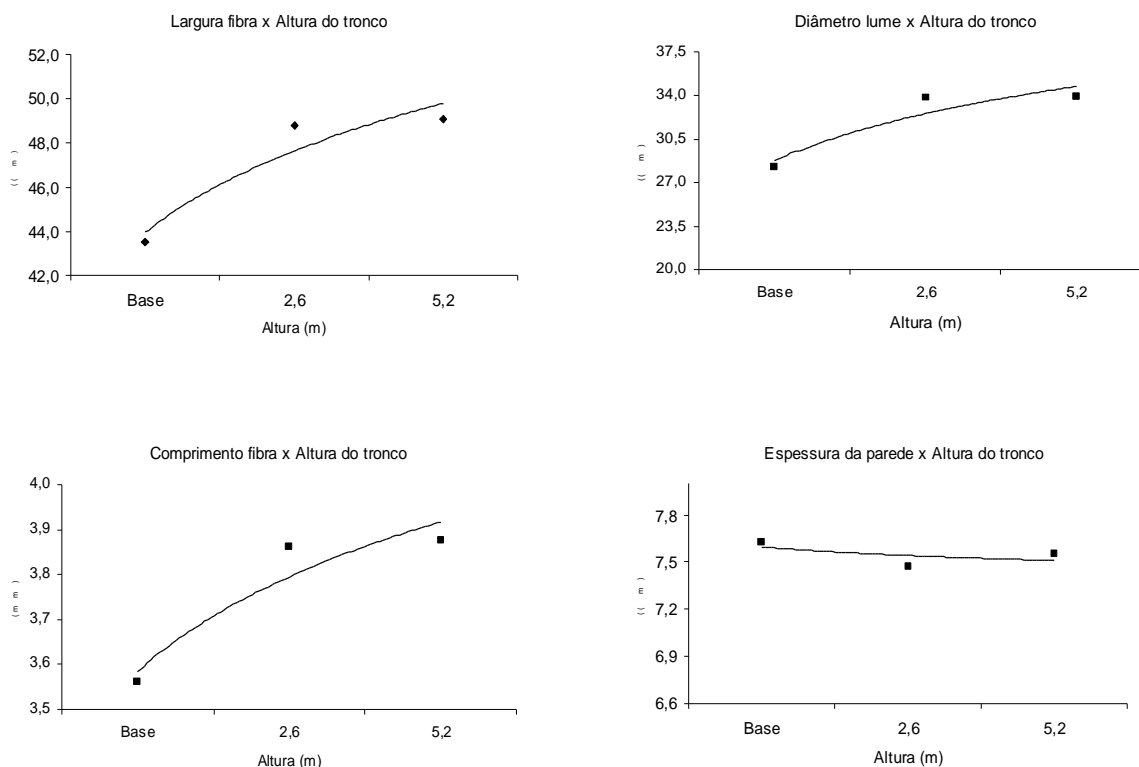
TABELA 4 - VALORES DE t PARA AS MÉDIAS DAS DIMENSÕES DE FIBRAS DAS TORAS 1 E 2

VARIÁVEL	TESTE DE NORMALIDADE		PROBABILIDADE	VALOR DE t
	Tora 1	Tora 2		
Largura	W = 0,96 (p $\leq$ 0,4408)	W = 0,97 (p $\leq$ 0,7130)	9,09.10 <sup>-5</sup>	-4,06
Diâmetro do lume	W = 0,96 (p $\leq$ 0,3776)	W = 0,97 (p $\leq$ 0,7636)	1,81.10 <sup>-4</sup>	-3,84
Comprimento	W <sup>(1)</sup> =0,93 (p $\leq$ 0,1253)	W <sup>(1)</sup> =0,98 (p $\leq$ 0,9489)	5,67.10 <sup>-4</sup>	-3,42
Espessura parede	W = 0,94 (p $\leq$ 0,1271)	W = 0,95 (p $\leq$ 0,2957)	0,42078	0,20 <sup>ns</sup>

Graus de liberdade = 48; W: Teste de Shapiro-Wilk; (1): variáveis transformadas em  $\sqrt{X}$ ; ns: não significativo

O Gráfico 3 ilustra a tendência de variação das dimensões das fibras ao longo da secção de tronco avaliada.

GRÁFICO 3 - TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DAS DIMENSÕES DE FIBRAS NA SECÇÃO DE TRONCO ESTUDADA



Verifica-se tendência de aumento da largura, diâmetro do lume e comprimento das fibras da base até 5,6 m de altura e a espessura da parede tende a reduzir neste sentido. Estas tendências são comuns para o gênero *Pinus*. Observações similares foram feitas por COWN (1975); TOMASELLI (1979); CORSON (1984) e MUÑIZ (1993).

#### 4.2 PERCENTUAL DE LENHOS

O percentual médio de lenho inicial e tardio para a secção do tronco avaliada (Tabela 5) apresentou, em média, 57,8% de lenho inicial e 42,2% de lenho tardio. Estes valores dependem do ritmo de crescimento, especialmente nos primeiros dez anos, e da idade da planta.

Como pode ser observado, o percentual de lenhos varia também com a posição na árvore (toras 1 e 2). Há um aumento no percentual médio de lenho inicial de 54,7% para 61,4% e redução do lenho tardio médio de 45,3% para 38,6% da tora 1 para a tora 2. Tendência semelhante foi verificado por KLOCK (2000) que apontou

uma redução no percentual de lenho tardio de 40,1 da base para 15,7 % no topo de árvores de *P. taeda* aos 13 anos de idade e MUÑIZ (1993) encontrou redução de 52,0 para 32,5 % do DAP até 75 % da altura comercial de árvores da mesma espécie, aos 30 anos de idade.

TABELA 5 - PERCENTUAL DE LENHO INICIAL E TARDIO PARA A SECÇÃO DO TRONCO AVALIADA (5,6 m) E TORAS

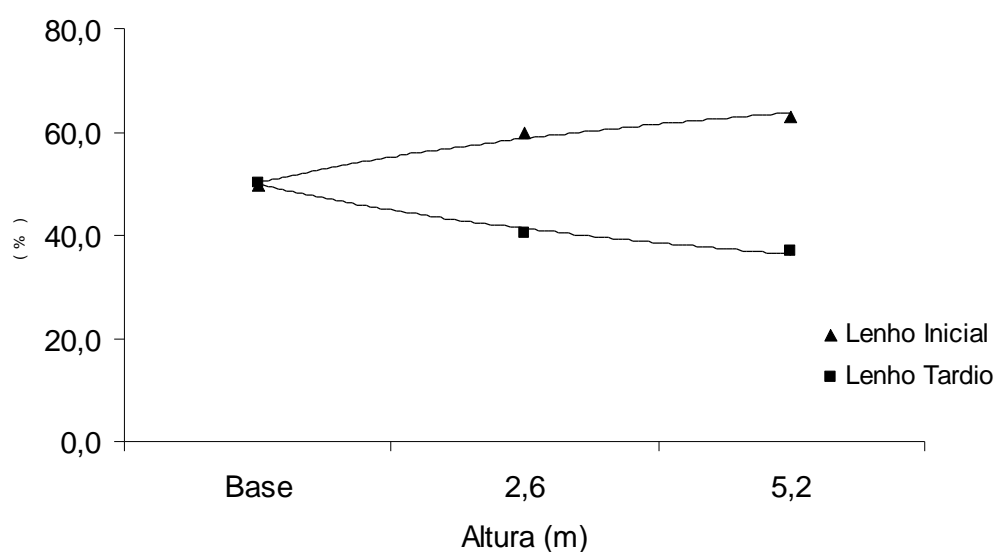
PARÂMETROS	TRONCO		TORA 1		TORA 2	
	Lenho Inicial (%)	Lenho Tardio (%)	Lenho Inicial (%)	Lenho Tardio (%)	Lenho Inicial (%)	Lenho Tardio (%)
Média	57,8	42,2	54,7	45,3	61,4	38,6
S	4,2175	4,2175	5,073	5,073	4,399	4,399
CV (%)	7,3	10,0	9,3	11,2	7,2	11,4
Teste de Normalidade	-	-	W = 0,93 (p ≤ 0,1061)	W = 0,93 (p ≤ 0,0934)	W = 0,95 (p ≤ 0,3196)	W = 0,95 (p ≤ 0,3192)
n	2	4	4	5	2	6

s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; W: teste de Shapiro-Wilk; n: número de amostras necessárias.

O lenho tardio apresentou, no presente trabalho, maior variação entre toras quando comparado ao lenho inicial, observado através dos coeficientes de variação.

O Gráfico 4 ilustra a tendência de variação da porcentagem de lenho inicial e tardio na secção de tronco estudada.

GRÁFICO 4 - TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHOS NA SECÇÃO DE TRONCO ESTUDADA



Verificou-se tendência de decréscimo do percentual de lenho tardio ao longo da secção de tronco avaliada. Este resultado é esperado para espécies do gênero

*Pinus*, sendo influenciado pelo meristema apical, responsável pelo crescimento em altura. Resultado semelhante foi relatado por MUÑIZ (1993); MENDONÇA (1982); KLOCK (2000); HASSEGAWA (2003).

Determinou-se também o percentual de lenho inicial e tardio na madeira juvenil e adulta. Os valores apresentados na Tabela 6 apontam maior percentual de lenho inicial na madeira juvenil, comparado à madeira adulta, sendo esta diferença significativa a 1 % de probabilidade, conforme teste t (Tabela 7).

TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DOS PERCENTUAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL E ADULTA E TESTE DE NORMALIDADE SEGUNDO SHAPIRO-WILK.

MADEIRA	LENHO INICIAL		LENHO TARDIO	
	(%)	Teste normalidade	(%)	Teste normalidade
Juvenil	69,6	W=0,96 (p≤0,5077)	30,4	W=0,96 (p≤0,5678)
Adulta	46,0	W=0,98 (p≤0,8855)	54,0	W=0,97 (p≤0,8700)

W: teste de Shapiro-Wilk

Este resultado pode ser explicado pelo acelerado ritmo de crescimento inicial da planta, produzindo maior percentual de lenho inicial nos dez primeiros anos. O crescimento tende a estabilizar com a idade, e muitas vezes a estagnar com a competição entre árvores, propiciando a predominância do lenho tardio na região externa do tronco (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; LARSON et al., 2001). Os valores obtidos estão de acordo com MUÑIZ (1993), que verificou 22,7 % de lenho tardio na madeira juvenil e 60,8 % na adulta. Outros trabalhos (BENDTSEN 1978; TOMASELLI, 1979; MENDONÇA, 1982; CORSON, 1991; FUJIWARA; YANG, 2000) também apontam percentual de lenho tardio significativamente menor na madeira juvenil.

As diferenças observadas para os percentuais de lenho inicial e tardio entre as toras 1 e 2 são significativas ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 7).

TABELA 7 - RESULTADO DO TESTE t (STUDENT) PARA PERCENTUAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO

Teste	Variável	Probabilidade	Valor de t*
Madeira Juvenil x Adulta	Lenho Inicial	$1,66.10^{-24}$	19,24
Madeira Juvenil x Adulta	Lenho tardio	$1,66.10^{-24}$	-19,24
Lenho Inicial x Tardio	Madeira Juvenil	$1,81.10^{-36}$	35,60
Lenho Inicial x Tardio	Madeira Adulta	$8,32.10^{-07}$	-5,46
Lenho Inicial x Tardio	Tora 1	$1,42.10^{-08}$	6,62
Lenho Inicial x Tardio	Tora 2	$1,18.10^{-23}$	18,37
Tora 1 x Tora 2	Lenho Inicial	$4,4.10^{-06}$	4,97
Tora 1 x Tora 2	Lenho Tardio	$4,4.10^{-06}$	-4,97

\* graus de liberdade = 48.

### 4.3 DENSIDADE BÁSICA

A densidade básica média ponderada da secção de tronco avaliada para cada árvore, a densidade das toras 1 e 2 e dos discos amostrados, bem como seus desvios padrão e coeficientes de variação são apresentados na Tabela 8.

A densidade básica média apresentou valor dentro dos padrões esperados para *P. taeda*, aos 28 anos de idade. A amplitude de variação foi de  $0,150 \text{ g/cm}^3$  (entre a árvore 9 e 21). De uma maneira geral, a amplitude de valores médios obtidos assemelha-se aos resultados verificados para espécies do gênero *Pinus*, apresentados por CHOONG; FOGG (1989) e KOCH (1972), dentre outros. Observou-se um baixo coeficiente de variação, que se encontra dentro dos padrões esperados para a característica, que normalmente varia entre 5,0 e 12,0 %. Em função desta baixa variação, apenas tronco de duas árvores seriam necessários para determinação desta propriedade. MUÑIZ (1993) estudando árvores da mesma espécie, aos 30 anos de idade, verificou um valor de  $0,516 \text{ g/cm}^3$  para a região do DAP. Valores inferiores para a densidade desta espécie, relacionados à idade, foram obtidos por HASSEGAWA (2003) e KLOCK (2000), aos 25 e 13 anos, respectivamente.

No que se refere às toras, observa-se que as toras 1 apresentaram densidade média 6,4 % superior às toras 2, variando de  $0,428$  a  $0,593 \text{ g/cm}^3$ . A densidade das toras 2 variou de  $0,415$  a  $0,545 \text{ g/cm}^3$  e, em ambas, o menor valor foi verificado para a árvore 9 e o maior para a árvore 21. Estas diferenças são significativas ao nível de 1% de probabilidade, conforme teste t de Student, realizado

para as médias (Tabela 9). O coeficiente de variação de aproximadamente 7,0 % entre as primeiras toras é baixo e valor similar é apresentado pelas segundas toras. KLOCK (2000), comparando os coeficientes de variação para esta propriedade em posições relativas da árvore, verificou variação de 4,2 a 6,4 % entre árvores.

TABELA 8 - VALORES MÉDIOS PARA DENSIDADE BÁSICA DAS SECÇÕES DE TRONCO, TORAS E DISCOS

ÁRVORE	TRONCO	TORA 1	TORA 2	DISCO 1	DISCO 2	DISCO 3
1	0,529	0,540	0,534	0,519	0,562	0,506
2	0,500	0,516	0,483	0,535	0,496	0,469
3	0,499	0,519	0,477	0,543	0,495	0,460
4	0,507	0,515	0,490	0,541	0,490	0,489
5	0,490	0,501	0,472	0,527	0,476	0,468
6	0,509	0,520	0,498	0,532	0,509	0,487
7	0,463	0,477	0,447	0,497	0,457	0,436
8	0,560	0,589	0,539	0,601	0,577	0,501
9	0,422	0,428	0,415	0,437	0,419	0,410
10	0,500	0,510	0,499	0,503	0,517	0,482
11	0,473	0,484	0,455	0,508	0,460	0,451
12	0,493	0,514	0,461	0,556	0,472	0,449
13	0,531	0,545	0,515	0,563	0,527	0,503
14	0,493	0,517	0,457	0,566	0,469	0,445
15	0,520	0,541	0,522	0,517	0,566	0,478
16	0,515	0,538	0,488	0,571	0,505	0,471
17	0,490	0,515	0,452	0,568	0,463	0,441
18	0,534	0,553	0,509	0,583	0,523	0,496
19	0,452	0,463	0,445	0,465	0,461	0,429
20	0,496	0,504	0,484	0,519	0,490	0,479
21	0,565	0,593	0,545	0,605	0,581	0,509
22	0,513	0,530	0,484	0,571	0,489	0,478
23	0,465	0,480	0,454	0,487	0,473	0,435
24	0,480	0,490	0,463	0,512	0,468	0,458
25	0,514	0,518	0,491	0,560	0,477	0,505
Média	0,501	0,516	0,483	0,535	0,497	0,469
s	0,0318	0,0358	0,0324	0,0405	0,0407	0,0273
CV (%)	6,3	6,9	6,7	7,6	8,2	5,8
n	2	2	2	-	-	-

Valores em g/cm<sup>3</sup>; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; n: número de amostras necessárias.

A variabilidade da densidade da madeira entre e dentro das árvores, no sentido longitudinal e radial, é característica reconhecida nas espécies do gênero *Pinus*, sendo atribuída principalmente à fatores genéticos, ambientais, silviculturais, dentre outros (BARRICHELO, 1979; ZOBEL, 1981; SHIMOYAMA, 1990).



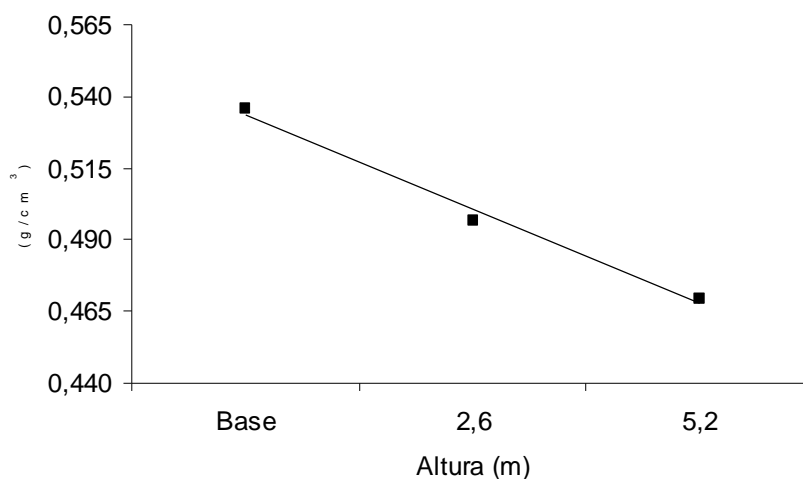
TABELA 9. VALOR DE t PARA AS MÉDIAS DA DENSIDADE BÁSICA ENTRE AS TORAS 1 E 2

TESTE	TESTE NORMALIDADE		PROBABILIDADE	VALOR DE t*
	Tora 1	Tora 2		
Densidade básica Tora 1xTora 2	W=0,96 (p≤0,4486)	W=0,97 (p≤0,7888)	6,6. 10 <sup>-4</sup>	3,41

\*: graus de liberdade = 48; W: Teste de Shapiro-Wilk

O Gráfico 5 apresenta a tendência de variação da densidade básica na secção de tronco estudada.

GRÁFICO 5 - TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA NA SECÇÃO DE TRONCO ESTUDADA



Observa-se tendência de redução da densidade básica ao longo dos 5,6 m do tronco. Esta tendência é normalmente verificada para o gênero *Pinus*, tendo sido relatada por diversos pesquisadores (PANSWIN; DE ZEEUW, 1980; MUNER, 1983; KLOCK, 1989; MENDONÇA, 1982; TOMASELLI, 1979; MUÑIZ, 1993; SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003).

#### 4.4 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO

Os valores obtidos para velocidade de propagação das ondas são apresentados em sub-itens de acordo com as fases avaliadas.

#### 4.4.1- Velocidade das Ondas para as Árvores em Pé e Toras

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios da velocidade de propagação das ondas de tensão avaliadas na árvore em pé e nas toras 1 e 2.

TABELA 10 - VALORES DA VELOCIDADE MÉDIA DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA AS ÁRVORES EM PÉ E TORAS

ÁRVORE	ÁRVORE (m/s)	TORAS 1 (m/s)	TORAS 2 (m/s)
1	701	2433	2412
2	731	2163	2159
3	727	2194	2405
4	745	2309	2263
5	778	2458	2325
6	831	2313	2201
7	679	1996	2270
8	775	2266	2412
9	596	1854	2093
10	811	2170	2387
11	667	2314	2371
12	715	2333	2240
13	777	2280	2393
14	702	2162	2453
15	768	2221	2299
16	731	2386	2333
17	687	2494	2227
18	766	2445	2384
19	631	2058	2136
20	745	2354	2355
21	818	2391	2501
22	685	2431	2308
23	705	2270	2234
24	725	2254	2143
25	739	2232	2373
Média	729	2271	2307
s	55,9	151,2	107,4
CV (%)	7,7	6,7	4,7
n	3	2	1
Teste de Normalidade	W=0,98 (p≤0,9130)	W=0,94 (p≤0,1691)	W=0,97 (p≤0,5654)

s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; n: número de amostras necessárias; W: Teste de Shapiro-Wilk.

O valor para velocidade média de propagação das ondas de tensão das árvores em pé apresentou-se inferior às toras. Este resultado era esperado, uma vez que as barreiras para propagação do som são maiores na árvore em pé, reduzindo a velocidade e aumentando o tempo de propagação das ondas.

Observa-se que os valores apresentados para as toras 1 e 2 foram semelhantes. A diferença na média de densidade de  $0,033 \text{ g/cm}^3$  ou  $33 \text{ kg/m}^3$  (Tabela 8) não foi suficiente para influenciar na velocidade de propagação das ondas de tensão entre ambas as toras.

