

**PATRÍCIA APARECIDA RIGATTO CASTELO**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* EM DIFERENTES  
SÍTIOS DE CRESCIMENTO E ESPAÇAMENTOS, ATRAVÉS DO MÉTODO NÃO  
DESTRUTIVO DE EMISSÃO DE ONDAS DE TENSÃO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Co-Orientadores: Dr. Renato Antonio Dedecek  
Prof. Dr. Osmir José Lavoranti

**CURITIBA**

**2007**

## **DEDICO**

Em primeiro lugar, a Deus, meu eterno agradecimento por mais esta graça alcançada.

Aos meus pais, Caetano e Aparecida, pela educação, amor, dedicação e exemplo de vida.

Aos meus irmãos Beatriz, Paulo e Rodrigo pela amizade, carinho e constante torcida.

Em especial, ao meu esposo Silvio Luiz e meu filho João Pedro, que tanto me incentivaram nesta luta.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade oferecida para execução deste trabalho.

A autora manifesta seus sinceros agradecimentos ao orientador, Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos e aos co-orientadores, pesquisador Dr. Renato Antonio Dedecek e Prof. Dr. Osmir José Lavoranti, pelos valiosos ensinamentos, confiança, incentivo e estímulo transformados em amizade e respeito, durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa Iguazu Celulose e Papel S.A, na pessoa do Engenheiro João Mendes Neto, pelo apoio e auxílio irrestrito, sem os quais esta pesquisa não chegaria ao seu término.

À empresa Rigesa - MeadWestvaco, na pessoa dos Engenheiros Florestais Luiz Otávio Andrade e Ricardo Pain, pelo profissionalismo, apoio e auxílio prestados, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Tecnologia da Madeira e Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná; do Laboratório de Solos, Nutrição de Plantas e Tecnologia da Madeira do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas - EMBRAPA, pelo auxílio prestado durante a execução das análises.

Aos amigos Gilnei M. Rosa, Daniel Chies, José G. Prata, Marcos A. M. de Souza, Antônio A. Cardoso Jr, Benedito C. de Almeida, Silvia Romão, Rosilani Trianoski e Manoel Jungles, pelo convívio, amizade e auxílios prestados.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todos os professores, técnicos, funcionários e amigos que colaboraram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser concluído.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	xi
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	xiii
<b>RESUMO</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	03
2.1 OBJETIVO GERAL .....	03
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	03
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	04
3.1 QUALIDADE DA MADEIRA .....	04
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS .....	05
3.2.1 Massa Específica .....	05
3.3 PROPRIEDADES ANATÔMICAS .....	07
3.3.1 Dimensões das Fibras .....	07
3.4 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA .....	15
3.4.1 Fatores Inerentes a Madeira .....	15
3.4.1.1 Teor de umidade .....	15
3.4.1.2 Espécie .....	15
3.4.1.3 Idade .....	16
3.4.1.4 Posição no tronco .....	16
3.4.1.5 Madeira juvenil .....	17
3.4.1.6 Largura e uniformidade dos anéis de crescimento .....	19
3.4.1.7 Percentagem de lenho tardio .....	20
3.4.1.8 Inclinação da grã e nodosidade .....	21
3.4.1.9 Madeira de reação .....	22
3.4.2 Fatores Inerentes ao Meio .....	23
3.4.2.1 Sítio de crescimento .....	23
3.4.2.2 Taxa de crescimento .....	24
3.4.2.3 Localização geográfica .....	25
3.4.2.4 Práticas silviculturais .....	26