No que diz respeito à variação desta propriedade, o valor de 7,7 % para o coeficiente de variação entre árvores; 6,7 % e 4,7 % para as toras 1 e 2, respectivamente, são considerados baixos. A avaliação de apenas três árvores ( $n = 3$ ) seria suficiente para determinação desta propriedade. Não foram encontrados, na literatura, dados referentes à velocidade de propagação de ondas determinadas em árvores em pé e em toras, comparáveis para a espécie estudada neste trabalho. Existe apenas escassa bibliografia a respeito de outras espécies, como, por exemplo, WANG et al. (2001), que em avaliação não destrutiva das propriedades da madeira, utilizou o método de ondas de tensão em árvores em pé de “Sitka spruce” (*Picea sitchensis*) e “Western hemlock” (*Tsuga heterophylla*), observando valores consideravelmente superiores para a velocidade de propagação das ondas, com 3528 m/s para a primeira espécie e de 3373 m/s para a segunda, e coeficientes de variação de 8,5 % e 10,4 %, respectivamente. JANG et al. (2000) utilizando ondas de tensão para estudo das propriedades de toras de “Larch” com idade entre 20 e 25 anos e 25 e 30 cm de diâmetro, obtiveram valores para a velocidade de propagação das ondas de tensão entre 3857 a 4607 m/s, com o valor médio de 4284, para as toras com teor de umidade de 66 %. Estes valores são superiores aos verificados para *P. taeda* no presente trabalho e esta diferença pode ser atribuída ao teor de umidade, à espécie e ao teor de madeira juvenil. O autor verificou um coeficiente de variação de 4,8 % para a variação desta propriedade entre as toras.

#### 4.4.2 Velocidade das Ondas para as Tábuas

Nas tábuas, os valores médios da velocidade de propagação das ondas de tensão na condição úmida e seca ao ar (Tabela 11) são diferentes das toras. Esse comportamento era esperado, uma vez que o processamento da madeira (de toras para tábuas) interfere diretamente nas propriedades acústicas.

TABELA 11 – VALORES MÉDIOS PARA A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO DAS TÁBUAS ÚMIDAS (RECÉM DESDOBRADAS) E SECAS AO AR, OBTIDAS DAS TORAS 2

TORAS	TÁBUAS ÚMIDAS		TÁBUAS SECAS AO AR	
	Velocidade (m/s)	CV (%)	Velocidade (m/s)	CV (%)
1	3627	2,5	4919	7,9
2	3527	2,6	4891	7,4
3	4052	0,8	4891	7,1
4	3966	0,7	5200	3,2
5	3577	2,5	4888	5,4
6	3507	2,6	4674	8,0
7	3859	2,5	5055	5,9
8	3858	1,7	5082	6,4
9	3740	1,0	4942	4,3
10	3793	1,1	4962	4,8
11	4087	0,5	5060	4,3
12	3382	2,3	4689	6,4
13	4121	0,8	5090	6,0
14	3809	6,0	4947	6,0
15	3878	1,4	5060	6,2
16	3988	0,9	4946	6,0
17	3705	1,5	4930	6,1
18	4311	1,4	4907	5,0
19	3868	2,6	4663	4,9
20	3682	2,6	4985	7,1
21	3667	1,5	4865	8,2
22	3682	1,3	5048	5,6
23	3661	1,8	5100	5,3
24	3866	0,5	4847	6,3
25	4249	2,1	5031	5,3
Média	3818	1,8	4947	6,0
s	230,9	1,12	134,3	1,20
CV (%)	6,0	62,2	2,7	20,1
n	3		3	
Teste de Normalidade	W=0,98 (p≤ 0,8875)		W=0,94 (p≤ 0,1362)	

s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; n: número de tábuas necessárias por tora; W: Teste de Shapiro-Wilk.

A velocidade de propagação das ondas, determinadas nas tábuas úmidas (recém desdobradas), foi significativamente menor que o valor obtido para as tábuas secas ao ar e se deve à influência que a umidade exerce sobre esta propriedade. SIMPSON; WANG (2001), estudando *Pinus ponderosa*, verificaram um aumento na velocidade de propagação das ondas de tensão de 1680 m/s da madeira com 180 % de umidade (base seca) para aproximadamente 2500 m/s com umidade de 20 %. Resultados similares foram obtidos por SIMPSON (1998). JAMES (1961) e

GERHARDS (1975), observaram um decréscimo na velocidade de propagação de ondas de tensão com aumentos no teor de umidade.

No que diz respeito às variações das tábuas entre toras, a velocidade média das ondas apresenta baixo coeficiente de variação, tanto na condição úmida, quanto seca ao ar. Entre tábuas, obtidas de uma mesma tora, esta variação é relativamente superior, especialmente para a condição seca ao ar e pode ser atribuída à variabilidade das propriedades da madeira dentro da árvore, a exemplo da densidade básica. Apesar disso, o cálculo efetuado para determinação do número de tábuas necessárias para determinação desta variável por tora indica que apenas três tábuas seriam suficientes.

McDONALD (1978), estudando espécies de coníferas, verificou uma velocidade de 4350 m/s em tábuas secas de “Douglas-fir” (*Pseudotsuga manziesii*) e de “Eastern White pine” (*Pinus strobus* L.), e 4390 m/s em tábuas verdes de *Pinus ponderosa* e JANG (2000) determinou para amostras de madeira com idade entre 20 a 25 anos, a um teor de umidade de 15 % (base úmida), velocidade média de propagação das ondas de tensão de 4349 m/s.

As tábuas, de uma maneira geral, apresentaram as mais altas velocidades de propagação das ondas de tensão quando comparadas às árvores e toras.

#### 4.4.3 Velocidade das Ondas para as Lâminas

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios obtidos para a velocidade de propagação de ondas, determinadas nos sentidos longitudinal e transversal ao comprimento das lâminas.

A velocidade de propagação de ondas de tensão avaliada no sentido longitudinal mostrou-se aproximadamente duas vezes superior ao transversal. Sabendo-se que o sentido longitudinal das lâminas corresponde ao comprimento da tora, as ondas de tensão emitidas neste sentido acompanham a direção de grã, resultando em uma maior velocidade de propagação das mesmas. Já no sentido transversal, os anéis de crescimento, especialmente o lenho inicial, com menor densidade e fibras com maior diâmetro de lume, tornam-se barreiras para as ondas de tensão, reduzindo sua velocidade e aumentando o tempo de propagação das mesmas (McDONALD, 1978).

TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO PARA AS LÂMINAS OBTIDAS DAS TORAS 1

TORA	VELOCIDADE (m/s)	
	Longitudinal	Transversal
1	274	345
2	1151	265
3	1223	714
4	611	219
5	1145	329
6	440	245
7	428	210
8	258	408
9	300	261
10	1567	512
11	1273	124
12	871	312
13	871	312
14	1402	742
15	569	364
16	928	458
17	2794	954
18	891	333
19	639	432
20	739	407
21	884	870
22	299	140
23	476	230
24	742	252
25	397	228
Média	847	387
s	551,04	217,89
CV (%)	65,1	56,3
n	154	187
Teste de Normalidade	W <sup>(1)</sup> =0,93 (p≤0,1332)	W <sup>(1)</sup> =0,92 (p≤0,0546)

s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação;n: número de lâminas necessárias por tora; W: Teste de Shapiro-

Wilk; <sup>(1)</sup>: variáveis transformadas em  $\sqrt{X}$

As variações da velocidade de propagação das ondas de tensão média das lâminas, em ambos os sentidos avaliados, foram extremamente altas entre as toras, variando de 274 a 2794 m/s no sentido longitudinal e de 124 a 954 m/s no transversal, apresentando coeficientes de variação acima de 50 %. Esta variação se deve à fragilidade das lâminas devido à baixa espessura, tornando-as sensíveis ao método de determinação e às interferências do ambiente e também à variabilidade existente no sentido radial. Esse resultado indica a necessidade de se considerar o local, a forma e o número de lâminas a serem avaliadas. Nestas condições de avaliação das lâminas, seria necessário analisar 154 Lâminas por tora no sentido

longitudinal e 187 no sentido transversal. Como as toras avaliadas não fornecem este número de lâminas, seria adequado avaliar todas as lâminas obtidas. Alta variação também foi observada na velocidade das ondas determinadas por JUNG (1979), ao estudar técnicas de classificação de lâminas de madeira, verificando valores entre 1524 e 4318 m/s e ROSS et al. (1999), analisando lâminas de *Pinus ponderosa* aos 37 anos de idade, verificaram variação na velocidade das ondas de 3663 a 5435 m/s.

Na Tabela 13 são apresentados os resultados do teste t de Sudent para as velocidades médias entre as toras 1 e 2, entre as tábuas úmidas e secas, e entre os sentidos longitudinais e transversais das lâminas. Observa-se que a diferença entre da velocidade média de propagação das ondas entre as toras 1 (Tabela 10) não foi estatisticamente significativa. Entretanto, as diferenças verificadas para a velocidade média, determinada nas tábuas úmidas e secas ao ar (Tabela 11), foram estatisticamente significativas. O mesmo ocorre com as diferenças observadas para a velocidade média das lâminas, obtidas nos sentidos longitudinal e transversal (Tabela 12).

TABELA 13 - VALORES DE t PARA PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS, TÁBUAS E LÂMINAS

TESTE	VARIÁVEL	PROBABILIDADE	VALOR DE t*
Tora 1 x Tora 2	VEL	0,16860	-0,97
Velocidade ondas Tensão - Seco x Úmido	Tábuas	$3,03 \cdot 10^{-26}$	-21,1
Velocidade Longitudinal x Transversal	Lâminas	$1,58 \cdot 10^{-4}$	3,88

VEL: velocidade de propagação de ondas de tensão; \*: graus de liberdade = 48.

De uma maneira geral, comparando-se os valores das propriedades acústicas da madeira entre as árvores em pé, toras, tábuas e lâminas, observa-se que a velocidade de propagação muda acentuadamente de acordo com o processamento da madeira, aumentando com a redução do tamanho do material estudado, exceto para as lâminas que apresentaram valores iguais ou, até mesmo, inferiores que as árvores, indicando um nível acentuado de interferências nas propriedades acústicas desse material.

#### 4.4.4- Correlações da Velocidade das Ondas entre Árvores, Toras, Tábuas e Lâminas

As correlações da velocidade de propagação das ondas entre os grupos árvores em pé, toras 1 e 2, tábuas e lâminas são apresentadas na Tabela 14.

Observou-se correlação moderada, entretanto, significativa da velocidade de propagação das ondas avaliadas na árvore em pé e nas toras, indicando que esta propriedade pode ser estimada nas toras através da avaliação na árvore em pé.

Correlações significativas também foram detectadas para a velocidade das ondas entre as toras 1 e 2. Isso significa que esta propriedade apresenta mesma tendência nas duas toras.

Não foram verificadas correlações significativas para a velocidade de propagação das ondas entre a primeira tora e as lâminas obtidas da mesma. Este resultado era esperado devido à grande variação observada nas lâminas. Em função dessa variação um maior número de lâminas deve ser avaliado. Apenas 05 lâminas não são suficientes para representar a tora. Resultado semelhante também foi relatado por RIPPY et al. (2000) que obteve coeficiente de correlação de 0,35 para a velocidade das ondas determinadas em toras e lâminas de “Douglas-fir”. O autor reporta a baixa correlação à alta variabilidade das propriedades da madeira dentro da tora, especialmente no sentido radial e, apesar do resultado obtido, afirma que é possível estimar as propriedades das lâminas através das toras. Por outro lado, ROSS et al. (1999) observaram correlações significativas para as ondas de tensão entre toras e lâminas.

No presente trabalho não foram verificadas correlações significativas entre as velocidades das ondas de tensão avaliadas nas toras 2 e nas respectivas tábuas. Provavelmente, este resultado também esteja relacionado à variabilidade das propriedades da madeira dentro do tronco. Tábuas obtidas da região próxima à medula (madeira juvenil) tendem a apresentar menor velocidade de propagação de ondas de tensão (JANG, 2000; BUCUR et al., 1991). Entretanto, JANG (2000) encontrou correlações significativas para esta propriedade determinada em toras e na madeira serrada, obtida das mesmas toras.



TABELA 14 - CORRELAÇÕES DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO ENTRE OS GRUPOS ÁRVORES, TORAS, TÁBUAS E LÂMINAS

PROPRIEDADES	ÁRVORE	TORAS 1	TORAS 2	TÁBUAS UMIDAS	TÁBUAS SECAS	LÂMINAS LONG.	LÂMINAS TRANSV.
ÁRVORE	1,00						
TORAS 1	<b>0,45</b>	1,00					
TORAS 2	<b>0,48</b>	<b>0,41</b>	1,00				
TÁBUAS ÚMIDAS	-0,02	-0,07	0,33	1,00			
TÁBUAS SECAS	-0,01	0,01	0,31	<b>0,42</b>	1,00		
LÂMINAS – LONGITUDINAL	0,04	0,27	0,09	-0,02	-0,12	1,00	
LÂMINAS - TRANSVERSAL	0,16	0,17	0,37	-0,07	-0,22	<b>0,66</b>	1,00

Coefficientes de correlação destacados em negrito para  $p\text{-valor} \leq 5\%$

No que diz respeito à relação entre a velocidade das ondas avaliada para a árvore em pé e o produto final (tábuas e lâminas) também não houve correlações significativas. Esse resultado era esperado, já que não foram observadas correlações entre esses produtos e as respectivas toras. WANG et al. (2001) verificaram para a elasticidade da madeira, determinada através de emissão de ondas de tensão, relações entre árvore em pé e produtos obtidos das mesmas.

Foi observada correlação da velocidade de propagação de ondas de tensão, determinados nas tábuas úmidas, com os valores obtidos para as tábuas secas ao ar. Este resultado sugere que a análise pode ser realizada nas tábuas úmidas, eliminando-se a fase de secagem da madeira, reduzindo-se, assim, o tempo e custo das análises. BRASHAW et al. (2004) verificaram forte correlação entre para velocidade das ondas determinadas em lâminas verdes e secas de *Pinus* spp. e “Douglas-fir” (*Pseudotsuga menziesii*).

Correlações significativas também foram detectadas entre as velocidades determinadas no sentido longitudinal e transversal da lâmina, indicando um incremento ou redução simultânea em ambos os sentidos, independentemente da disposição das células ou lenhos.

#### 4.5 DIÂMETRO, FREQUÊNCIA E ÁREA DE NÓS

A frequência, diâmetro e área dos nós foram determinados nas lâminas obtidas das toras 1, sendo estas últimas correspondentes ao ponto de análise da árvore em pé. Sendo assim, foram considerados para as árvores e toras 1 os mesmos valores obtidos nas lâminas. Não foi possível calcular os valores médios para a secção de tronco avaliada (5,20 m), uma vez que nas toras 1, estas propriedades foram determinadas através das lâminas, e nas toras 2 foram obtidas através das tábuas, portanto, com metodologias distintas.

Nas lâminas, considerou-se cada nó independente dos demais, desconsiderando a possível ocorrência de um nó por mais de uma vez em uma mesma lâmina, o que pode ocorrer no processo de laminação.

Os valores destas propriedades foram divididos em subitens, apresentados a seguir.

#### 4.5.1 Toras 1

Na Tabela 15 são apresentados a frequência, o diâmetro e a área dos nós para a primeira tora, determinados através das lâminas.

TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO, FREQUÊNCIA E ÁREA DE NÓS, OBTIDOS NAS LÂMINAS DAS TORAS 1

PARÂMETRO	DIÂMETRO MÉDIO (cm)	FREQUÊNCIA (Nº/m <sup>2</sup> )	ÁREA DOS NÓS (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
Média	1,54	14,45	47,10
s	0,5550	4,8070	21,0800
CV (%)	36,0	33,3	44,7
n	52	45	80

s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; n: número de árvores ou toras necessárias.

O diâmetro médio dos nós de 1,54 cm pode ser considerado normal para povoamentos comerciais não podados. A bibliografia é escassa sobre este assunto, não oferecendo valores para comparação com os dados obtidos neste trabalho. Observa-se alta variação desta propriedade entre as árvores, onde o cálculo mostra que seriam necessárias cinquenta e duas árvores para determinar esta propriedade com maior precisão.

Verificou-se a presença média de 14,45 nós por metro quadrado de lâmina, sendo que esta frequência pode estar sendo influenciada pelo processo de laminação, pois ao laminar a tora com 2,2 mm de espessura em torno desfolhador, um nó pode ocorrer mais de uma vez em uma única lâmina, dependendo da área de abrangência do mesmo, ao longo do raio da tora. Esta propriedade também apresentou alta variação entre árvores, com coeficiente de variação de 33,3 %, sendo necessária avaliação de pelo menos 45 árvores.

A área total média coberta por nós correspondeu, em média, a 0,45% da área total da lâmina. Apesar de não atingir 1 % da área total da lâmina, estes nós podem exercer influência sobre as propriedades físicas e anatômicas, bem como nas propriedades químicas da madeira. Como esta variável é determinada pelo diâmetro e frequência dos nós, também apresentou alto coeficiente de variação e necessidade de avaliação de um número ainda maior de árvores.

Na parte inferior do tronco, especialmente na tora 1, ocorre uma desrama natural das árvores em função do estreito espaçamento inicial utilizados para

plantios comerciais. Com o crescimento em diâmetro, há deposição de camadas de madeira, cobrindo os nós existentes, restringindo-os à região interna da árvore, ou seja, na madeira juvenil (COWN, 1992). Esse processo pode ser verificado nos Gráficos 6, 7 e 8 que apresentam a frequência, o diâmetro e a área de nós na madeira juvenil e adulta.

GRÁFICO 6 - FREQUÊNCIA DE NÓS NA MADEIRA JUVENIL E ADULTA, OBTIDA NAS LÂMINAS DAS TORAS 1

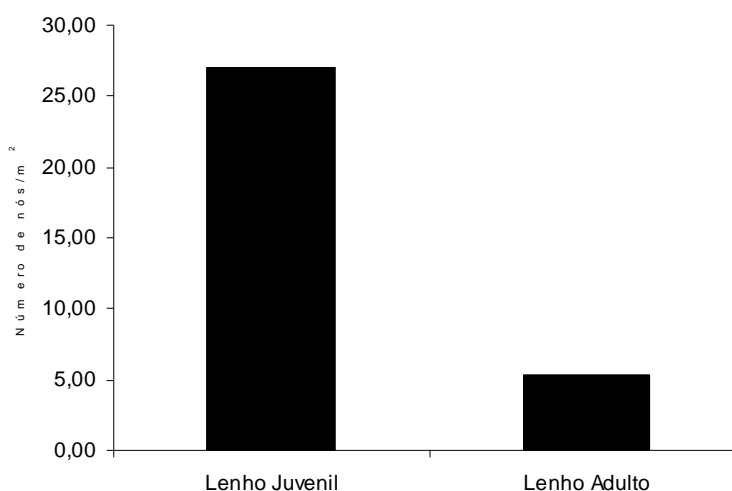


GRÁFICO 7 - DIÂMETRO DOS NÓS DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA, OBTIDO NAS LÂMINAS DAS TORAS 1

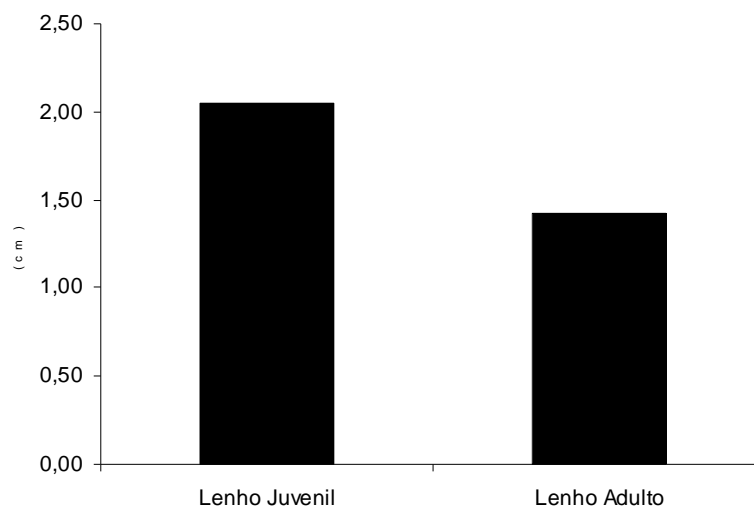
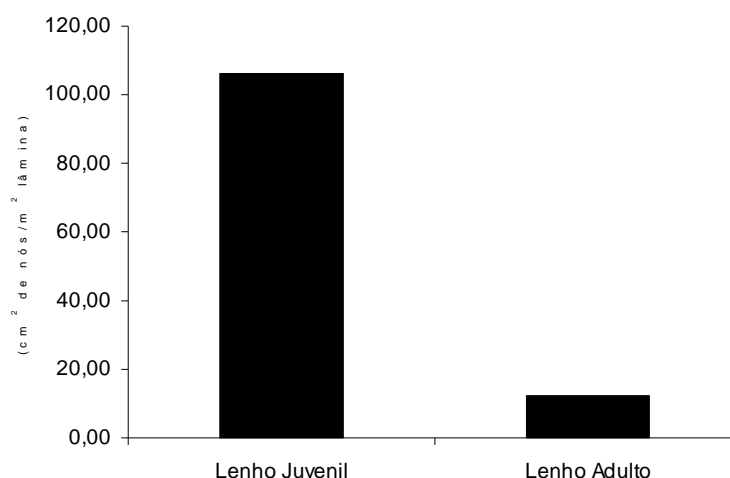


GRÁFICO 8 - ÁREA TOTAL DE NÓS POR METRO QUADRADO DE LÂMINA DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DAS TORAS 1



A freqüência de nós na região interna da tora, próximo à medula, é 6,5 vezes superior à madeira adulta, próxima à casca, sendo esta diferença altamente significativa (Tabela 16). O diâmetro dos nós não apresentou diferença significativa entre a madeira juvenil e adulta.

Para a madeira juvenil a área total de nós é superior à madeira adulta em consequência de maiores diâmetros e freqüência dos nós, sendo esta diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de acordo com o teste de médias (Tabela 16).

TABELA 16 - VALORES DE t PARA AS PROPRIEDADES DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DAS TORAS 1

TESTE	VARIÁVEL	TESTE NORMALIDADE		PROBABILIDADE	VALOR DE t*
		Juvenil	Adulta		
Madeira Juvenil x Adulta	Diâmetro Nó	W <sup>(1)</sup> =0,96 (p≤0,4877)	W <sup>(1)</sup> =0,97 (p≤0,7581)	0,10684	1,26
Madeira Juvenil x Adulta	Freq. de Nó	W <sup>(1)</sup> =0,91 (p≤0,0525)	W <sup>(1)</sup> =0,95 (p≤0,3055)	2,86.10 <sup>-14</sup>	10,46
Madeira Juvenil x Adulta	Área de Nó	W <sup>(2)</sup> =0,97 (p≤0,8404)	W <sup>(2)</sup> =0,91 (p≤0,0673)	4,31.10 <sup>-11</sup>	8,27

W: Teste de Shapiro-Wilk; \*: graus de liberdade = 48. <sup>(1)</sup>: variáveis transformadas em  $\sqrt{X}$ ; <sup>(2)</sup>: variáveis transformadas em Log(X).

Os nós afetam a rigidez, a resistência estrutural da madeira e também a dureza e aparência, além de outras propriedades.

#### 4.5.2- Toras 2

Os diâmetros, frequência e área de nós das toras 2 (Tabela 17) também apresentam alta variação.

TABELA 17 - VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO, FREQUÊNCIA E ÁREA DE NÓS OBTIDOS NAS TÁBUAS DAS TORAS 2.

TORA	DIÂMETRO MÉDIO (cm)	FREQUÊNCIA (Nº/m <sup>2</sup> )	ÁREA DE NÓS (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> tábuas)
Média	3,76	10,46	134,5
Desvio Padrão	0,964	4,919	71,702
Coeficiente de variação (%)	25,7	47,0	53,3
n	27	89	114

O diâmetro médio dos nós foi superior ao das toras 1. Já a frequência média dos nós não é comparável ao valor obtido nas lâminas. Apesar disso, a área de nós nas tábuas e, conseqüentemente, nas toras 2 foi superior. Este resultado está de acordo com a tendência geral apresentada pelo gênero *Pinus* que aumenta a frequência, o diâmetro e, conseqüentemente, a área de nós em direção à copa, devido ao maior número de galhos. Também para as toras 2 observou-se alta variação dos nós, sendo necessárias 27 para determinação com maior precisão do diâmetro, 89 para frequência e 114 para área dos nós.

#### 4.6 ÂNGULO DE GRÃ

Os valores médios dos ângulos de grã, avaliados nos três pontos e no comprimento total, na face tangencial externa das tábuas, obtidas das toras 2, são apresentados na Tabela 18.

TABELA 18 - VALORES MÉDIOS DO ÂNGULO DE GRÃ DOS 3 PONTOS AVALIADOS E DA TÁBUA INTEIRA

PARÂMETROS	TÁBUA INTEIRA	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	MÉDIA 3 PONTOS
Média	2,77	3,35	3,30	3,14	3,26
Maior valor	5,14	6,17	6,45	5,18	5,93
Menor valor	1,63	1,77	1,22	1,35	1,58
Desvio padrão	0,810	1,045	1,258	0,975	0,974
CV (%)	29,2	31,2	38,1	31,0	29,9

Ângulo medido em graus (°); CV: Coeficiente de variação

O coeficiente de variação foi alto para esta propriedade. Na literatura, o ângulo de grã é abordado para outras espécies de *Pinus* e outros gêneros, entretanto, alguns comparativos serão realizados com o presente trabalho. COWN et al. (1991), estudando a madeira de *P. radiata*, verificaram uma variação no ângulo de grã entre  $0,5^\circ$  a aproximadamente  $3^\circ$  na posição próxima à base da árvore, sendo os maiores valores verificados na região próxima à medula (madeira juvenil). COWN et al. (1983) observou variação de  $1^\circ$  a  $12^\circ$  para *P. caribaea* var. *hondurensis* de vários locais da região Fiji, entretanto, desta variação apenas 28 % excederam  $5^\circ$ . A variação desta propriedade também foi registrada para espécies de folhosas. SILVA (2002), estudando a inclinação do ângulo de grã em *Eucalyptus grandis*, aos 24 anos de idade, observou que os valores decresceram de  $2,11^\circ$  da região central do tronco para  $1,87^\circ$  na região intermediária, aumentando para  $2,14^\circ$  na região externa, encontrando coeficiente de variação de 69,1 a 81,7 %. Segundo o autor, a grande variação pode ser explicada pela dificuldade de medição que é conduzida num único plano quando na verdade o fenômeno é tridimensional.

Com respeito à variação entre os pontos avaliados, observa-se que o ângulo de grã decresce levemente ao longo da tábua, sendo o menor ângulo verificado para toda extensão da tábua e o maior para o primeiro ponto. Esta tendência de redução ao longo da tábua era esperada, uma vez que o aumento na distância entre o ponto inicial e o ponto final (CA) reduz o ângulo obtido entre a distância horizontal (CA) e a vertical (CO).

De acordo com o teste t, as diferenças entre os três pontos estudados não são significativas. Ao comparar estes pontos e a média deles com o ângulo determinado para a tábua inteira, observou-se diferença significativa a 5 % de probabilidade entre o ponto 1, ponto 2, a média dos três pontos e a tábua inteira (Tabela 19).

TABELA 19 - VALORES DE t PARA OS ÂNGULOS DE GRÃ DETERMINADOS NOS DIFERENTES PONTOS DA TÁBUA

TESTE	PROBABILIDADE	VALOR DE t*
Ângulo de Grã Ponto1 <sup>(1)</sup> x Ponto2 <sup>(2)</sup>	0,44345	0,14
Ângulo de Grã Ponto1 x Ponto3 <sup>(3)</sup>	0,23040	0,73
Ângulo de Grã Ponto1 x Tábua Inteira <sup>(4)</sup>	0,01622	2,20
Ângulo de Grã Ponto2 x Tábua Inteira	0,03980	1,79*
Ângulo de Grã Ponto3 x Tábua Inteira	0,07545	1,46
Ângulo de Grã Média dos pontos <sup>(5)</sup> x Tábua Inteira	0,02799	1,96*

<sup>(1)</sup>: W=0,94 (p≤0,2032); <sup>(2)</sup>: W=0,97 (p≤0,6522); <sup>(3)</sup>: W=0,96; (p≤0,4055); <sup>(4)</sup>: W=0,93 (p≤0,1097); <sup>(5)</sup>: W=0,96 (p≤0,4238); W: Teste de Shapiro-Wilk; \*: graus de liberdade = 48.

Na Tabela 20 são apresentados os valores médios do ângulo de grã, determinados na tábua inteira.

TABELA 20 - VALOR MÉDIO DO ÂNGULO DE GRÃ DETERMINADO NA TÁBUA INTEIRA

TORA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1	2,67	0,39	14,5
2	2,45	0,57	23,4
3	2,02	0,39	19,5
4	2,77	1,98	71,6
5	1,63	0,51	31,1
6	2,60	0,74	28,6
7	1,63	0,65	40,2
8	2,18	0,36	16,6
9	2,81	1,03	36,7
10	1,91	0,79	41,2
11	2,53	1,01	39,8
12	5,14	1,77	34,5
13	2,54	2,28	89,6
14	2,77	0,81	29,3
15	2,14	0,74	34,4
16	3,30	1,04	31,6
17	3,20	0,86	26,9
18	2,47	0,53	21,4
19	3,25	0,59	18,2
20	3,77	1,78	47,0
21	3,23	0,52	16,1
22	3,46	1,06	30,5
23	1,79	0,83	46,3
24	4,10	0,89	33,2
25	2,82	0,24	8,4
n	55	-	-

Valores dos ângulos em graus (°); n:número de tábuas necessárias por tora



Observou-se uma variação do ângulo médio de grã de  $1,63^\circ$  a  $5,14^\circ$ . As árvores 14 e 24 apresentaram os maiores ângulos. Segundo COWN (1992) valores acima de  $4^\circ$  são considerados problemáticos em termos de torção na madeira, podendo acarretar problemas durante a secagem. Verificou-se que a variação entre as tábuas é alta, apresentando coeficiente de variação entre 8,4 % (árvore 25) e 89,6 % (árvore 13). De acordo com o cálculo do número adequado de amostras para avaliação desta propriedade nas condições do material utilizado, seria necessário avaliar 55 tábuas por tora. Como as toras não forneceram esse número de tábuas, seria necessário avaliar todas as tábuas obtidas de cada tora. GERHARDS (1981) analisando tábuas de “Douglas-fir” verificou variação de  $1,9^\circ$  a  $3,5^\circ$  para tábuas classificadas com menores ângulos, e de  $6,7^\circ$  a  $9,5^\circ$  para os maiores valores.

#### 4.7 DENSIDADE APARENTE E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Os valores médios para a densidade aparente e módulo de elasticidade das tábuas secas ao ar, obtidas das toras 2, com os respectivos desvios padrões e coeficientes de variação são apresentados na Tabela 21.

Os valores médios da densidade aparente das tábuas secas ao ar variaram entre toras. Entretanto, maior variação é observada entre tábuas de uma mesma tora, com coeficientes de variação entre 4,3 e 18,3 %, podendo ser explicada pela variabilidade existente dentro da árvore no sentido medula-casca. Ao serrar as toras, as tábuas produzidas na região próxima à casca são diferentes das produzidas na região interna da tora.

Quanto ao módulo de elasticidade, propriedade importante de resistência à flexão estática da madeira, os valores variaram de 11372 a 16274 kgf/cm<sup>2</sup> entre árvores. Altos coeficientes de variação são registrados entre tábuas, indicando mais uma vez a variabilidade das propriedades da madeira dentro da árvore.

Os resultados de módulo de elasticidade para a madeira de espécies de *Pinus* no Brasil, obtidos por vários pesquisadores, tais como KOCH (1972), MUÑIZ (1993), LARA PALMA (1994) e KLOCK (2000), também apresentam alta variabilidade.

TABELA 21 - VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE APARENTE E MÓDULO DE ELASTICIDADE DAS TÁBUAS SECAS AO AR

TORA	DENSIDADE APARENTE			MÓDULO DE ELASTICIDADE		
	Média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão	Coefficiente Variação (%)	Média (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desvio padrão	Coefficiente Variação (%)
1	0,591	0,054	9,2	14538	3395	23,4
2	0,550	0,040	7,2	13332	2797	21,0
3	0,572	0,051	9,0	13881	2940	21,2
4	0,584	0,025	4,3	15845	1636	10,3
5	0,573	0,090	15,7	13840	3219	23,3
6	0,576	0,046	8,1	12730	2685	21,1
7	0,537	0,032	6,0	13835	2178	15,7
8	0,618	0,054	8,7	16147	3360	20,8
9	0,510	0,052	10,2	12539	2129	17,0
10	0,580	0,048	8,2	14372	2335	16,2
11	0,525	0,056	10,6	13469	1849	13,7
12	0,600	0,095	15,8	13411	3567	26,6
13	0,617	0,065	10,5	16168	3271	20,2
14	0,574	0,033	5,7	14207	1219	8,6
15	0,572	0,054	9,5	14830	3039	20,5
16	0,579	0,050	8,6	14312	2634	18,4
17	0,546	0,036	6,6	13367	2271	17,0
18	0,596	0,056	9,4	14483	2559	17,7
19	0,520	0,029	5,5	11372	1671	14,7
20	0,638	0,117	18,3	16274	5369	33,0
21	0,620	0,051	8,2	14939	3602	24,1
22	0,553	0,045	8,1	14255	2710	19,0
23	0,585	0,051	8,8	15328	2484	16,2
24	0,539	0,037	6,8	12751	2099	16,5
25	0,589	0,048	8,1	14950	2050	13,7
Média Geral	0,574	0,053	9,1	14207	2683	18,8
s	0,0328	0,0208	3,26	1219,2	848,0	5,15
CV (%)	5,7	39,6	35,9	8,6	31,6	27,4

s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

#### 4.8 INTER-RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS

Para estudo das inter-relações entre as variáveis avaliadas foi gerada a matriz de correlação. Posteriormente, foram estudadas as componentes principais, isto é, os grupos de variáveis que explicam a maior parte da variação total. Foram realizadas também análises de fatores, determinando as variáveis mais importantes dentro de cada grupo e suas respectivas relações com as demais propriedades.

##### 4.8.1 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Árvores

Para relacionar as propriedades da madeira, é necessário que todas as variáveis sejam correspondentes a uma mesma região do troco. No caso das

árvores em pé, o tempo e a velocidade de propagação das ondas, determinados na região entre a base e 1,30 m do tronco, foram relacionados às variáveis obtidas na primeira tora.

Na Tabela 22 são apresentadas as relações existentes entre as propriedades estudadas, considerando que duas variáveis possuem associação entre si quando o coeficiente de correlação for significativo a 5 % de probabilidade. As correlações significativas encontram-se destacadas em negrito.

Os altos coeficientes de correlação não destacados correspondem a relações originadas de fórmulas, como, por exemplo, o de correlação entre o tempo e velocidade de propagação das ondas, onde o cálculo da velocidade é realizado em função do tempo, sendo desconsiderados na discussão dos resultados.

Observou-se a existência de correlação significativa entre a densidade básica da madeira e o percentual de lenhos, sendo positiva com o lenho tardio e negativa com o inicial. Há também relação positiva da densidade com a espessura da parede e negativa com o diâmetro do lume e largura das fibras. O diâmetro do lume e a largura das fibras, além de estarem diretamente correlacionados entre si, apresentaram correlação positiva com o percentual de lenho inicial e negativa com o percentual de lenho tardio. Alta correlação positiva foi observada entre a largura e o diâmetro do lume e negativa entre a primeira propriedade com o índice de Runkel e o índice de enfiletramento. A densidade básica e o percentual de lenho inicial e tardio apresentaram correlação com o índice de Runkel, fração parede e coeficiente de flexibilidade. Estas correlações mencionadas eram esperadas, conforme visto na revisão de literatura.

TABELA 22 – CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS ÁRVORES EM PÉ

PROPRIEDADES	DAP	DB	LI	LT	LF	DL	C	EP	DN	NN	AN	TP	VEL	IR	FP	CF	IE
Diâmetro à Altura do Peito (DAP)	1,00																
Densidade Básica (DB)	-0,05	1,00															
Percentual de lenho Inicial (LI)	0,10	<b>-0,56</b>	1,00														
Percentual de lenho Tardio (LT)	-0,10	<b>0,56</b>	-1,00	1,00													
Largura da Fibra (LF)	0,23	<b>-0,49</b>	<b>0,40</b>	<b>-0,40</b>	1,00												
Diâmetro do Lume (DL)	0,16	<b>-0,73</b>	<b>0,58</b>	<b>-0,58</b>	<b>0,88</b>	1,00											
Comprimento de Fibras (C)	0,24	-0,12	0,15	-0,15	0,10	0,13	1,00										
Espessura da Parede das Fibras (EP)	0,16	<b>0,51</b>	-0,38	0,38	0,22	-0,26	-0,02	1,00									
Diâmetro de Nós (DN)	-0,28	0,18	0,24	-0,24	-0,07	-0,03	0,21	-0,06	1,00								
Número de Nós (NN)	-0,17	0,26	<b>0,42</b>	<b>-0,42</b>	-0,15	-0,24	-0,21	0,19	-0,34	1,00							
Área de Nós (AN)	-0,29	0,10	0,12	-0,12	-0,02	0,00	0,14	-0,03	0,41	0,37	1,00						
Tempo Propagação Ondas de Tensão (TP)	0,13	<b>-0,73</b>	<b>0,55</b>	<b>-0,55</b>	0,38	<b>0,58</b>	0,23	<b>-0,42</b>	-0,33	-0,38	-0,38	1,00					
Velocidade de Propagação de Ondas de Tensão (VEL)	0,00	<b>0,70</b>	<b>-0,54</b>	<b>0,54</b>	-0,38	<b>-0,59</b>	-0,19	<b>0,43</b>	0,25	0,38	0,33	-0,99	1,00				
Índice de Runkel (IR)	0,01	<b>0,78</b>	<b>-0,59</b>	<b>0,59</b>	<b>-0,45</b>	-0,81	-0,09	0,77	-0,05	0,28	-0,05	<b>-0,62</b>	<b>0,64</b>	1,00			
Fração Parede (FP)	0,01	<b>0,78</b>	<b>-0,63</b>	<b>0,63</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,81</b>	-0,12	0,78	-0,09	0,31	-0,03	<b>-0,63</b>	<b>0,65</b>	1,00	1,00		
Coeficiente de Flexibilidade (CF)	0,01	<b>-0,76</b>	<b>0,62</b>	<b>-0,62</b>	0,45	0,81	0,09	<b>-0,77</b>	0,11	-0,28	0,07	<b>0,59</b>	<b>-0,61</b>	-0,99	-1,00	1,00	
Índice de Enfeltramento (IE)	-0,05	0,40	-0,27	0,27	-0,80	<b>-0,70</b>	0,51	-0,19	0,16	0,02	0,08	-0,20	0,21	0,34	0,31	-0,32	1,00

Coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$

A espessura da parede das fibras apresentou correlação positiva com o tempo e negativa com a velocidade de propagação das ondas de tensão. Este resultado era esperado, pois quanto maior a espessura da parede, maior é a área sem barreira disponível para propagação das ondas, as quais se dissipam rapidamente em um determinado percurso, com um tempo menor. Como a espessura da parede interfere positivamente na densidade básica, esta também apresenta alta correlação com as propriedades acústicas, tempo e velocidade de propagação de ondas de tensão. Madeiras com maior densidade, portanto, maior massa por unidade de volume, possui menor quantidade de espaços vazios, possibilitando uma maior velocidade de propagação de ondas de tensão em um tempo menor em um dado percurso. Sendo assim, o diâmetro de lume das fibras, torna-se uma barreira para a propagação das ondas de tensão, aumentando o tempo e reduzindo a velocidade para um certo percurso.

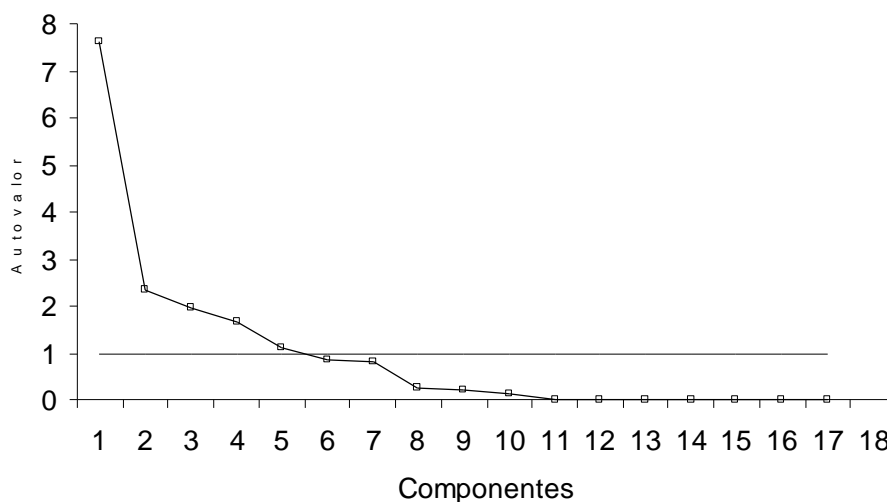
Estas correlações observadas estão de acordo com os resultados obtidos por GERHARDS (1978), KONARSKI; WAZNY (1977) e SCHAD et al. (1996). Também, resultantes da espessura da parede, as relações índice de Runkel e fração parede apresentaram correlações positivas com a velocidade e negativa com o tempo de propagação de ondas de tensão.