3.4.2.4.1 Espaçamento .....	26
3.4.2.4.2 Desbaste.....	27
3.4.2.4.3 Poda .....	28
3.4.2.4.4 Adubação.....	29
3.4.2.4.5 Irrigação e drenagem.....	30
3.5 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA .....	30
3.5.1 Métodos de Avaliação Não Destrutiva das Propriedades da Madeira .....	32
3.5.1.1 Métodos visuais .....	32
3.5.1.2 Métodos químicos.....	33
3.5.1.3 Métodos mecânicos .....	33
3.5.1.4 Métodos físicos.....	34
3.5.1.4.1 Pilodyn .....	34
3.5.1.4.2 Técnicas vibracionais.....	34
3.5.1.4.3 Técnicas ópticas .....	34
3.5.1.4.4 Técnicas acústicas.....	35
3.5.1.4.4.1 Ultra-som .....	35
3.5.1.4.4.2 Emissão de ondas de tensão.....	36
3.6 TEORIA DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM MEIO ELÁSTICO.....	38
3.6.1 Madeira como Meio Elástico.....	38
3.6.2 Determinação do Módulo de Elasticidade Através do Método Acústico .....	38
3.7 INFLUÊNCIAS DAS DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES SOBRE A PROPAGAÇÃO DE ONDAS ACÚSTICAS .....	39
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	41
4.1 ESPÉCIE ESTUDADA.....	41
4.2 DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DA ÁREA EXPERIMENTAL I: SÍTIO DE CRESCIMENTO .....	41
4.2.1 Descrição do Local .....	41
4.2.2 Amostragem e Preparação do Material .....	42
4.2.2.1 Amostragem do solo.....	44
4.2.2.2 Amostragem das árvores.....	45
4.3 DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DA ÁREA EXPERIMENTAL II: ESPAÇAMENTO .....	47

4.3.1	Descrição do Local .....	47
4.3.2	Amostragem e Preparação do Material .....	48
4.3.2.1	Amostragem das árvores .....	49
4.4	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES .....	50
4.5	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA .....	51
4.5.1	Determinação da Massa Específica Básica .....	51
4.5.2	Determinação das Dimensões das Fibras e Suas Relações .....	52
4.6	DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO .....	53
4.7	DETERMINAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL .....	56
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	56
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
5.1	RESULTADOS DA ÁREA EXPERIMENTAL I: SÍTIO DE CRESCIMENTO .....	57
5.1.1	Atributos Químicos do Solo .....	57
5.1.2	Atributos Físicos e Granulométricos do Solo .....	60
5.1.3	Estado Nutricional das Árvores .....	64
5.1.4	Características das Árvores .....	67
5.1.5	Propriedades da Madeira .....	68
5.1.5.1	Massa específica básica .....	68
5.1.5.2	Dimensões das fibras e suas relações .....	69
5.1.6	Velocidade de Propagação das Ondas de Tensão .....	71
5.2	RESULTADOS DA ÁREA EXPERIMENTAL II: ESPAÇAMENTO .....	72
5.2.1	Estado Nutricional das Árvores .....	72
5.2.2	Características das Árvores .....	75
5.2.3	Propriedades da Madeira .....	77
5.2.3.1	Massa específica básica .....	77
5.2.3.2	Dimensões das fibras e suas relações .....	79
5.2.4	Velocidade de Propagação das Ondas de Tensão .....	82
5.3	INTER-RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ESTUDADAS .....	84
5.3.1	Inter-relações entre as Variáveis Estudadas para a Área Experimental I: Sítio de Crescimento .....	84
5.3.1.1	Inter-relações entre as variáveis estudadas para a área experimental I: Sítio Esterco .....	91

5.3.2 Inter-relações entre as Variáveis Estudadas para a Área Experimental II:	
Espaçamento.....	96
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>101</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>102</b>
<b>8 ANEXOS.....</b>	<b>115</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DA MADEIRA DE ALGUMAS CONFÍFERAS.....	09
TABELA 02 - DIMENSÕES DE FIBRAS DE ALGUMAS CONÍFERAS NA MADEIRA ADULTA.....	11
TABELA 03 - VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE DE <i>Pinus taeda</i> .....	18
TABELA 04 - VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO .....	57
TABELA 05 - VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E GRANULOMÉTRICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO .....	60
TABELA 06 - VALORES MÉDIOS DA PROFUNDIDADE EFETIVA DO SOLO DE CADA SÍTIO .....	63
TABELA 07 - CONCENTRAÇÃO FOLIAR MÉDIA DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES DE CADA SÍTIO .....	64
TABELA 08 - VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES DE <i>Pinus taeda</i> AMOSTRADAS PARA CADA SÍTIO .....	67
TABELA 09 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PONDERADA MÉDIA NOS DIFERENTES SÍTIOS.....	68
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS E SUAS RELAÇÕES NAS ÁRVORES AMOSTRADAS PARA CADA SÍTIO.....	69
TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES EM PÉ E NAS TORAS AMOSTRADAS PARA CADAS SÍTIO .....	71
TABELA 12 - CONCENTRAÇÃO FOLIAR MÉDIA DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES DE CADA ESPAÇAMENTO E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO.....	73
TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES DE <i>Pinus taeda</i> AMOSTRADAS PARA CADA ESPAÇAMENTO E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO.....	76
TABELA 14 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PONDERADA MÉDIA NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO.....	77



TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS E SUAS RELAÇÕES NAS ÁRVORES AMOSTRADAS PARA CADA ESPAÇAMENTO E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO.....	79
TABELA 16 - VALORES MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES EM PÉ E NAS TORAS AMOSTRADAS PARA CADA ESPAÇAMENTO E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO.....	82
TABELA 17 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO DE CRESCIMENTO .....	85
TABELA 18 - AUTOVALORES DAS DEZ PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO DE CRESCIMENTO .....	87
TABELA 19 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO DE CRESCIMENTO .....	88
TABELA 20 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO ESTERCO .....	92
TABELA 21 - AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO ESTERCO .....	93
TABELA 22 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO ESTERCO.....	94
TABELA 23 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - ESPAÇAMENTO .....	96
TABELA 24 - AUTOVALORES DAS OITO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II: ESPAÇAMENTO.....	97
TABELA 25 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - ESPAÇAMENTO .....	98

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 - ESQUEMA DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DENTRO DA ÁRVORE ( <i>Pinus radiata</i> ).....	06
FIGURA 02 - ESQUEMA DE UMA FIBRA .....	09
FIGURA 03 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE FIBRAS NO SENTIDO RADIAL DE ÁRVORES DE <i>Pinus</i> spp.....	10
FIGURA 04 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE FIBRAS DE <i>Pinus taeda</i> E <i>Pinus elliottii</i> AO LONGO DO TRONCO .....	11
FIGURA 05 - FIBRAS DE LENHO INICIAL E TARDIO.....	12
FIGURA 06 - VARIAÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS DE <i>Pinus taeda</i> E <i>Pinus elliottii</i> AO LONGO DO TRONCO.....	13
FIGURA 07 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DAS AMOSTRAS .....	42
FIGURA 08 - SÍTIOS DE ESTUDO LOCALIZADOS NA FAZENDA ESTERCO (A), LAGEADO (B) E JARARACA (C) .....	43
FIGURA 09 - AMOSTRAGEM DO SOLO A GRANEL (A) E ATRAVÉS DE ANÉIS VOLUMÉTRICOS (B) NOS SÍTIOS ESTUDADOS .....	44
FIGURA 10 - COLHEITA MANUAL DAS ÁRVORES.....	46
FIGURA 11 - VISTA PARCIAL DAS TORAS SECCIONADAS E IDENTIFICADAS .....	46
FIGURA 12 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DAS AMOSTRAS.....	47
FIGURA 13 - VISTA PARCIAL DO PLANTIO EXPERIMENTAL (TALHÃO) .....	48
FIGURA 14 - COLHEITA MECANIZADA DAS ÁRVORES.....	50
FIGURA 15 - VISTA PARCIAL DAS TORAS SECCIONADAS E IDENTIFICADAS .....	50
FIGURA 16 - APARELHO UTILIZADO PARA A MEDIÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO.....	54
FIGURA 17 - MEDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁRVORES EM PÉ (A) E EM TORAS (B).....	55
GRÁFICO 1 - TEOR FOLIAR DE ZINCO NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS .....	75
GRÁFICO 2 - DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.....	77
GRÁFICO 3 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PONDERADA NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.....	78
GRÁFICO 4 - LARGURA DAS FIBRAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.....	80

GRÁFICO 5 - DIÂMETRO DO LUME DAS FIBRAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.....	81
GRÁFICO 6 - ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.....	81
GRÁFICO 7 - ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DAS FIBRAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.....	82
GRÁFICO 8 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO NA TORA 1 NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.....	83
GRÁFICO 9 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO NA TORA 2 NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.....	84