O coeficiente de flexibilidade apresentou correlação negativa com a velocidade e positiva com o tempo de propagação das ondas de tensão, pois as fibras mais flexíveis são as menos espessas, com maior diâmetro do lume e com maiores espaços vazios, que reduzem a velocidade e aumentam o tempo para propagação das ondas em um determinado percurso.

Na tabela 22, verificou-se correlação positiva significativa entre o lenho inicial e o número ou frequência de nós. Pode-se dizer que esta relação é indireta e ocorre porque ambas as propriedades diminuem do centro para a região externa da tora.

Na análise das componentes principais (Gráfico 9), foram obtidos os grupos de variáveis que explicam 100 % da variação total.

GRÁFICO 9 - COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AVALIADAS PARA AS ÁRVORES EM PÉ



As componentes principais obtidas apresentaram autovalores que variaram de zero a 7,6. Verifica-se que as cinco primeiras componentes apresentaram autovalores superiores a 1 e, ao mesmo tempo, explicam 86,4 % da variação total (Tabela 23). Isso significa que as 17 variáveis ou propriedades da madeira estudadas para as árvores em pé podem ser substituídas por estas cinco componentes, com perda de, apenas, 13,6 % de informação. Conforme critérios de seleção das componentes, citados na revisão de literatura, esta pesquisa adotou a retenção das componentes com autovalores superiores a um e que explicam mais de 70 % da variação total. Dessa forma, estas cinco componentes foram retidas para análise de fatores.

TABELA 23 - AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS ÁRVORES EM PÉ

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	7,62836	44,87	44,87
2	2,32276	13,66	58,53
3	1,95792	11,52	70,05
4	1,66199	9,78	79,83
5	1,12362	6,61	86,44

A análise dos fatores rotacionados, obtidos através do método Varimax, permite observar a importância das variáveis dentro de cada fator (Tabela 24).

Foram consideradas importantes as variáveis que apresentaram coeficiente de correlação igual ou acima de 0,7, destacadas em negrito.

TABELA 24 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS ÁRVORES EM PÉ

PROPRIEDADE	COMUNALIDADES	FATOR				
		1	2	3	4	5
Índice de Runkel	0,99686	<b>0,91921</b>	-0,29026	-0,21597	0,1146	-0,03522
Fração Parede	0,99640	<b>0,91134</b>	-0,26895	-0,25505	0,12288	-0,05704
Espessura Parede das fibras	0,99448	<b>0,91651</b>	0,37071	-0,13523	0,08435	0,05799
Densidade Básica	0,97314	0,61722	-0,33307	-0,24914	0,32849	-0,06787
Coeficiente de Flexibilidade	0,99799	<b>-0,91884</b>	0,27764	0,25869	-0,06963	0,03874
Largura das Fibras	0,99751	-0,12760	<b>0,95900</b>	0,16406	-0,09910	0,11331
Diâmetro do Lume	0,99543	-0,56021	<b>0,76797</b>	0,23353	-0,14451	0,09124
Índice de Enfeltramento	0,99558	0,08008	<b>-0,85243</b>	-0,11003	0,05633	0,48997
Percentual de lenho Inicial	0,98978	-0,35212	0,18937	<b>0,89361</b>	-0,05707	0,05369
Percentual de lenho Tardio	0,98975	0,35211	-0,18944	<b>-0,89344</b>	0,06187	-0,05160
Velocidade de Prop. de Ondas	0,96775	0,43590	-0,20145	-0,33738	<b>0,74651</b>	-0,17029
Área Total de Nós /m <sup>2</sup>	0,91005	-0,07738	0,01933	0,25068	<b>0,70073</b>	0,22878
Diâmetro de Nós	0,94128	-0,07520	-0,03670	0,23595	0,67470	0,20791
Tempo de Prop.de Ondas	0,99915	-0,41926	0,17844	0,34600	<b>-0,77198</b>	0,19223
Comprimento de fibras	0,98400	-0,04644	-0,04886	0,08314	-0,01441	<b>0,97574</b>
Número de Nós / m <sup>2</sup>	0,94586	0,14679	-0,03447	-0,23930	0,12923	-0,10697
DAP	0,97652	0,05411	0,10531	0,0645	-0,08943	0,11567

Cabe lembrar que comunalidade é a parcela da variância de uma determinada variável  $X_i$ , dada por uma equação, explicada pelos fatores comuns. Quanto mais próxima a 1 (100 %) melhor é o ajuste do modelo. Todas as variáveis apresentaram alta comunalidade, sendo mantidas na análise.

Observou-se que o fator 1 explica 44,3 % da variação total, estando associado às variáveis espessura da parede das fibras, índice de Runkel, fração parede e coeficiente de flexibilidade. Cabe lembrar que o índice de Runkel é dado pela relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lume da fibra, a fração parede é a divisão entre a espessura da parede e a largura da fibra e o Coeficiente de Flexibilidade é quociente entre a o diâmetro do lume e a largura da fibra. Dessa forma, a espessura da parede é a variável que exerce maior influência ou domínio sobre este primeiro fator. As relações entre essas variáveis foram mencionadas na revisão de literatura e tanto a espessura da parede, quanto o índice de Runkel e a fração parede, apresentam relação direta com a rigidez da fibra, sendo inversamente proporcionais ao coeficiente de flexibilidade. Sendo assim, pode-se denominar este fator de Rigidez das Fibras, estando diretamente ligado à qualidade dos produtos,

principalmente na produção de celulose/pasta e papel. É importante salientar que em análises multivariadas, se uma variável apresenta altas relações com outras, como é o caso das relações entre espessura da parede e diâmetro do lume, densidade básica e percentuais de lenhos, automaticamente, todas estas propriedades são importantes, entretanto apenas uma é indicada dentro de cada fator.

O fator 2, responsável por 13,7 % da variação total, também foi dominado pelas características anatômicas largura da fibra, diâmetro do lume e índice de enfiamento. A largura das fibras apresenta o maior coeficiente de correlação (Tabela 24) comparado às outras duas variáveis, sendo considerada mais importante dentro deste grupo. As três propriedades estão relacionadas à flexibilidade da fibra, conforme mencionado na revisão de literatura. Fibras largas e com maiores diâmetros de lume são, em geral, bastante flexíveis. O índice de enfiamento é o quociente entre o comprimento e a largura da fibra, portanto, possui uma relação negativa com a largura da fibra. Tais constatações permitem chamar este fator de Flexibilidade das Fibras, característica importante para produção de celulose e papel.

O terceiro fator, que compõe 11,5 % da variação total, é dominado pelo lenho inicial e tardio, sendo chamado de Percentual de Lenhos. Os coeficientes de correlação de ambas as variáveis são semelhantes, porém inversos, pois são propriedades inversamente proporcionais na madeira, que juntas somam 100 %.

No quarto fator, responsável por 9,8 % da variação total, verificou-se a dominância da velocidade, tempo de propagação das ondas de tensão e da área de nós, sendo denominado de Propriedades Acústicas e Área de Nós. Cabe lembrar, que a velocidade é o quociente entre a distância e o tempo de percurso da onda, sendo propriedades inversamente proporcionais. Conforme mencionado na revisão de literatura, a relação do tempo e velocidade de propagação das ondas com a área de nós pode ser explicada da seguinte forma: os nós apresentam áreas descontínuas e a madeira em volta dos mesmos apresenta alto teor de extrativo, é rígida e com alto ângulo de grã (grã espiralada ou reversa). Estas características, especialmente as áreas descontínuas e o ângulo de grã tornam-se barreiras para a propagação de ondas de tensão, que acabam por contornar estas regiões, aumentando o tempo do percurso e reduzindo a velocidade das mesmas (JUNG,



1979; GERHARDS, 1982a). Tanto o número, quanto a área de nós, influenciam negativamente na propagação das ondas. Os coeficientes mostraram-se semelhantes para as três propriedades (Tabela 24), apresentando o mesmo grau de importância. Este grupo de fatores relaciona-se ao rendimento e qualidade de produtos, tais como, laminados, faqueados, componentes de portas e janelas, etc.

No que diz respeito às influências das demais variáveis do grupo sobre o tempo e velocidade de propagação das ondas, a área de nós apresentou maior influência, com coeficiente de correlação de 0,70, seguida do diâmetro dos nós e densidade básica, com coeficientes de 0,67 e 0,33, respectivamente. Como a densidade básica apresenta fortes relações com a espessura da parede, diâmetro de lume e percentuais de lenhos, pode-se dizer que estas propriedades também exerceram influências sobre o tempo e velocidade de propagação das ondas.

Finalmente, o fator 5 é dominado integralmente pela variável comprimento de fibras. Este fator, responsável por 6,6 % da variação total, devido ao domínio de uma única variável foi chamado pela própria variável, Comprimento de Fibras. Esta propriedade se relaciona diretamente à resistência à tração e em menor grau ao rasgo do papel (KARTH, 1967; CORSON, 1991).

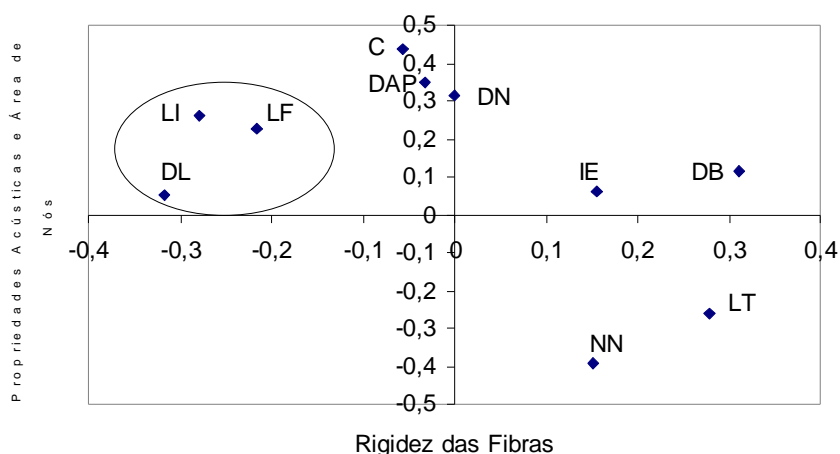
De uma maneira geral, as características anatômicas explicam 65,2 % da variação total, destacando-se a espessura da parede, o diâmetro do lume e o comprimento de fibras, dentro dos fatores Rigidez, Flexibilidade e Comprimento das fibras. O tempo, a velocidade de propagação das ondas de tensão e os nós, representados pela área total, explicam aproximadamente 10 % da variação total, dentro do fator Propriedades Acústicas e Área de nós, ficando bastante clara a relação existente entre eles. Além destes, o fator Percentual de Lenhos se constitui numa propriedade importante na avaliação das árvores.

Visando detectar outras relações entre frequência, diâmetro, área de nós, tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão, realizou-se a plotagem, em gráfico (Gráfico 9) das componentes 1 e 4, onde o eixo X é representado pelo Fator Rigidez, composto pela espessura da parede das fibras, índice de Runkel, Coeficiente de Flexibilidade e eixo Y é representado pelo Fator Propriedades Acústicas e Defeitos da madeira, composto pelo tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão e pela área total de nós.

No gráfico “biplot”, as características mais distantes do eixo zero, são as que mais contribuem para a variação total. Aquelas próximas do eixo zero contribuem pouco ou praticamente não contribuem para a variação total. As características quando próximas uma das outras, dentro de um mesmo quadrante, possuem relação entre si, como é o caso da largura da fibra, percentual de lenho inicial e diâmetro do lume destacados no primeiro quadrante negativo do Gráfico 10.

Além de se relacionarem entre si, a largura da fibra, percentual de lenho inicial e diâmetro do lume se correlacionam com as variáveis que compõem os eixos, a espessura da parede, índice de Runkel, Coeficiente de flexibilidade (eixo X) e, tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão e área total de nós (eixo Y). As correlações da largura, diâmetro do lume das fibras e percentual de lenho inicial com as variáveis que compõem o fator rigidez (espessura da parede, índice de Runkel e coeficiente de flexibilidade) foram abordadas na discussão da Tabela 22 e na revisão de literatura.

GRÁFICO 10 - RELAÇÃO ENTRE OS FATORES PROPRIEDADES ACÚSTICAS E ÁREAS DE NÓS E A RIGIDEZ DAS FIBRAS



LI: percentual de lenho inicial; LF: largura das fibras; DL: diâmetro do lume; C: comprimento das fibras; IE: índice de enfiamento; DN: diâmetro dos nós; DB: densidade básica; LT: percentual de lenho tardio; NN: número de nós.

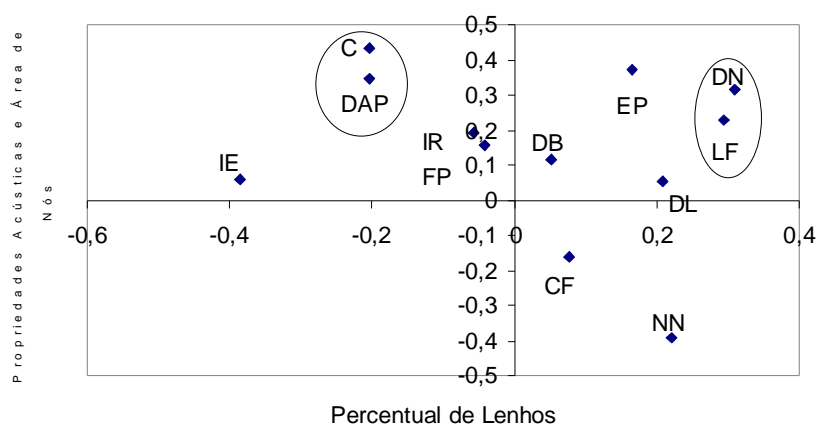
O diâmetro do lume apresentou correlação positiva com o tempo e negativa com a velocidade de propagação de ondas de tensão, relação está já detectada anteriormente na matriz de correlação (Tabela 22). As fibras com maior diâmetro de

lume são também as mais largas, apresentando maior quantidade de espaços vazios na madeira, tornando-se barreiras para a propagação de ondas de tensão. Estas fibras são características do lenho inicial e ocorrem em maior porcentagem na madeira juvenil, região interna do tronco que também possui maior quantidade e conseqüentemente maior área de nós.

O número ou freqüência de nós e o percentual de lenho tardio são as propriedades que estão mais distantes dos eixos e que mais contribuem para a variação total nesta relação. Apesar de estarem isoladas no gráfico, estão relacionados às propriedades que compõem os eixos, conforme mencionado anteriormente.

No Gráfico 11, foi realizado agrupamento dos fatores Propriedades Acústicas e Área de Nós (Y) com o Percentual de lenhos (X), sendo observada a existência de outras relações.

GRÁFICO 11 - RELAÇÃO ENTRE OS FATORES PROPRIEDADES ACÚSTICAS E ÁREA DE NÓS E OS PERCENTUAIS DE LENHOS



LF: largura das fibras; DL: diâmetro do lume; C: comprimento das fibras; IE: índice de enfiamento; DN: diâmetro dos nós; FP: fração parede; DB: densidade básica; NN: número de nós; CF: coeficiente de flexibilidade; EP: espessura da parede; IR: Índice de Runkel.

Neste agrupamento, verifica-se que o comprimento de fibras ficou distante dos eixos e próximo ao DAP. Isso significa que ambas as propriedades estão relacionadas tanto entre si, quanto com as variáveis que compõem os eixos. O comprimento de fibras aumenta do centro do tronco em direção à casca e quanto maior o DAP, maior é a proporção de madeira com fibras mais longas. A relação

entre o comprimento de fibras e o percentual de lenho tardio também é positiva, pois ambos aumentam paralelamente no sentido medula-casca (COWN, 1975; BARRICHELO, 1979; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000), portanto, o lenho tardio apresenta maior comprimento de fibras.

Com respeito à relação existente entre o comprimento de fibras e as propriedades acústicas da madeira, salienta-se que as ondas emitidas na altura do DAP e recebidas na base da árvore, do lado oposto, fazem um percurso em diagonal, propagando-se rapidamente ao longo do comprimento, através da parede das fibras. Há uma pequena redução na velocidade das ondas ao passarem pela lamela média que liga uma fibra à outra. Portanto, quanto maior o comprimento das fibras, maior é a velocidade de propagação das ondas de tensão. Cabe lembrar que esta propriedade foi a quinta componente mais importante, explicando 6,6 % da variação total. O comprimento de fibras e a área total de nós se relacionam de forma indireta e inversa. O comprimento aumenta e o teor de nós reduz do centro da tora para a região externa, em direção à casca (COWN, 1992).

Observou-se também que o número ou frequência de nós por unidade de área apareceu, novamente, distante dos eixos, quase em diagonal no segundo quadrante negativo e isolado das demais variáveis, confirmando sua importante relação com o tempo e velocidade de propagação de ondas de tensão e com o percentual de lenhos. Somando-se a isso, verificou-se a presença do diâmetro dos nós próximo à largura das fibras, ambos distantes dos eixos no quadrante positivo, confirmando as relações entre estas propriedades. As relações entre os nós e o tempo e velocidade de propagação das ondas foram abordadas na discussão dos dados da Tabela 24 e na revisão de literatura.

A espessura da parede das fibras também se encontra isolada e distante dos eixos, confirmando sua relação com as propriedades acústicas e percentual de lenho tardio, discutidas anteriormente.

#### 4.8.2 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Toras 1

A Tabela 25 apresenta as correlações entre as propriedades avaliadas para as toras 1.

TABELA 25 - CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS 1

PROPRIEDADES	DAP	DB	LI	LT	LF	DL	C	EP	DN	NN	AN	TP	VEL	IR	FP	CF	IE
Diâmetro à Altura do Peito (DAP)	1,00																
Densidade Básica (DB)	-0,06	1,00															
Percentual de lenho Inicial (LI)	0,14	<b>-0,56</b>	1,00														
Percentual de lenho Tardio (LT)	-0,14	<b>0,56</b>	-1,00	1,00													
Largura da Fibra (LF)	0,19	<b>-0,49</b>	0,40	<b>-0,40</b>	1,00												
Diâmetro do Lume (DL)	0,12	<b>-0,73</b>	<b>0,58</b>	<b>-0,58</b>	<b>0,88</b>	1,00											
Comprimento de Fibras (C)	0,29	-0,12	0,16	-0,16	0,10	0,12	1,00										
Espessura da Parede das Fibras (EP)	0,15	<b>0,51</b>	-0,38	0,38	0,22	-0,26	-0,02	1,00									
Diâmetro de Nós (DN)	-0,27	0,18	0,24	-0,24	-0,07	-0,03	0,21	-0,06	1,00								
Número de Nós (NN)	-0,11	0,26	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>	-0,15	-0,24	-0,21	0,19	-0,34	1,00							
Área de Nós (AN)	-0,26	0,10	0,13	-0,12	-0,02	0,00	0,14	-0,03	0,41	0,37	1,00						
Tempo Propagação Ondas de Tensão (T)	0,18	<b>-0,61</b>	<b>0,41</b>	<b>-0,41</b>	0,11	0,33	0,11	<b>-0,45</b>	-0,32	-0,11	-0,30	1,00					
Velocidade de Propagação de Ondas de Tensão (VEL)	-0,17	<b>0,59</b>	<b>-0,40</b>	<b>0,40</b>	-0,10	-0,32	-0,10	<b>0,45</b>	0,28	0,10	0,27	-1,00	1,00				
Índice de Runkel (IR)	0,04	<b>0,78</b>	<b>-0,59</b>	<b>0,59</b>	<b>-0,45</b>	-0,81	-0,09	0,77	-0,05	0,28	-0,05	<b>-0,46</b>	<b>0,46</b>	1,00			
Fração Parede (FP)	0,03	<b>0,78</b>	<b>-0,63</b>	<b>0,63</b>	-0,44	<b>-0,80</b>	-0,12	0,77	-0,09	0,31	-0,03	<b>-0,49</b>	<b>0,48</b>	1,00	1,00		
Coeficiente de Flexibilidade (CF)	-0,03	<b>-0,76</b>	<b>0,62</b>	<b>-0,62</b>	0,44	0,80	0,09	<b>-0,77</b>	0,11	-0,28	0,07	<b>0,46</b>	<b>-0,46</b>	-0,99	-1,0	1,00	
Índice de Enfeltramento (IE)	0,03	0,39	-0,26	0,27	-0,80	<b>-0,69</b>	0,51	-0,19	0,16	0,02	0,08	-0,01	0,01	0,34	0,31	-0,32	1,00

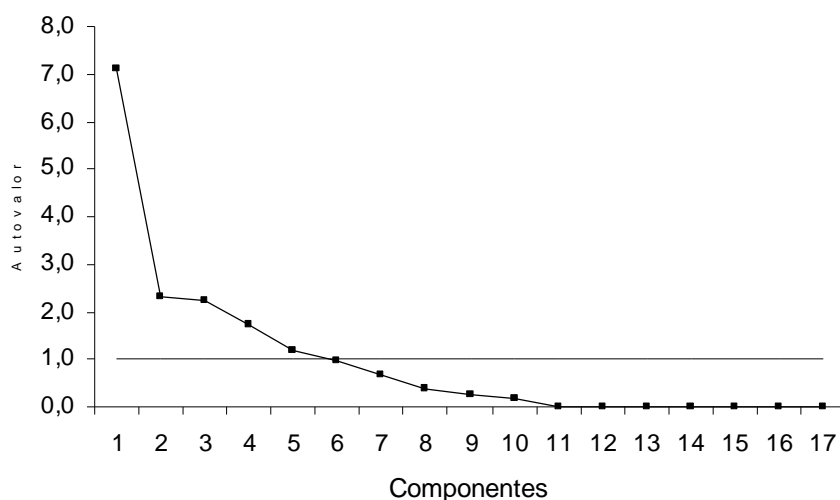
Coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$

Como foram utilizados os mesmos valores de densidade básica, dimensões de fibras e suas relações e percentuais de lenhos para as primeiras toras e para as árvores, foram observadas as mesmas relações e mesmos coeficientes de correlação para estas características, discutidas na Tabela 22.

Para as toras 1 também foram verificadas correlações das propriedades acústicas da madeira com a espessura da parede e os percentuais de lenho inicial e tardio. Estas correlações também foram discutidas no item 4.8.1. Diferentemente das árvores, não foram detectadas correlações significativas entre diâmetro do lume das fibras e as propriedades acústicas da madeira.

O Gráfico 12 apresenta as componentes principais obtidas através da matriz de correlação das propriedades avaliadas para as toras 1.

GRÁFICO 12 - COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS PROPRIEDADES DAS TORAS 1



As componentes obtidas apresentaram autovalores variando de 7,1 a zero, sendo que para as cinco primeiras componentes os autovalores foram superiores a 1 e ao mesmo tempo acumularam 85,7 % da variabilidade total (Tabela 26), sendo retidas na análise. Isso significa que as 17 variáveis ou propriedades da madeira consideradas para as toras 1 podem ser substituídas por estas cinco componentes, perdendo-se apenas 14,3 % da variação total.

TABELA 26 - AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS TORAS 1

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	7,12351	41,90	41,90
2	2,33027	13,71	55,61
3	2,22860	13,11	68,72
4	1,73000	10,04	78,76
5	1,18652	6,98	85,74

Este resultado é bastante semelhante àquele obtido para as árvores em pé.

A Tabela 27 apresenta os fatores rotacionados, obtidos pelo método Varimax, e as variáveis que compõem cada fator com seu respectivo grau de importância.

TABELA 27 - MATRIZ DOS FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS TORAS 1

PROPRIEDADE	COMUNALIDADES	FATOR				
		1	2	3	4	5
Índice de Runkel	0,99638	<b>0,91409</b>	-0,29724	0,17207	0,19944	0,02721
Fração Parede	0,99394	<b>0,90146</b>	-0,27776	0,19952	0,23414	0,05422
Espessura da Parede	0,99540	<b>0,89387</b>	0,36486	0,19339	0,12811	0,02222
Densidade Básica	0,85315	0,61340	-0,38769	0,36680	0,29098	0,11204
Coefficiente de Flexibilidade	0,99583	<b>-0,90557</b>	0,28314	-0,18338	-0,23008	-0,00988
Largura das Fibras	0,99440	-0,13626	<b>0,96412</b>	-0,01414	-0,15270	-0,02219
Diâmetro do Lume	0,99100	-0,56283	<b>0,77569</b>	-0,10907	-0,21698	-0,03759
Índice de Enfeltramento	0,99393	0,09117	<b>-0,85526</b>	-0,04302	0,12066	0,02549
Velocidade Prop. das Ondas	0,99595	0,29247	-0,01008	<b>0,93180</b>	0,14799	0,06668
Tempo de Prop. das Ondas	0,99701	-0,29293	0,01652	<b>-0,91848</b>	-0,16326	-0,09684
Percentual de lenho Tardio	0,99121	0,34600	-0,20523	0,18517	<b>0,87710</b>	0,04468
Percentual de lenho Inicial	0,99079	-0,34544	0,20506	-0,18574	<b>-0,87691</b>	-0,04223
Número de Nós/m <sup>2</sup>	0,92686	0,18510	-0,04724	-0,04659	0,32971	<b>0,81274</b>
Área de Nós/m <sup>2</sup>	0,91724	-0,06925	-0,02268	0,25327	-0,20013	<b>0,81100</b>
Comprimento de fibras	0,99238	-0,05079	-0,04318	-0,05198	-0,07725	-0,00690
Diâmetro de Nós	0,97006	-0,05404	-0,17810	0,22703	-0,18852	0,00504
Diâmetro das Toras	0,98675	0,08288	0,07793	-0,09427	-0,09893	-0,11307

Todas as variáveis estudadas apresentaram comunalidade superior a 0,8. Os fatores 1 e 2 estão associados às mesmas propriedades que os fatores 1e 2 obtidos para as árvore em pé, e o percentual de participação de cada um sobre a variação total também é semelhante. O fator 1, que explica 41,9% da variação total, está associado com as variáveis espessura da parede das fibras, índice de Runkel, fração parede e coeficiente de flexibilidade, tendo sido denominado de Rigidez das

Fibras. As relações entre estas propriedades foram abordadas no item 4.8.1 e na revisão de literatura.

O fator 2, responsável por 13,7 % da variação total, igualmente para as árvores, foi dominado pelas propriedades anatômicas largura da fibra, diâmetro do lume e o índice de enfiamento e foi chamado de Flexibilidade das Fibras.

Diferença foi observada para o terceiro fator, responsável por 13,7 % da variação total, sendo dominado pelo tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão. Estas propriedades são inversamente proporcionais, apresentando coeficientes de correlação semelhantes. As duas características são classificadas como propriedades acústicas da madeira e estão relacionadas à qualidade de produtos de alto valor agregado, tais como laminados, faqueados, componentes de portas e janelas, etc. Dessa forma, este fator foi denominado de Propriedades Acústicas. Analisando os coeficientes de correlação das variáveis presentes neste fator (Tabela 27), observou-se que a densidade básica é a variável que exerce maior influência sobre o tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão, apresentando coeficiente de correlação de 0,37, seguida da área e diâmetro dos nós, com coeficientes de 0,25 e 0,27, respectivamente.

O quarto fator é responsável por 10,0 % da variação total, sendo dominado pelos percentuais de lenhos inicial e tardio, e foi chamado de Percentuais de Lenhos.

Finalmente, o fator 5 foi responsável por 7,0 % da variação total, tendo sido dominado pelas variáveis número e área de nós. Ambas possuem relação positiva, uma vez que a área total é determinada em função do número e diâmetro dos nós. Este fator foi denominado de Nós. Os nós são defeitos da madeira que influenciam negativamente na produção e qualidade dos produtos de alto valor agregado. Na fabricação de determinados produtos, estes são eliminados da madeira, reduzindo-se o rendimento do processo e em outros produtos, são simplesmente cobertos por outros materiais, interferindo, de certa forma, na qualidade.

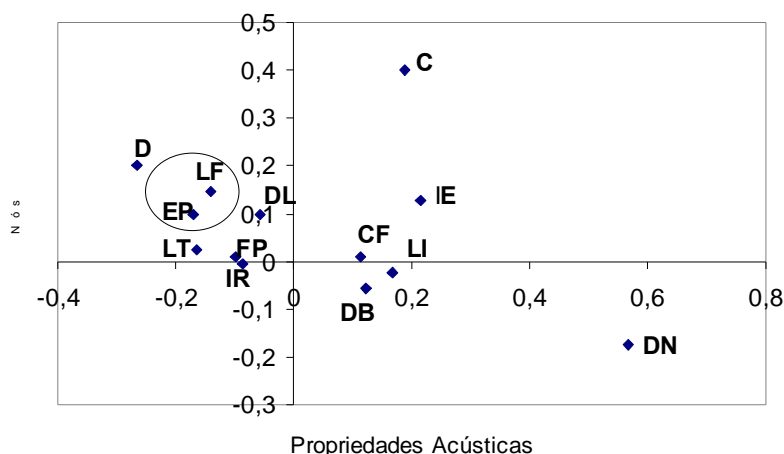
De uma maneira geral, as características anatômicas explicaram 55,6 % da variação total no grupo de variáveis avaliadas para as toras 1. Já o tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão explicaram 13,1 %, mostrando-se aproximadamente 3,0 % mais importante nas primeiras toras quando comparados às árvores em pé. Os nós, somando-se a frequência e a área total, explicaram 7,0 % da



variação total. Juntos, as propriedades acústicas e os defeitos da madeira, foram responsáveis por 20% da variação total. Isso significa que estas relações são mais facilmente observadas nas primeiras toras do que nas árvores em pé.

Com objetivo de verificar outras relações entre as propriedades estudadas, foram relacionados, em gráfico, os fatores 3 e 5 que correspondem às propriedades acústicas e os nós da madeira, respectivamente. Estas relações podem ser observadas no Gráfico 13.

GRÁFICO 13 - RELAÇÕES ENTRE OS FATORES NÓS E PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA



LI: percentual de lenho inicial; LF: largura das fibras; DL: diâmetro do lume; C: comprimento das fibras; IE: índice de enfiamento; DN: diâmetro dos nós; DB: densidade básica; LT: percentual de lenho tardio; D: diâmetro das toras; EP: espessura da parede das fibras; IR: índice de Runkel; CF: coeficiente de flexibilidade.

De uma maneira geral, foram observados agrupamentos de propriedades próximos dos eixos, considerados pouco importantes para a variabilidade total. Um pouco mais distante dos eixos, no primeiro quadrante positivo e negativo, destacou-se o agrupamento entre a espessura da parede e a largura das fibras, confirmando a relação inversa entre ambas. Além de relacionarem entre si, estas duas propriedades exercem influência sobre os fatores que compõem os eixos do gráfico, as propriedades acústicas da madeira (tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão) e os nós (frequência e área). Todas estas relações foram abordadas no item 4.8.1 e na revisão de literatura.

De forma isolada e distante dos eixos estão o comprimento de fibras e o diâmetro dos nós, em quadrantes diferentes. Isso significa que ambos, separadamente, contribuem acentuadamente para a variação total e, portanto apresentam relações importantes dentro do conjunto de variáveis analisado. Estas duas variáveis interferem tanto nas propriedades acústicas (tempo e velocidade de propagação de ondas de tensão), que compõem o eixo X, quanto na frequência e área de nós, que compõem o eixo Y.

#### 4.8.3 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Toras 2

A Tabela 28 apresenta as correlações entre propriedades avaliadas para as toras 2.

As correlações significativas observadas entre as propriedades da madeira avaliadas para as toras 2 foram semelhantes às obtidas para as árvores em pé e toras 1. Apenas a correlação negativa detectada entre o diâmetro do lume e a espessura da parede não foi observada nos outros grupos analisados. As fibras mais largas e com os maiores diâmetros de lume apresentam paredes mais delgadas, conforme abordado na revisão de literatura.

Diferentemente das árvores em pé, não foram verificadas correlações significativas dos percentuais de lenhos (inicial e tardio) com a largura das fibras, número de nós, tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão. Também não foram observadas correlações da espessura de parede das fibras com a densidade básica, número ou frequência de nós, tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão e ainda, entre velocidade de propagação das ondas e coeficiente de flexibilidade.

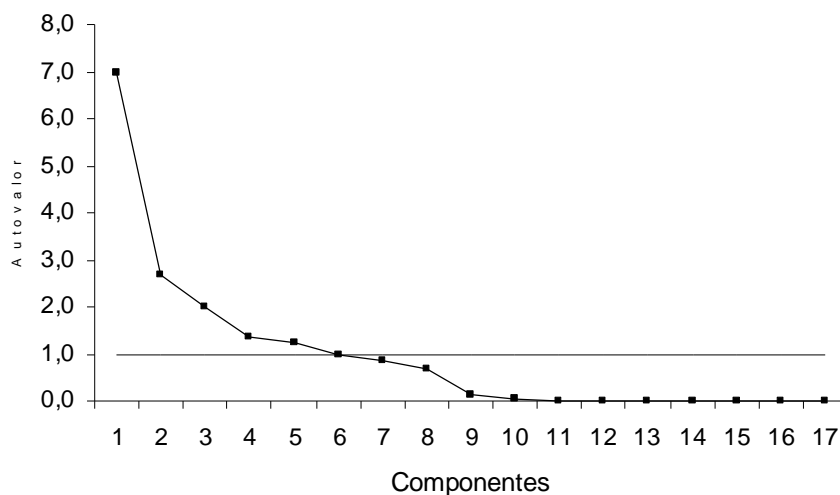
TABELA 28 - CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS 2

PROPRIEDADES	DAP	DB	LI	LT	LF	DL	C	EP	DN	NN	AN	TP	VEL	IR	FP	CF	IE
Diâmetro à Altura do Peito (DAP)	1,00																
Densidade Básica (DB)	-0,01	1,00															
Percentual de lenho Inicial (LI)	0,05	<b>-0,69</b>	1,00														
Percentual de lenho Tardio (LT)	-0,05	<b>0,69</b>	-1,00	1,00													
Largura da Fibra (LF)	0,20	<b>-0,64</b>	0,39	-0,39	1,00												
Diâmetro do Lume (DL)	0,22	<b>-0,72</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,90</b>	1,00											
Comprimento de Fibras (C)	0,12	-0,19	0,10	-0,10	0,19	0,31	1,00										
Espessura da Parede das Fibras (EP)	-0,11	0,39	-0,28	0,29	-0,07	<b>-0,49</b>	-0,32	1,00									
Diâmetro de Nós (DN)	-0,01	-0,09	0,07	-0,08	-0,09	-0,12	-0,03	0,10	1,00								
Número de Nós (NN)	-0,30	-0,06	0,17	-0,17	0,12	0,07	-0,01	0,09	-0,22	1,00							
Área de Nós (AN)	-0,20	-0,13	0,30	-0,30	0,07	-0,03	-0,15	0,22	0,44	0,68	1,00						
Tempo Propagação Ondas de Tensão (TP)	0,01	<b>-0,64</b>	0,30	-0,31	0,39	<b>0,46</b>	0,36	-0,30	0,08	0,25	0,21	1,00					
Velocidade de Propagação de Ondas de Tensão (VEL)	0,05	<b>0,64</b>	-0,29	0,30	-0,38	<b>-0,45</b>	-0,36	0,29	-0,08	-0,26	-0,22	-0,98	1,00				
Índice de Runkel (IR)	-0,17	<b>0,65</b>	<b>-0,42</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,56</b>	-0,87	-0,35	0,85	0,13	0,03	0,16	<b>-0,42</b>	<b>0,41</b>	1,00			
Fração Parede (FP)	-0,17	<b>0,67</b>	<b>-0,44</b>	<b>0,44</b>	-0,56	<b>-0,86</b>	-0,35	0,85	0,12	0,01	0,15	<b>-0,44</b>	<b>0,43</b>	1,00	1,00		
Coeficiente de Flexibilidade (CF)	0,19	<b>-0,66</b>	<b>0,46</b>	<b>-0,46</b>	0,58	0,87	0,36	<b>-0,84</b>	-0,13	-0,04	-0,17	<b>0,40</b>	-0,39	-0,99	-1,00	1,00	
Índice de Enfeltramento (IE)	-0,05	0,36	-0,25	0,25	-0,63	<b>-0,46</b>	0,63	-0,19	0,01	-0,11	-0,20	-0,00	-0,01	0,17	0,16	-0,17	1,00

Coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$

O Gráfico 14 apresenta os grupos de variáveis ou componentes principais obtidos a partir da matriz de correlação,

GRÁFICO 14 - COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS TORAS 2



Os autovalores das componentes obtidas variaram de 6,9 a zero, sendo que as cinco primeiras componentes apresentaram autovalores superiores a 1 e, ao mesmo tempo, explicam 84,1 % da variação total (Tabela 29). Isso significa que as 17 variáveis ou propriedades da madeira consideradas para as segundas toras podem ser substituídas por estas cinco componentes, com perda apenas de 15,9 % de informação. Estas componentes foram retidas na análise para estudo dos fatores.

TABELA 29 - AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS TORAS 2

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	6,95879	40,93	40,93
2	2,67905	15,76	56,69
3	2,01997	11,88	68,57
4	1,38000	8,12	76,69
5	1,25407	7,38	84,07

Na Tabela 30 são apresentados os fatores rotacionados, obtidos pelo método Varimax, e as variáveis que os compõem, com os respectivos níveis de importância.

TABELA 30 - MATRIZ DOS FATORES ROTACIONADOS, OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS TORAS 2

PROPRIEDADES	COMUNALIDADES	FATOR				
		1	2	3	4	5
Espessura da Parede	0,99408	<b>0,94756</b>	0,10774	0,11441	0,22914	0,07505
Índice de Runkel	0,99673	<b>0,91544</b>	0,17567	0,17895	-0,29017	0,04850
Fração Parede	0,99692	<b>0,91215</b>	0,19277	0,19837	-0,27794	0,04296
Coeficiente de Flexibilidade	0,99657	<b>-0,90447</b>	-0,21962	-0,15162	0,30062	-0,06162
Percentual de lenho Tardio	0,99442	0,22501	<b>0,94710</b>	0,11114	-0,13162	-0,12158
Densidade Básica	0,89811	0,39769	0,55170	0,50699	-0,39207	0,06698
Percentual de lenho Inicial	0,99431	-0,22277	<b>-0,94795</b>	-0,10826	0,13330	0,11993
Velocidade Prop. das Ondas	0,99423	0,21030	0,11552	<b>0,94172</b>	-0,11648	-0,13464
Tempo de Prop. das Ondas	0,99439	-0,21746	-0,12302	<b>-0,94036</b>	0,12136	0,12969
Largura das Fibras	0,99693	-0,24695	-0,19245	-0,20604	<b>0,91718</b>	0,05372
Diâmetro do Lume	0,99677	-0,62911	-0,22254	-0,21755	0,69959	0,01955
Número de Nós/m <sup>2</sup>	0,97527	0,03947	-0,06123	-0,15187	0,04516	<b>0,92736</b>
Área de Nós/m <sup>2</sup>	0,97137	0,17117	-0,21941	-0,11355	0,03187	<b>0,81888</b>
Comprimento de fibras	0,99830	-0,22594	-0,03548	-0,19756	0,11037	-0,03312
Índice de Enfeltramento	0,99659	0,02365	0,14529	-0,02591	-0,63390	-0,08700
Diâmetro de Nós	0,98771	0,09180	-0,05684	-0,06268	-0,04852	-0,01231
Diâmetro das Toras	0,99686	0,09850	-0,01713	0,02898	0,09939	-0,01594

As variáveis estudadas apresentaram comunalidades superiores a 0,8, indicando que grande parte da variação de cada variável pode ser explicada por fatores comuns. Os fatores obtidos são semelhantes aos grupos obtidos para as toras 1, com apenas inversão na ordem dos mesmos e na porcentagem de participação sobre a variação total.

O fator 1, denominado de Rigidez das Fibras, explica 40,9 % da variação total. Já o fator 2, chamado de Percentual de Lenhos, é responsável por 15,8 % da variação total.

O terceiro fator, que explica 11,9 % da variação total, foi dominado pela velocidade e tempo de propagação de ondas de tensão, denominado de Propriedades Acústicas. Análise dos coeficientes de correlação das propriedades deste fator indicou que a densidade básica é a variável que exerce maior influência sobre o tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão, apresentando coeficiente de correlação de 0,51, seguida do diâmetro dos nós e largura das fibras, com coeficientes de -0,22 e -0,21, respectivamente.

O quarto fator, responsável por 8,1 % da variação total, foi dominado exclusivamente pela largura das fibras e foi chamado de Largura das Fibras. Esta variável é importante na produção de celulose/pasta e papel, estando relacionada às propriedades físicas e mecânicas destes produtos.

O fator 5, denominado Nós, foi dominado pelas variáveis número e área de nós, e explica 7,4 % da variação total.

Para as toras 2, as características anatômicas dominam totalmente os fatores 01 e 04, explicando 49 % da variação total. O tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão, juntamente com os nós (número e área total), explicaram 19,3 % da variação total, sendo este percentual bastante significativo. Se a variabilidade entre as árvores amostradas fosse maior, o percentual de participação das propriedades acústicas e nós da madeira poderia ser maior.

#### 4.8.4 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Tábuas

Na Tabela 31 são apresentadas as correlações entre as propriedades avaliadas para as tábuas.

As correlações observadas para as propriedades densidade básica, percentual de lenhos (inicial e tardio), dimensões de fibras e suas relações avaliadas nas tábuas são as mesmas verificadas para as toras 2, uma vez que as tábuas foram obtidas a partir destas toras, utilizando-se, portanto, os mesmos valores para essas propriedades.

Correlação significativa e positiva foi detectada entre a densidade básica e a densidade aparente das tábuas (Tabela 31). Cabe ressaltar que a densidade básica é a massa específica da madeira determinada a 0% de umidade e a densidade aparente é a massa específica obtida a certa umidade e, no caso das tábuas secas ao ar, a umidade era de aproximadamente 15%. Esta relação também foi detectada por KLOCK (2000). Em função desta alta relação com a densidade básica, a densidade aparente também apresentou correlação com a largura das fibras, diâmetro do lume, índice de Runkel, fração parede e coeficiente de flexibilidade. O módulo de elasticidade, determinado a partir da densidade aparente, mostrou-se correlacionado com as mesmas propriedades e também com a espessura da parede das fibras.

TABELA 31 – CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS TÁBUAS

	DB	LI	LT	LF	DL	C	EP	DN	NN	AN	TPU	VEL U	TPS	VEL S	AG1	AG2	AG3	AGM	AGT	IR	FP	CF	IE	DA	EL
DB	1,00																								
LI	<b>-0,69</b>	1,00																							
LT	<b>0,69</b>	-1,00	1,00																						
LF	<b>-0,64</b>	0,39	-0,39	1,00																					
DL	<b>-0,72</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,90</b>	1,00																				
C	-0,19	0,10	-0,10	0,19	0,31	1,00																			
EP	0,39	-0,28	0,29	-0,07	<b>-0,49</b>	-0,32	1,00																		
DN	-0,09	0,07	-0,08	-0,09	-0,12	-0,03	0,10	1,00																	
NN	-0,06	0,17	-0,17	0,12	0,07	-0,01	0,09	-0,22	1,00																
AN	-0,13	0,30	-0,30	0,07	-0,03	-0,15	0,22	0,44	0,68	1,00															
TPU	-0,11	0,06	-0,06	-0,19	-0,07	0,20	-0,24	0,10	0,05	0,07	1,00														
VELU	0,11	-0,06	0,06	0,19	0,07	-0,20	0,23	-0,08	-0,05	-0,07	-1,00	1,00													
TPS	-0,14	0,18	-0,18	-0,01	0,07	0,08	-0,21	0,09	0,14	0,22	<b>0,57</b>	<b>-0,55</b>	1,00												
VELS	0,16	-0,16	0,16	-0,08	-0,17	-0,14	0,26	-0,06	-0,20	-0,22	<b>-0,45</b>	<b>0,43</b>	-0,97	1,00											
AG1	-0,04	0,31	-0,31	0,05	0,11	0,13	-0,15	0,10	0,16	0,23	0,28	-0,26	0,36	-0,39	1,00										
AG2	-0,29	<b>0,45</b>	<b>-0,45</b>	0,05	0,07	0,22	-0,06	0,24	0,11	0,35	0,32	-0,30	<b>0,50</b>	<b>-0,50</b>	<b>0,73</b>	1,00									
AG3	-0,02	0,32	-0,32	0,05	0,05	0,10	-0,03	0,17	0,03	0,29	-0,01	0,03	0,32	-0,35	<b>0,60</b>	<b>0,72</b>	1,00								
AGM	-0,14	<b>0,41</b>	<b>-0,41</b>	0,05	0,08	0,17	-0,09	0,20	0,12	0,33	0,24	-0,21	<b>0,45</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,87</b>	<b>0,93</b>	<b>0,86</b>	1,00							
AGT	-0,13	0,34	-0,34	0,01	0,14	0,20	-0,29	0,15	0,00	0,15	0,27	-0,25	<b>0,41</b>	<b>-0,43</b>	<b>0,86</b>	<b>0,83</b>	<b>0,72</b>	<b>0,91</b>	1,00						
IR	<b>0,65</b>	<b>-0,42</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,56</b>	-0,87	-0,35	0,85	0,13	0,03	0,16	-0,09	0,09	-0,14	0,23	-0,14	-0,05	-0,01	-0,08	-0,23	1,00					
FP	<b>0,67</b>	<b>-0,44</b>	<b>0,44</b>	-0,56	<b>-0,86</b>	-0,35	0,85	0,12	0,01	0,15	-0,11	0,11	-0,15	0,22	-0,13	-0,06	-0,02	-0,08	-0,23	1,00	1,00				
CF	<b>-0,66</b>	<b>0,46</b>	<b>-0,46</b>	0,58	0,87	0,36	<b>-0,84</b>	-0,13	-0,04	-0,17	0,07	-0,07	0,11	-0,18	0,14	0,05	0,01	0,07	0,23	-0,99	-1,00	1,00			
IE	0,36	-0,25	0,25	-0,63	<b>-0,46</b>	0,63	-0,19	0,01	-0,11	-0,20	0,30	-0,30	0,08	-0,06	0,06	0,14	0,04	0,10	0,15	0,17	0,16	-0,17	1,00		
DA	<b>0,72</b>	<b>-0,42</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,63</b>	-0,31	0,36	0,10	-0,24	-0,18	0,02	0,00	-0,10	0,16	0,15	-0,10	-0,08	-0,01	0,08	<b>0,57</b>	<b>0,58</b>	<b>-0,56</b>	0,19	1,00	
EL	<b>0,60</b>	-0,39	0,39	<b>-0,41</b>	<b>-0,53</b>	-0,30	<b>0,43</b>	0,02	-0,27	-0,25	-0,25	0,25	-0,66	0,72	-0,11	-0,37	-0,27	-0,29	-0,20	<b>0,54</b>	<b>0,54</b>	<b>-0,51</b>	0,09	0,80	1,00

DB: densidade básica; LI: percentual de lenho inicial; LT: percentual de lenho tardio; LF: largura das fibras; DL: diâmetro do lume; C: comprimento; EP: espessura da parede; DN: diâmetro de nó; NN: número de nós/área; NA: área de nós; TPU: tempo das ondas – tábua úmida; VELU: velocidade das ondas – tábua úmida; TPS: tempo das ondas – tábua seca; VELS: velocidade das ondas – tábua seca; AG1: ângulo de grã ponto 1; AG2: ângulo de grã ponto 2; AG3: ângulo de grã ponto 3; AGM: ângulo de grã – média 3 pontos; AGT: ângulo de grã tábua inteira; IR: Índice de Runkel; FP: fração parede; IE: índice de enfeltramento; DA: densidade aparente; EL: módulo de elasticidade dinâmico. Coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor ≤ 5 %

A densidade básica e a densidade aparente não apresentaram correlação com o tempo e velocidade de propagação de ondas de tensão determinados nas tábuas.

Observou-se também correlação do tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão, determinados nas tábuas úmidas, com aqueles obtidos nas tábuas secas ao ar. Estas relações foram discutidas no item 4.4.4.

Quanto ao ângulo de grã, verificou-se correlação significativa entre todos os pontos estudados, porém, os maiores coeficientes foram observados entre a média do ângulo avaliado nos três pontos da tábua com o ponto 2 e entre este primeiro e o ângulo determinado para a tábua inteira. Isso indica que a determinação do ângulo de grã para a tábua inteira ou no ponto 02 representa bem a média dos 03 pontos avaliados.

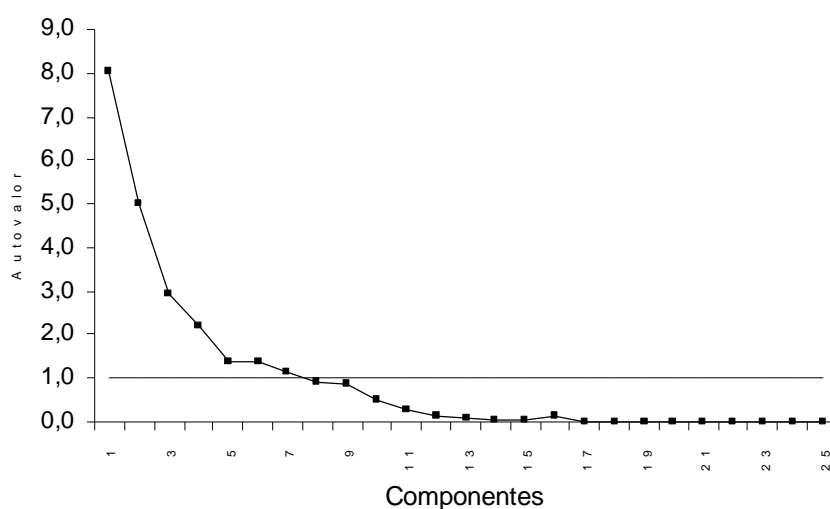
O tempo e a velocidade de propagação de ondas de tensão determinados nas tábuas secas ao ar apresentaram correlações com o ângulo de grã do ponto 2, com a média dos três pontos avaliados e com o ângulo determinado na tábua inteira. Este resultado era esperado, pois quanto maior o ângulo de grã, maior é a inclinação das fibras em relação ao eixo principal da tábua ou do tronco, reduzindo a velocidade e aumentando o tempo de propagação das ondas, conforme visto na revisão de literatura.

Foram verificadas correlações significativas do percentual de lenho inicial e tardio com os ângulos de grã obtidos no ponto 2 e a média dos três pontos. Estas relações são devidas à variação dessas propriedades no sentido radial, discutidos no item 4.6, onde tanto o ângulo de grã (COWN, 1992; SILVA, 2002), quanto o percentual de lenho inicial, tendem a reduzir no sentido medula-casca, enquanto que o percentual de lenho tardio aumenta neste sentido. Os percentuais de lenho inicial e tardio também apresentaram correlação com a densidade aparente e o módulo de elasticidade dinâmico das tábuas.

No Gráfico 15 são apresentados os fatores obtidos na análise de componentes principais deste grupo estudado.



GRÁFICO 15 - COMPONENTES PRINCIPAIS, EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AVALIADAS PARA AS TÁBUAS



As componentes obtidas apresentaram autovalores variando de 8,0 a zero. As sete primeiras componentes principais apresentaram autovalor superior a 1 e, ao mesmo tempo, acumulam 88,0 % da variação total (Tabela 32), sendo retidas na análise. Isso significa que as 25 variáveis ou propriedades da madeira consideradas para as tábuas podem ser substituídas por estas sete componentes, com perda de apenas 12,0 % de informação.

TABELA 32 - AUTOVALORES DAS SETE PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS, EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TÁBUAS

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	8,01704	32,07	32,07
2	5,02007	20,08	52,15
3	2,93229	11,70	63,85
4	2,19040	8,76	72,61
5	1,37382	5,50	78,11
6	1,36113	5,44	83,55
7	1,12560	4,50	88,05

Na Tabela 33 são apresentados os fatores rotacionados, obtidos pelo método Varimax e as variáveis que compõem cada fator, bem como seu grau de importância.

TABELA 33 - MATRIZ DOS FATORES ROTACIONADOS, OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS TÁBUAS

PROPRIEDADES	COMUNALIDADES	FATOR						
		1	2	3	4	5	6	7
IR	0,99576	<b>0,95578</b>	-0,03976	0,23167	-0,01222	0,12597	-0,02509	0,04347
FP	0,99508	<b>0,95445</b>	-0,03524	0,25099	-0,03176	0,11869	-0,03525	0,03391
EP	0,89854	<b>0,88653</b>	-0,09216	-0,03819	-0,23880	-0,01310	-0,20967	0,03244
DL	0,91982	<b>-0,76253</b>	0,01746	-0,44284	-0,21715	-0,25137	-0,13480	-0,02410
CF	0,99632	<b>-0,95350</b>	0,04474	-0,26898	-0,00102	-0,07562	0,03630	-0,05394
AGM	0,98413	0,01574	<b>0,95907</b>	-0,15636	0,07148	-0,14689	0,06423	0,06771
AGT	0,93736	-0,19359	<b>0,93333</b>	-0,01934	0,15240	-0,01014	0,04901	-0,03579
AG1	0,86858	-0,12121	<b>0,89431</b>	0,00005	0,17512	0,05307	-0,06145	0,11539
AG2	0,90909	0,08085	<b>0,83756</b>	-0,29477	0,17438	-0,22290	0,13711	0,04642
AG3	0,81196	0,07002	<b>0,83436</b>	-0,09105	-0,19827	-0,21154	0,08250	0,02010
LT	0,88663	0,24312	-0,32387	<b>0,83035</b>	-0,07723	-0,06279	0,04889	-0,13804
DB	0,88316	0,47630	0,02074	<b>0,77107</b>	-0,04087	0,21740	0,04311	0,01184
DA	0,84550	0,41595	0,18660	0,54447	0,17272	0,46183	-0,23324	-0,20846
LF	0,77609	-0,43048	-0,02635	-0,52228	-0,36394	-0,31090	-0,26020	-0,01884
LI	0,88645	-0,24107	0,32515	<b>-0,83093</b>	0,07601	0,06336	-0,04925	0,13561
TPU	0,92625	-0,04482	0,11241	-0,02921	<b>0,93225</b>	-0,17136	0,10782	0,00884
VELU	0,91655	0,04227	-0,08891	0,04616	<b>-0,93066</b>	0,15905	-0,11392	-0,00884
EL	0,95078	0,38469	-0,09801	0,31878	-0,09262	<b>0,78984</b>	-0,14132	-0,19745
VELS	0,91866	0,14435	-0,39283	-0,09209	-0,36500	<b>0,76703</b>	0,04608	-0,10229
TPS	0,91790	-0,04889	0,35993	0,04131	0,50934	<b>-0,71880</b>	-0,06905	0,05284
IE	0,97830	0,11890	0,10548	0,32691	0,28725	0,11745	<b>0,86380</b>	-0,05719
C	0,84069	-0,28178	0,09980	-0,12767	0,00963	-0,14310	<b>0,84025</b>	-0,06465
NN	0,96816	0,03218	0,03640	-0,08313	0,02143	-0,11905	-0,02011	<b>0,94348</b>
AN	0,96248	0,18482	0,20647	-0,20782	0,00055	-0,14628	-0,14017	<b>0,78371</b>
DN	0,96107	0,09880	0,13018	-0,04952	0,04460	-0,00927	-0,02520	-0,04240

IR: Índice de Runkel; FP: fração parede; EP: espessura da parede; DL: diâmetro do lume; CF: coeficiente de flexibilidade; AGM: ângulo de grã médio da tábuas; AGT: ângulo de grã da tábuas inteira; AG1: ângulo de grã ponto 1; AG2: ângulo de grã ponto 2; AG3: ângulo de grã ponto 3; LT: percentual de lenho tardio; DB: densidade básica; DA: densidade aparente; LF: largura das fibras; LI: percentual de lenho inicial; TPU: tempo das ondas determinado nas tábuas úmidas; VELU: velocidade das ondas determinada nas tábuas úmidas; EL: módulo de elasticidade dinâmico; VELS: velocidade determinada nas tábuas secas ao ar; TPS: tempo das ondas determinado nas tábuas secas ao ar; IE: índice de enfeltramento; C: comprimento das fibras; NN: número de nós; AN: Área de nós; DN: diâmetro dos nós.

Todas as variáveis estudadas apresentam alta comunalidade, sendo mantidas na análise. Como verificado para os grupos anteriores (árvore em pé, toras 1 e 2), o principal fator (fator 1), que explica 32,1 % da variação total das tábuas, está associado às características anatômicas espessura da parede das fibras, índice de Runkel, fração parede e coeficiente de flexibilidade, apresentando altos coeficientes de correlação. Além destas propriedades este fator está associado em menor grau com o diâmetro do lume. Como visto na análise de fatores rotacionados para as árvores, item 4.8.1, a espessura da parede, o índice de Runkel e a fração parede, apresentam relação direta com a rigidez da fibra e o coeficiente de flexibilidade é inversamente proporcional a estas variáveis, assim como o diâmetro

do lume das fibras. Como o inverso do coeficiente de flexibilidade pode ser traduzido como rigidez das fibras, este fator também foi denominado de Rigidez das Fibras.

O fator 2, responsável por 20,1 % da variação total, foi totalmente dominado pelos ângulos de grã, determinados nos diferentes pontos da tábua, com maior participação do ângulo avaliado na tábua inteira e ângulo médio entre os três pontos estudados, uma vez que apresentam os maiores coeficientes de correlação. Este fator foi denominado de Ângulo de Grã, estando associado à qualidade dos produtos laminados e serrados.

O terceiro fator, que compõe 11,7 % da variação total, foi dominado pelo lenho inicial e tardio, e pela densidade básica da madeira. Conforme revisão de literatura e correlações obtidas nos grupos anteriores, o percentual de lenho tardio apresenta relação direta com a densidade básica e é inversamente proporcional ao percentual de lenho inicial. Este fator foi chamado de Percentual de Lenhos e Densidade Básica. No setor de celulose/pasta e papel, estas variáveis estão associadas ao rendimento e qualidade dos produtos e, no setor de laminados e serrados estão associados à aparência e qualidade, podendo influenciar também na produção. Grandes variações no percentual de lenhos podem gerar problemas de ondulação das lâminas de madeira durante o processo de secagem.

No quarto fator, responsável por 8,7 % da variação total, verifica-se a dominância do tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão, determinados nas tábuas úmidas. Este fator foi denominado de Propriedades Acústicas - condição úmida. Analisando os coeficientes de correlação deste grupo de variáveis, observou-se que a largura das fibras é a propriedade que exerceu maior influência sobre o tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão, avaliados nas tábuas úmidas, apresentando coeficiente de correlação de -0,36, seguida do índice de enfiamento e espessura da parede das fibras, com coeficientes de correlação de -0,29 e -0,24, respectivamente.

O fator 5, responsável por 5,5 % da variação total, está associado às variáveis tempo e velocidade de propagação de ondas de tensão, determinados nas tábuas secas ao ar e, ao módulo de elasticidade. Como o módulo de elasticidade foi obtido através da densidade aparente da madeira e da velocidade de propagação das ondas de tensão, conforme apresentado na metodologia, pode-se dizer que esta última variável tem maior peso sobre o fator 5. Portanto, as três variáveis possuem

relação direta entre si, sendo o tempo de propagação de ondas inversamente proporcional às outras duas propriedades. Este fator foi denominado de Propriedades acústicas - condição seca ao ar e Módulo de Elasticidade. Na condição seca ao ar, verificou-se que a densidade aparente das tábuas é a propriedade que exerce maior influência sobre o tempo e velocidade de propagação das ondas, com coeficiente de correlação de 0,46, seguida do diâmetro do lume e ângulo de grã determinado no ponto 2, com coeficientes de correlação de  $-0,31$  e  $-0,25$ , respectivamente. A influência do módulo de elasticidade foi desconsiderada, uma vez que é resultante da fórmula de determinação do mesmo.

De acordo com os fatores rotacionados, as propriedades acústicas da madeira, determinadas nas tábuas úmidas, explicaram um percentual maior da variação total quando comparada com aquelas determinadas nas tábuas secas ao ar.

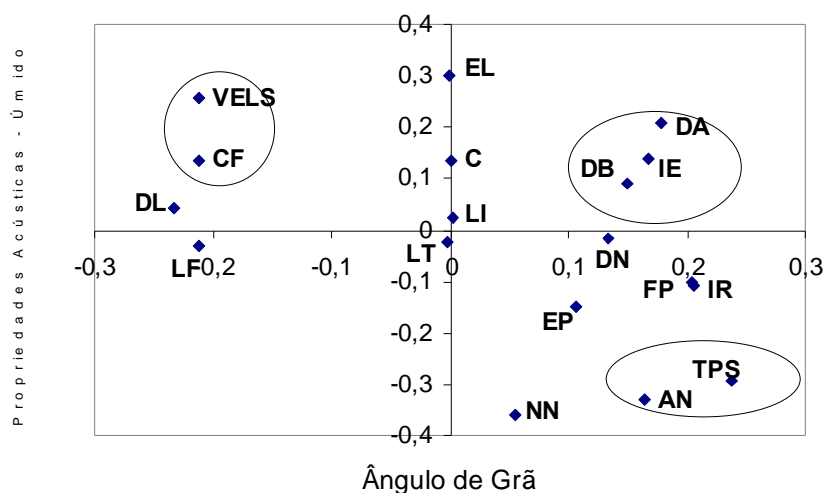
O fator 6 explica 5,4 % da variação total e está associado às variáveis anatômicas comprimento de fibras e índice de enfeltramento. O índice de enfeltramento é determinado pela divisão entre o comprimento e a largura das fibras. Sendo assim, há uma maior contribuição do comprimento de fibras neste fator, que apesar disso, foi denominado de Comprimento de Fibras e Índice de Enfeltramento.

Finalmente, o fator 7, que explica 4,5 % da variação total, foi composto pelas variáveis número e área total de nós e foi chamado de Nós.

De uma maneira geral, houve uma redução na participação das características anatômicas na variabilidade total devido ao processamento (traçamento e desdobro) da madeira, caindo de 65,1 % das árvores em pé (item 4.8.1) para 55,6 % e 49 % para as toras 1 e 2 (itens 4.8.2 e 4.8.3), respectivamente e para 37,5 % nas tábuas. Juntos, o ângulo de grã, as propriedades acústicas e os nós da madeira explicam 38,8 % da variabilidade total.

Com o objetivo de verificar outras relações entre as propriedades através de agrupamentos, especialmente entre propriedades acústicas, nós e ângulo de grã, foi elaborado o Gráfico 16, relacionando as propriedades acústicas da madeira, determinadas na condição úmida (Fator 4), e o ângulo de grã (fator 2).

GRÁFICO 16 – RELAÇÕES ENTRE OS FATORES PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA- CONDIÇÃO ÚMIDA E ÂNGULO DE GRÃ



LI: percentual de lenho inicial; LF: largura das fibras; DL: diâmetro do lume; C: comprimento das fibras; IE: índice de enfiamento; DN: diâmetro dos nós; DB: densidade básica; LT: percentual de lenho tardio; EP: espessura da parede das fibras; IR: índice de Runkel; CF: coeficiente de flexibilidade; VELS: velocidade de propagação das ondas na condição seca ao ar; TPS: tempo de propagação das ondas na condição seca ao ar; NN: número de nós; AN: área de nós; DA: densidade aparente; EL: módulo de elasticidade dinâmico.

No primeiro quadrante do gráfico (eixos positivo e negativo), verificou-se agrupamento da velocidade de propagação de ondas de tensão, determinada para as tábuas secas ao ar, com o coeficiente de flexibilidade. Apesar de não ter sido observada relação significativa entre ambos na tabela de correlação (Tabela 31), este agrupamento indica que as duas propriedades possuem relação entre si, confirmada, anteriormente, nas correlações entre as propriedades do grupo árvores em pé (Tabela 22). Estas propriedades também se relacionam às variáveis que compõem os eixos (tempo e velocidade das ondas – condição úmida e ângulos de grã), tendo sido observadas também na Tabela 31.

No segundo quadrante (eixos positivos), notou-se o agrupamento das variáveis densidade básica, densidade aparente e índice de enfiamento. A relação entre densidade básica e densidade aparente também foi detectada e discutida na tabela de correlação (Tabela 31). Já, a relação entre ambas as densidades (básica e aparente) e o índice de enfiamento, apesar de não ter sido observada nas tabela de correlação, diz respeito à variação radial destas propriedades, pois todas tendem a aumentar no sentido medula-casca. Além destas relações, as três variáveis estão relacionadas às propriedades que compõem os eixos do gráfico, o tempo e

velocidade de propagação das ondas, determinados nas tábuas úmidas, mencionadas no item 4.8.1, e os ângulos de grã. As relações da densidade básica, densidade aparente e índice de enfiletramento com o ângulo de grã são indiretas, sendo que as três primeiras propriedades aumentam e o ângulo de grã reduz no sentido medula-casca.

No terceiro quadrante (positivo e negativo), observou-se relação do tempo de propagação de ondas de tensão determinado nas tábuas secas ao ar com a área total de nós, já discutidas na Tabela 24, item 4.8.1. Quanto às relações destas variáveis com os eixos, apenas a relação área de nós e ângulo de grã não foi ainda mencionada, sendo uma relação indireta, já que ambos reduzem no sentido radial.

Além destes agrupamentos, observou-se que o número de nós encontra-se isolado e distante dos eixos. Isso significa que, além de estar relacionado às variáveis que compõem os eixos, esta propriedade contribui muito para a variação total, dentro do grupo de variáveis analisado para as tábuas.

#### 4.8.5 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Lâminas

Na Tabela 34 são apresentadas as correlações entre as propriedades avaliadas para as lâminas. Para efeito de correlação, identificou-se a região do tronco as quais pertenciam as lâminas avaliadas (madeira juvenil, de transição ou adulta).

As correlações observadas para as propriedades densidade básica, percentual de lenho (inicial e tardio), dimensões de fibras e suas relações, também foram registradas para as árvores em pé e para as toras, discutidas no item 4.8.1 e na revisão de literatura.

Além das correlações mencionadas acima, também foram detectadas correlações significativas dos percentuais de lenhos inicial e tardio com o diâmetro e número de nós, sendo positivas para o lenho inicial e negativas para o lenho tardio. Como relatado no item 4.8.3, ambas as propriedades reduzem no sentido radial, enquanto que o percentual de lenho tardio aumenta.

TABELA 34 - CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS LÂMINAS

PROPRIEDADES	DB	LI	LT	LF	DL	C	EP	DN	NN	AN	TPL	VELL	TPT	VELT	IR	FP	CF	IE
Densidade Básica (DB)	1,00																	
Percentual de lenho Inicial (LI)	<b>-0,46</b>	1,00																
Percentual de lenho Tardio (LT)	<b>0,46</b>	-1,00	1,00															
Largura da Fibra (LF)	<b>-0,49</b>	0,23	-0,23	1,00														
Diâmetro do Lume (DL)	<b>-0,73</b>	0,31	-0,31	<b>0,88</b>	1,00													
Comprimento de Fibras (C)	-0,12	-0,18	0,18	0,10	0,12	1,00												
Espessura da Parede das Fibras (EP)	<b>0,51</b>	-0,18	0,18	0,22	-0,26	-0,02	1,00											
Diâmetro de Nós (DN)	-0,02	0,10	-0,10	-0,09	0,07	0,13	-0,32	1,00										
Número de Nós (NN)	0,03	<b>0,73</b>	<b>-0,73</b>	-0,08	-0,13	-0,39	0,09	-0,09	1,00									
Área de Nós (AN)	0,04	<b>0,73</b>	<b>-0,73</b>	-0,19	-0,15	-0,24	-0,10	0,32	0,80	1,00								
Tempo Propagação Ondas – longitudinal (TPL)	0,03	0,02	-0,02	-0,22	-0,16	<b>0,43</b>	-0,12	0,17	0,02	0,10	1,00							
Velocidade de Propagação Ondas – longitudinal (VELL)	0,01	-0,01	0,01	0,09	0,04	<b>-0,45</b>	0,10	-0,02	0,06	-0,03	-0,74	1,00						
Tempo Propagação Ondas – transversal (TPT)	-0,29	0,19	-0,19	0,16	0,21	<b>0,46</b>	-0,10	0,23	-0,04	0,07	<b>0,42</b>	-0,02	1,00					
Velocidade de Propagação Ondas – transversal (VELT)	0,34	-0,17	0,17	-0,21	-0,31	<b>-0,63</b>	0,22	-0,10	0,07	-0,09	<b>-0,57</b>	<b>0,66</b>	-0,58	1,00				
Índice de Runkel (IR)	<b>0,78</b>	-0,32	0,32	<b>-0,45</b>	-0,81	-0,09	0,77	-0,26	0,12	0,01	0,01	0,03	-0,21	0,37	1,00			
Fração Parede (FP)	<b>0,78</b>	-0,30	0,30	-0,44	-0,80	-0,12	0,77	-0,29	0,16	0,02	0,03	0,05	-0,26	0,38	0,99	1,00		
Coefficiente de Flexibilidade (CF)	<b>-0,76</b>	0,30	-0,30	0,44	0,80	0,09	<b>-0,77</b>	0,30	-0,14	-0,00	-0,01	-0,02	0,23	-0,36	-0,99	-1,00	1,00	
Índice de Enfeltramento (IE)	0,39	-0,30	0,30	-0,80	<b>-0,69</b>	0,51	-0,19	0,16	-0,12	0,04	0,49	-0,38	0,13	-0,19	0,34	0,31	-0,32	1,00

Coefficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$

O tempo e velocidade de propagação de ondas de tensão, determinados no sentido longitudinal e transversal, também apresentaram correlação, confirmando resultado apresentado no item 4.4.4.

Relação negativa significativa foi observada entre o comprimento de fibras e a velocidade de propagação das ondas de tensão, determinados no sentido transversal da lâmina. Teoricamente, a onda ao encontrar o espaço vazio do lume tende a percorrer longitudinalmente a parede da fibra para então se propagar para outras células/fibras. No sentido longitudinal, isto é, na direção da grã, esperava-se uma correlação positiva, pois a onda se propaga rapidamente ao longo da fibra, através da parede. Entretanto, o valor obtido mostrou-se negativo, podendo ter sido influenciado pelas interferências do ambiente nas medições e a alta variação.

O Gráfico 17 apresenta os fatores obtidos na análise de componentes principais para as propriedades avaliadas nas lâminas. As componentes obtidas apresentam autovalores variando de 6,0 a zero. As cinco primeiras componentes apresentaram autovalor superior a 1 e, ao mesmo tempo, explicam 88,0 % da variação total (Tabela 35). Isso significa que as 18 variáveis ou propriedades das lâminas podem ser substituídas por estas cinco componentes, com perda de apenas 12,0 % da variação total. Estas sete componentes foram retidas na análise para avaliação dos fatores.

GRÁFICO 17 - COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AVALIADAS PARA AS LÂMINAS

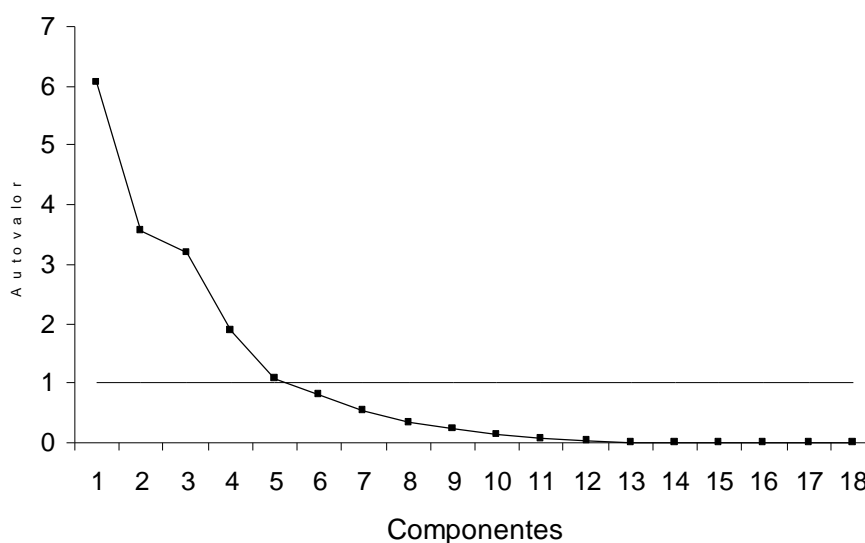




TABELA 35 - AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS, OBTIDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS LÂMINAS

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	6,07377	33,74	33,74
2	3,58152	19,90	53,64
3	3,19558	17,75	71,39
4	1,89941	10,55	81,94
5	1,09259	6,07	88,01

Na Tabela 36 são apresentados os fatores rotacionados, obtidos através do método Varimax, e as variáveis que compõem estes fatores, com seus respectivos graus de importância.

TABELA 36 - MATRIZ DOS FATORES ROTACIONADOS, OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS LÂMINAS

PROPRIEDADES	COMUNALIDADES	FATOR				
		1	2	3	4	5
Índice de Runkel	0,99493	<b>0,95210</b>	-0,05584	-0,27043	0,03241	-0,05280
Fração parede	0,99275	<b>0,94918</b>	-0,02894	-0,25690	0,05722	-0,09156
Espessura da parede	0,99353	<b>0,90689</b>	-0,04477	0,38885	0,05355	0,02295
Densidade básica	0,92282	<b>0,74308</b>	-0,18203	-0,32802	0,00073	-0,15807
Coefficiente de flexibilidade	0,99161	<b>-0,94770</b>	0,04097	0,26197	-0,02367	0,06353
Percentual de lenho inicial	0,98166	-0,23043	<b>0,92354</b>	0,17994	-0,01301	0,06665
Número de nós	0,91332	0,16070	<b>0,89648</b>	-0,05105	0,01213	-0,01560
Área total de nós	0,95850	0,03730	<b>0,89367</b>	-0,16819	-0,03242	0,00288
Percentual de lenho tardio	0,98227	0,22945	<b>-0,92415</b>	-0,18007	0,01431	-0,06690
Largura das fibras	0,99092	-0,18862	0,00677	<b>0,96293</b>	0,03905	0,07457
Diâmetro do lume	0,98744	-0,62171	0,02287	<b>0,76408</b>	0,01313	0,06488
Índice de enfiamento	0,98826	0,14853	-0,13043	<b>-0,84631</b>	-0,28167	0,08013
Velocidade das ondas - L	0,97718	0,03142	-0,00433	0,06928	<b>0,94455</b>	0,16684
Velocidade das ondas - T	0,93646	0,29614	-0,09025	-0,12324	0,63319	-0,38501
Tempo prop. das ondas - L	0,95465	0,01487	0,01765	-0,23338	<b>-0,86858</b>	0,34949
Tempo prop. das ondas - T	0,98911	-0,13755	0,07877	0,04655	-0,12686	<b>0,94427</b>
Comprimento das fibras	0,97397	-0,04591	-0,24225	-0,03683	-0,34342	0,27239
Diâmetro de nós	0,98658	-0,20869	0,07017	-0,08792	-0,03303	0,09293

L: longitudinal; T: transversal.

Todas as variáveis estudadas para as lâminas apresentaram altas comunalidades, sendo mantidas na análise de fatores rotacionados. Observou-se que o fator 1, o qual explicou 33,7 % da variação total, foi associado com as variáveis espessura da parede das fibras, índice de Runkel, fração parede, coeficiente de flexibilidade e com a densidade básica, sendo que esta última

propriedade aparece pela primeira vez no fator 1. Este fator foi denominado de Rigidez das Fibras e Densidade Básica.

O fator 2, responsável por 19,9 % da variação total, foi dominado pelo percentual de lenho inicial e tardio e pelo número e área de nós. A associação verificada entre estas propriedades foi explicada na tabela de correlação (Tabela 34) e está relacionada ao comportamento destas variáveis na madeira juvenil e adulta. Este fator foi denominado de Percentual de lenhos e Nós. Estas propriedades são importantes na obtenção de produtos, tais como, laminados e serrados.

O terceiro fator, que compõe 17,7 % da variação total, é dominado pelo diâmetro do lume, largura da fibra e índice de enfiletramento. Como o índice de enfiletramento é determinado através da divisão entre o comprimento e a largura das fibras, concluiu-se que a largura da fibra é a principal propriedade deste fator. A largura das fibras apresenta relação positiva com o diâmetro do lume, conforme mencionado no item 4.8.1, e a relação dessas duas variáveis resulta no coeficiente de flexibilidade, denominando-se este fator de Flexibilidade das Fibras e Índice de enfiletramento.

No quarto fator, responsável por 10,5 % da variação total, verificou-se a dominância do tempo e velocidade e tempo de propagação das ondas de tensão, determinados no sentido longitudinal das lâminas, sendo chamado de Propriedades acústicas Longitudinais. Análise dos coeficientes de correlação das variáveis pertencentes a esse grupo, indicou que o comprimento de fibras é a variável que exerce maior influência sobre o tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão, apresentando coeficiente de correlação de - 0,34, seguida do índice de enfiletramento, com coeficiente de - 0,28.

Finalmente, o fator 5 foi dominado integralmente pela variável tempo de propagação das ondas de tensão, determinadas no sentido transversal das lâminas. Este fator, responsável por 6,1 % da variação total, foi chamado pela própria variável, Tempo de Propagação das Ondas de Tensão Transversais. Verificou-se, também neste caso, a maior influência do comprimento de fibras sobre o tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão.

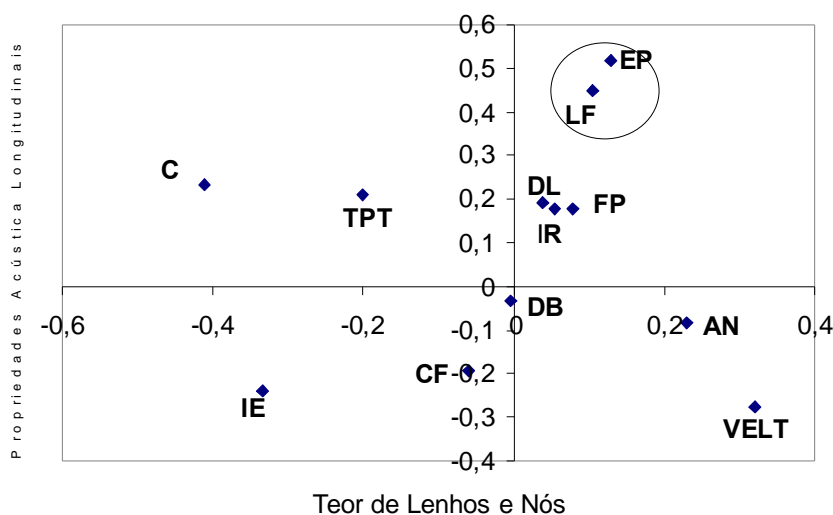
Conforme apresentado, as propriedades acústicas da madeira, determinadas no sentido longitudinal das lâminas, isto é, no sentido de disposição das fibras no tronco das árvores, explicaram um percentual maior da variação total,

quando comparadas às propriedades acústicas determinadas no sentido transversal às fibras.

De uma maneira geral, as características anatômicas explicaram 51,4 % da variação total do conjunto de propriedades avaliadas para as lâminas. O percentual de lenhos, as propriedades acústicas e os nós da madeira, juntos, explicaram o restante da variação total (48,6 %).

Relação gráfica foi realizada com os fatores Percentual de lenhos e Nós e Propriedades Acústicas Longitudinais. O resultado é apresentado no Gráfico 18.

GRÁFICO 18 - RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DOS FATORES PERCENTUAIS DE LENHOS E NÓS COM AS PROPRIEDADES ACÚSTICAS LONGITUDINAIS DA MADEIRA - LÂMINAS



LF: largura das fibras; DL: diâmetro do lume; C: comprimento das fibras; IE: índice de enfileiramento; DB: densidade básica; EP: espessura da parede das fibras; IR: índice de Runkel; CF: coeficiente de flexibilidade; VELT: velocidade de propagação das ondas no sentido transversal; TPT: tempo de propagação das ondas no sentido transversal; AN: área de nós.

Observou-se um agrupamento entre a espessura da parede e a largura das fibras no quadrante positivo do gráfico. As duas propriedades apresentaram relação negativa, entretanto, ambas contribuem positivamente para a variação total do conjunto de propriedades. Estas variáveis estão relacionadas com as propriedades que compõem os eixos do Gráfico 17, o tempo e velocidade de propagação de ondas de tensão, neste caso determinado no sentido longitudinal das lâminas, e com

os percentuais de lenho inicial e tardio e a freqüência e área total de nós. Todas estas relações já foram discutidas anteriormente.

Isoladamente e distantes dos eixos, dispostos praticamente na diagonal dos quadrantes, encontram-se o comprimento de fibras e o índice de enfiamento e, em sentidos opostos, estão o tempo e a velocidade de propagação de ondas de tensão determinados no sentido transversal das lâminas, pois são inversamente proporcionais. Estas variáveis contribuem muito para a variação total e também estão relacionadas com as propriedades que compõem os eixos do gráfico.

#### 4.9 REGRESSÃO PARA AS VARIÁVEIS AVALIADAS

Selecionaram-se os melhores modelos, combinados ou não às variáveis independentes tempo e velocidades das ondas, desde que significativos, considerando-se a possibilidade de utilização de uma ou outra ou de ambas na estimativa das demais propriedades. No que diz respeito às dimensões de fibras e suas relações, foram testados modelos apenas para aquelas consideradas mais importantes para a produção de celulose/pasta. Com relação aos percentuais de lenhos, optou-se pela apresentação de modelo apenas para o lenho tardio, já que ambos somam 100 % na madeira, podendo-se obter o lenho inicial por diferença. Os resultados são apresentados em subitens, de acordo com o processo de avaliação do material.

##### 4.9.1 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Árvores

Na Tabela 37 são apresentados os modelos de regressão linear polinomiais para estimar as propriedades das árvores em pé, através das propriedades não destrutivas tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão e o DAP.

Todos os modelos apresentados foram significativos a 1 % de probabilidade. Observou-se que o DAP não está presente nos modelos mais importantes para estimar as propriedades da madeira de árvores em pé, através de variáveis não destrutivas.

TABELA 37 – MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NA ÁRVORE EM PÉ

PROPRIEDADE	MODELO	R <sup>2</sup>	F (1%)	CV (%)
Densidade básica	$Y = 7,046.10^{-4}.TP - 2,275.10^{-7}.TP^2$	0,9980	5748,85	4,7
	$Y = 9,906.10^{-4}.VEL - 3,860.10^{-7}.VEL^2$	0,9977	5022,72	5,0
Espessura da parede	$Y = 9,560.10^{-3}.TP - 2,930.10^{-6}.TP^2$	0,9945	2077,88	7,8
	$Y = 0,016.VEL - 7,870.10^{-6}.VEL^2$	0,9946	2120,50	7,7
Comprimento das fibras	$Y = 3,67.10^{-3}.TP - 8,920.10^{-7}.TP^2$	0,9987	8740,77	3,8
	$Y = 0,011.VEL - 7,770.10^{-6}.VEL^2$	0,9986	8382,83	3,9
Coeficiente de flexibilidade	$Y = 0,059.TP - 1,200.10^{-5}.TP^2$	0,9989	10038,10	3,5
	$Y = 0,220.VEL - 1,7.10^{-4}.VEL^2$	0,9989	10073,30	3,5
% Lenho tardio	$Y = 0,064.TP - 2,13.10^{-5}.TP^2$	0,9913	1305,50	9,8
	$Y = 0,062.VEL$	0,9914	2760,80	9,5
Diâmetro dos nós	$Y = 2,880.10^{-3}.TP - 1,09.10^{-6}.TP^2$	0,9060	110,83	33,9
	$Y = 2,120.10^{-3}.VEL$	0,8968	208,60	34,7
Número de nós	$Y = 0,0526.TP - 9,590.10^{-6}.TP^2$	0,9151	123,91	31,9
	$Y = 0,020.VEL$	0,9160	261,71	31,1
Área de nós	$Y = 0,101.TP - 4,010.10^{-5}.TP^2$	0,8638	72,93	42,01
	$Y = 8,800.10^{-5}.VEL^2$	0,8559	142,56	42,3

TP: tempo de propagação das ondas; VEL: velocidade das ondas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) dos principais modelos apresentados são altos, com valores acima de 0,85. Os modelos apresentam-se bem ajustados, com alta precisão na estimativa das propriedades anatômicas, densidade básica e percentual de lenho tardio. Para as variáveis diâmetro, número e área de nós, apesar de bem ajustados, com altos valores de F, significativos a 1 % de probabilidade, os modelos apresentaram altos coeficientes de variação, o que sugere a necessidade de análise de um maior número de árvores para melhorar a confiabilidade na estimativa destas variáveis através dos modelos propostos.

Os modelos apresentados permitem a estimativa das propriedades avaliadas para as árvores em pé, a partir do tempo de propagação das ondas ou da velocidade, ou ainda de ambos juntos.

Os resultados obtidos são de suma importância tanto para o setor Florestal, quanto Industrial, indicando que é possível se fazer uma seleção prévia das características desejáveis das árvores, antes do abate, para diferentes produtos, prevendo-se, antecipadamente, a produção e as características do produto final,

reduzindo-se tempo e custo de análises e, ao mesmo tempo, escolhendo-se a melhor utilização dos povoamentos existentes.

#### 4.9.2 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Toras 1

Os modelos para estimar as propriedades físicas, anatômicas, morfológicas e os defeitos diâmetro, número e área de nós das toras 1, através das propriedades não destrutivas tempo e velocidade de propagação das ondas de tensão e o diâmetro das toras são apresentados na Tabela 38.

TABELA 38 – MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS 1

PROPRIIDADE	MODELO	R <sup>2</sup>	F (1%)	CV (%)
Densidade básica	$Y = 1,100.10^{-3}.TP - 5,355.10^{-8}.TP^2$	0,9974	4337,6	5,4
	$Y = 3,266.10^{-4}.VEL - 4,358.10^{-8}.VEL^2$	0,9971	3940,38	5,6
Espessura da parede	$Y = 0,016.TP - 7,810.10^{-6}.TP^2$	0,9946	2120,67	7,7
	$Y = 3,320.10^{-3}.VEL$	0,9939	3900,14	8,0
	$Y = 4,657.10^{-7}.VEL^2 + 0,229.D + 2,450.10^{-3}.D^2$	0,9953	1542,80	7,3
Comprimento das fibras	$Y = 6,010.10^{-3}.TP - 2,390.10^{-6}.TP^2$	0,9987	8683,58	3,8
	$Y = 3,490.10^{-3}.VEL - 8,086.10^{-7}.VEL^2$	0,9987	8675,43	3,8
Coeficiente flexibilidade	$Y = 0,096.TP - 3,272.10^{-5}.TP^2$	0,9985	7909,31	4,0
	$Y = 0,0704.VEL - 1,789.10^{-5}.VEL^2$	0,9985	7466,76	4,1
% Lenho tardio	$Y = 0,097.TP - 5,012.10^{-5}.TP^2$	0,9900	1139,60	10,5
	$Y = 0,020.VEL$	0,9895	2270,81	10,5
Diâmetro dos nós	$Y = 4,680.10^{-3}.TP - 2,870.10^{-6}.TP^2$	0,9045	108,92	34,1
	$Y = 6,818.10^{-4}.VEL$	0,8977	210,54	34,6
Número de nós	$Y = 0,012.TP$	0,8949	204,40	34,8
	$Y = 6,350.10^{-3}.VEL$	0,9042	226,42	33,2
Área de nós	$Y = 0,154.TP - 9,697.10^{-5}.TP^2$	0,8573	69,07	43,0
	$Y = 9,080.10^{-6}.VEL^2$	0,8491	135,03	43,3

TP: tempo de propagação das ondas; VEL: velocidade das ondas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação da equação; D: diâmetro das toras.

Os modelos apresentados foram significativos a 1 % de probabilidade. Aqueles obtidos para as propriedades avaliadas nas toras 1 são os mesmos determinados nas árvores em pé (Tabela 37), com diferenças apenas nos coeficientes das variáveis independentes, apresentando altos coeficientes de

determinação ( $R^2$ ), com valores iguais ou acima de 0,85. Os modelos estão bem ajustados, com alta precisão na estimativa das propriedades anatômicas, densidade básica e percentual de lenho tardio. Quanto ao diâmetro, número e área de nós, os modelos, apesar de bem ajustados e significativos a 1 % de probabilidade, apresentaram altos coeficientes de variação, indicando a necessidade de avaliação de um número maior de toras para melhoria da confiabilidade na estimativa destas variáveis através dos modelos propostos.

Observou-se que entre os modelos mais importantes, o diâmetro das toras esteve presente em apenas um deles, estimando a espessura da parede das fibras, podendo, inclusive ser substituído pelos outros dois compostos pelo tempo e velocidade de propagação das ondas, com mesmo nível de importância.

Os modelos apresentados permitem a estimativa das propriedades avaliadas para as primeiras toras, próximas à base das árvores, a partir das propriedades não destrutivas tempo e velocidade de propagação das ondas, indicando a possibilidade de uma seleção de toras através da estimativa das características desejáveis, prevendo-se a produção e qualidade dos produtos a serem obtidos.

#### 4.9.3 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Toras 2

Comparando-se os modelos apresentados para as toras 2 (Tabela 39) com as toras 1 (Tabela 38), verificou-se que são os mesmos para as propriedades densidade básica, dimensões e coeficiente de flexibilidade das fibras, e percentual de lenhos. Entretanto, foram observadas algumas diferenças entre os modelos obtidos para o diâmetro, número e área de nós. Todos os modelos apresentados para as propriedades da madeira avaliadas para as toras 2 são significativos a 1 % de probabilidade, com valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,77. Os modelos estão bem ajustados, com alta precisão na estimativa das propriedades anatômicas, densidade básica e percentual de lenho tardio. Mantendo-se o resultado das árvores em pé e toras 1, os modelos obtidos para o diâmetro, número e área de nós das toras 2, apesar de bem ajustados e significativos a 1 % de probabilidade, apresentaram altos coeficientes de variação, indicando a necessidade de avaliação de um número maior de toras para melhoria da confiabilidade na estimativa destas variáveis através desses modelos propostos.

TABELA 39 – MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS 2

PROPRIEDADE	MODELO	R <sup>2</sup>	F (1%)	CV (%)
Densidade básica	$Y = 1,220.10^{-3}.TP - 6,933.10^{-7}.TP^2$	0,9975	4503,34	5,3
	$Y = 2,094.10^{-4}.VEL$	0,9974	9376,43	5,6
Espessura parede	$Y = 0,016.TP - 8,460.10^{-6}.TP^2$	0,9951	2314,49	7,3
	$Y = 3,270.10^{-3}.VEL$	0,9944	4288,57	7,6
Comprimento das fibras	$Y = 5,590.10^{-3}.TP - 1,900.10^{-6}.TP^2$	0,9982	6382,09	4,4
	$Y = 4,020.10^{-3}.VEL - 1,010.10^{-6}.VEL^2$	0,9982	6354,81	4,4
Coeficiente flexibilidade	$Y = 0,098.TP - 3,317.10^{-5}.TP^2$	0,9985	7905,46	4,0
	$Y = 0,071.VEL - 1,789.10^{-5}.VEL^2$	0,9985	7790,62	4,0
% Lenho tardio	$Y = 0,092.TP - 5,099.10^{-5}.TP^2$	0,9889	1024,88	11,0
	$Y = 0,017.VEL$	0,9886	2086,47	10,9
Diâmetro dos nós	$Y = 3,290.10^{-3}.TP$	0,9408	381,63	25,6
	$Y = 1,620.10^{-3}.VEL$	0,9375	360,00	26,3
Número de nós	$Y = 8,060.10^{-6}.TP^2$	0,8362	122,55	45,5
	$Y = 4,500.10^{-3}.VEL$	0,8145	105,35	48,4
Área de nós	$Y = 1,035.10^{-4}.TP^2$	0,7947	92,93	52,2
	$Y = 5,789.10^{-2}.VEL$	0,7760	83,16	54,5

TP: tempo de propagação das ondas; VEL: velocidade das ondas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação da equação.

Dentre os principais modelos para estimar as propriedades avaliadas das toras 2, não se verificou a presença do diâmetro da tora, considerado no grupo de variáveis independentes.

De uma maneira geral, os modelos apresentados permitem a estimativa das propriedades avaliadas também para as segundas toras das árvores amostradas, podendo manter este resultado para toras obtidas em outras alturas da árvore.

#### 4.9.4 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Tábuas

Na tabela 40 são apresentados os modelos para estimar as propriedades físicas, anatômicas, morfológicas e mecânicas, além do diâmetro, número e área dos nós das tábuas para tábuas úmidas e secas ao ar. Foram selecionados modelos apenas para as propriedades de interesse para madeira serrada.



TABELA 40 – MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TÁBUAS

PROPRIEDADE	CONDIÇÃO	MODELO	R <sup>2</sup>	F (1%)	Continua
					CV (%)
Densidade básica	Úmida	$Y = 1,720.10^{-3}.TPU - 1,510.10^{-6}.TPU^2$	0,9957	2656,29	6,9
		$Y = 2,341.10^{-4}.VELU - 2,806.10^{-8}.VELU^2$	0,9957	2669,23	6,8
		$Y = 6,416.10^{-7}.TPU^2 + 1,737.10^{-8}.VELU^2$	0,9958	2730,33	6,8
	Seca ao ar	$Y = 2,430.10^{-3}.TPS - 2,990.10^{-6}.TPS^2$	0,9958	2720,69	6,8
		$Y = 9,763.10^{-5}.VELS$	0,9956	5388,73	6,8
		$Y = 5,563.10^{-4}.TPS + 9,262.10^{-9}.VELS^2$	0,9958	2749,03	6,7
Densidade aparente	Úmida	$Y = 1,900.10^{-3}.TPU - 1,560.10^{-6}.TPU^2$	0,9967	3517,17	6,0
		$Y = 2,950.10^{-4}.VELU - 3,777.10^{-8}.VELU^2$	0,9967	3507,61	6,0
		$Y = 8,147.10^{-7}.TPU^2 + 1,934.10^{-8}.VELU^2$	0,9970	3884,44	5,7
	Seca ao ar	$Y = 2,720.10^{-3}.TPS - 3,190.10^{-6}.TPS^2$	0,9969	3686,43	5,8
		$Y = 1,159.10^{-4}.VELS$	0,9966	7138,69	5,9
		$Y = 6,941.10^{-4}.TPS + 1,037.10^{-8}.VELS^2$	0,9970	3870,58	5,7
Módulo elasticidade dinâmico	Úmida	$Y = 56,447.TPU - 0,545.TPU^2$	0,9934	1739,14	8,5
		$Y = 6,124.VELU - 6,271.10^{-4}.VELU^2$	0,9934	1735,39	8,5
		$Y = 1320508.TPU + 4,326.10^{-4}.VELU^2$	0,9933	1713,92	8,5
	Seca ao ar	$Y = 3075966.TPS$	0,9892	2188,10	10,7
$Y = 5,804.10^{-4}.VELS^2$		0,9965	6880,31	6,0	
% Lenho tardio	Úmida	$Y = 0,136.TPU - 1,200.10^{-4}.TPU^2$	0,9877	922,72	11,6
		$Y = 1,888.10^{-2}.VELU - 2,290.10^{-6}.VELU^2$	0,9877	920,95	11,6
		$Y = 4,101.10^{-2}.TPU + 9,657.10^{-7}.VELU^2$	0,9877	926,89	11,6
	Seca ao ar	$Y = 8,364.10^{-2}.TPS$	0,9858	1664,34	12,2
		$Y = 7,800.10^{-3}.VELS$	0,9879	1965,01	11,3
Diâmetro dos nós	Úmida	$Y = 6,280.10^{-3}.TPU$	0,9406	380,09	25,6
		$Y = 9,779.10^{-4}.VELU$	0,9355	348,45	26,7
	Seca ao ar	$Y = 8,140.10^{-3}.TPS$	0,9417	387,48	25,4
		$Y = 7576.10^{-4}.VELS$	0,9397	374,02	25,8
Número de nós	Úmida	$Y = 0,017.TPU$	0,8247	112,89	47,0
		$Y = 2,730.10^{-3}.VELU$	0,8199	109,29	47,7
	Seca ao ar	$Y = 4,927.10^{-5}.TPS$	0,8286	116,03	45,5
		$Y = 2,11.10^{-3}.VELS$	0,8206	109,82	45,8
Área de nós	Úmida	$Y = 0,225.TPU$	0,7863	88,28	53,2
		$Y = 0,035.VELU$	0,7797	84,96	54,0
	Seca ao ar	$Y = 6,350.10^{-4}.TPS$	0,7934	92,16	52,3
		$Y = 0,027.VELS$	0,7803	85,22	54,0

TABELA 40 – MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TÁBUAS

PROPRIEDADE	CONDIÇÃO	MODELO	R <sup>2</sup>	Conclusão	
				F (1%)	CV (%)
Ângulo grã da tábu inteira	Úmida	$Y = 4,640.10^{-3}.TPU$	0,9294	315,86	28,2
		$Y = 2,250.10^{-3}.VELU - 3,968.10^{-7}.VELU^2$	0,9276	147,42	29,2
	Seca ao ar	$Y = 1,307.10^{-5}.TPS^2$	0,9334	336,3	27,4
		$Y = 3,73.10^{-3}.VELS - 6,408.10^{-7}.VELS^2$	0,9378	173,32	27,05
Ângulo grã médio	Úmida	$Y = 5,470.10^{-3}.TPU$	0,9256	298,4	29,0
		$Y = 8,484.10^{-4}.VELU$	0,9113	246,43	31,7
3 pontos	Seca ao ar	$Y = 1,542.10^{-5}.TPS^2$	0,9322	329,74	27,7
		$Y = 4,77.10^{-8}.VELS - 8,305.10^{-7}.VELS^2$	0,9384	175,20	26,9

TPU: tempo de propagação das ondas determinados nas tábuas úmidas; VELU: velocidade das ondas determinada nas tábuas úmida; TPS: tempo de propagação das ondas determinados nas tábuas secas ao ar; VELs: velocidade das ondas determinadas nas tábuas secas ao ar; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação da equação.

Os modelos selecionados para estimar as propriedades das tábuas tanto úmidas, quanto secas ao ar, foram significativos a 1 % de probabilidade e apresentaram altos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), com valores superiores a 0,77. Os modelos estão bem ajustados, com alta precisão na estimativa das propriedades avaliadas. Porém, os modelos obtidos para as propriedades dos nós e de ângulo de grã, apesar dos altos coeficientes de determinação e significância de 1 % de probabilidade, apresentaram alto coeficiente de variação, o que reduz a precisão na determinação dessas variáveis. Este fato indica a necessidade de avaliação de um número maior de amostras para aumentar a confiabilidade do modelo.

Como pode se observar, apenas com a utilização de variáveis independentes não destrutivas e de fácil determinação é possível estimar propriedades de difícil determinação e que exigem um tempo considerável de análises laboratoriais. Os resultados obtidos no presente trabalho mostraram que é possível a seleção de tábuas com características desejáveis, podendo ser desenvolvida metodologia para implementação até mesmo em uma linha de produção.

#### 4.9.5 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Lâminas

Na Tabela 41 são apresentados os modelos para estimar as propriedades das lâminas. Foram selecionados modelos considerando as variáveis independentes determinadas no sentido longitudinal, na direção da grã.

TABELA 41 – MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS LÂMINAS

PROPRIEDADE	MODELO	R <sup>2</sup>	F (1%)	CV (%)
Densidade básica	$Y = 9,279 \cdot 10^{-5} \cdot TP$	0,8317	118,61	42,0
	$Y = 8,614 \cdot 10^{-4} \cdot VEL - 2,648 \cdot 10^{-7} \cdot VEL^2$	0,8927	95,68	34,2
	$Y = 6,462 \cdot 10^{-5} \cdot TP + 2,346 \cdot 10^{-4} \cdot VEL$	0,9626	296,36	20,2
% Lenho tardio	$Y = 8,830 \cdot 10^{-3} \cdot TP$	0,7977	94,61	46,9
	$Y = 0,082 \cdot VEL - 2,502 \cdot 10^{-5} \cdot VEL^2$	0,8578	69,35	40,1
	$Y = 6,130 \cdot 10^{-3} \cdot TP + 0,022 \cdot VEL$	0,9255	142,90	29,0
Diâmetro dos nós	$Y = 3,651 \cdot 10^{-4} \cdot TP$	0,4027	16,18	124,2
	$Y = 3,620 \cdot 10^{-3} \cdot VEL - 1,290 \cdot 10^{-6} \cdot VEL^2$	0,4156	8,18	125,5
Número de nós	$Y = 3,200 \cdot 10^{-7} \cdot TP^2$	0,3618	13,61	111,4
	$Y = 0,012 \cdot VEL$	0,4535	19,91	103,1
	$Y = 2,147 \cdot 10^{-7} \cdot TP^2 + 8,420 \cdot 10^{-3} \cdot VEL$	0,5441	13,73	96,2
Área de nós	$Y = 8,610 \cdot 10^{-3} \cdot TP$	0,4333	18,35	111,5
	$Y = 0,083 \cdot VEL - 2,776 \cdot 10^{-5} \cdot VEL^2$	0,4488	9,37	112,3
	$Y = 8,208 \cdot 10^{-7} \cdot TP + 0,026 \cdot VEL$	0,4691	10,16	110,2

TP: tempo de propagação das ondas; VEL: velocidade das ondas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação da equação.

Os modelos obtidos para estimar a densidade básica e o percentual de lenho tardio apresentaram valores de F significativos a 1 % de probabilidade, e altos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), indicando que os modelos estão bem ajustados. Entretanto, os coeficientes de variação são altos, indicando a necessidade de um número maior de amostras para melhorar a confiabilidade dos modelos. Com relação ao diâmetro, número e área de nós, apesar dos valores de F significativos a 1 % de probabilidade, os coeficientes de determinação dos modelos são baixos e os coeficientes de variação altos podendo limitar significativamente estas estimativas.

De uma maneira geral, as equações obtidas para a densidade básica, dimensões de fibras e suas relações e os percentuais de lenhos inicial e tardio dos grupos árvores em pé, toras 1 e 2 e tábuas apresentaram probabilidade de erro de

apenas 1,2 %, mostrando-se como importante forma de determinação destas variáveis. Para as variáveis diâmetro, número e área de nós a probabilidade de erro varia de 14,0 % nas árvores em pé a 22,0 % nas tábuas. Apesar da possibilidade de melhoria destas equações para os nós da madeira, a utilização do método, de uma maneira geral, dependerá da necessidade e da confiabilidade necessária na determinação destas propriedades. Indiscutivelmente, o método é indicado para caracterizações macro para seleção, classificação e adequação de uso nas indústrias, permitindo estimativa prévia de rendimentos e qualidade do produto final. A técnica de propagação de ondas de tensão pode ser utilizada como fator complementar para planejamentos de produção e qualidade e, de acordo com os resultados obtidos. Também pode ser empregada para acompanhar as mudanças das propriedades físicas, anatômicas, mecânicas e morfológicas da árvore durante seu crescimento e auxiliar na determinação do manejo adequado, visando características e produtos específicos ou multiusos das florestas, indicando para os povoamentos adultos, a sua melhor utilização. Pode ser utilizada também para fins de melhoramento florestal.

É importante salientar que as equações obtidas podem ser utilizadas para material com condições semelhantes (espécie, idade, diâmetro, etc), sendo necessária a determinação de novas equações para materiais diferentes.