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - VALORES IDEAIS DOS ÍNDICES OBTIDOS ATRAVÉS DAS RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DAS FIBRAS PARA FABRICAÇÃO DE PAPEL.....	15
QUADRO 02 - CARACTERÍSTICAS DOS PLANTIOS DOS SÍTIOS ESTUDADOS .....	42
QUADRO 03 - CARACTERÍSTICAS DOS TRATAMENTOS ESTUDADOS .....	48
QUADRO 04 - CONCENTRAÇÕES FOLIARES DE NUTRIENTES ADEQUADAS PARA <i>Pinus taeda</i> .....	65

## RESUMO

O presente trabalho analisa os efeitos de diferentes sítios de crescimento e espaçamentos na qualidade da madeira de *Pinus taeda*, além de testar a técnica não destrutiva de aplicação de ondas de tensão para estimativa das características da madeira, verificando a viabilidade de utilização da mesma como ferramenta para seleção de árvores em pé e toras. Para o estudo de crescimento, foram analisados três sítios com árvores de 14, 16 e 18 anos de idade. Para a caracterização do sítio foram realizadas coletas de amostras em cinco horizontes, sendo coletadas amostras indeformadas e compostas; em cada sítio foram selecionadas cinco árvores, com estas ainda em pé, foram realizadas medições do tempo de propagação de ondas de tensão, através do aparelho “Stress Wave Timer”, também foram medidos altura total e comercial, DAP (diâmetro à altura do peito) e retirados discos em cinco posições ao longo do fuste; posteriormente, nas toras recém abatidas, efetuaram-se novamente as medições do tempo de propagação das ondas de tensão; também foram coletadas acículas do terço médio da copa de cada árvore, para realização das análises de estado nutricional das plantas. Para o estudo dos espaçamentos, foram analisados nove espaçamentos com árvores de 21 anos de idade, o material utilizado neste estudo foi proveniente de plantio experimental, implantado dentro de um mesmo sítio, por esta razão, não houve necessidade de caracterização deste sítio; em cada espaçamento foram selecionadas cinco árvores e realizadas as mesmas medições e coletas do estudo relacionado aos sítios de crescimento. De maneira geral, as madeiras provenientes de sítios com taxa de crescimento elevado, sítios com textura mais argilosa, apresentaram maiores valores para massa específica, fibras mais curtas, mais largas, com diâmetros maiores e paredes mais espessas e, conseqüentemente, maiores valores para índice de Runkel e fração parede e menores valores para coeficiente de flexibilidade e índice de enfeitramento. No que diz respeito aos espaçamentos, o aumento desta variável propiciou menores valores para massa específica, fibras menos largas, com menores diâmetros de lume e menores espessuras da parede e, conseqüentemente, maiores valores para índice de enfeitramento. Correlações significativas entre o tempo e a propagação das ondas e as demais características avaliadas nas árvores em pé e toras foram detectadas, indicando que a técnica pode ser empregada para determinação indireta destas características, com precisão, eficiência e rapidez na obtenção dos resultados.

## ABSTRACT

The present paper analyses the effects of different growing sites and spacings on the quality of the *Pinus taeda* wood, as well as testing the non-destructive technique of stress wave application for estimating the wood's properties, evaluating the viability of its use as a tool for selection of standing trees and logs. For the study of the growing, three sites containing 14, 16 and 18-year-old trees were analysed. For the characterization of the sites, collection of undeformed and compound soil samples was done in five different soil layers. In each site, five trees were selected. On these standing trees measurements of propagation time of stress waves was done by using the "Stress Wave Timer" device, total and commercial height as well as the CHD (chest high diameter) were measured and discs were taken from five different positions along the trunk. Afterwards, measurements of propagation time of stress waves were done on these newly cut logs. Needles were also collected from the middle third of the crown of each tree for analysis of the nutritional state of the plants. For the spacings study, nine spacings were analysed on 21-year-old trees. The material used in this study comes from an experimental plantation. Because it was only one site, the characterization of this site was not done. Five trees were selected in each spacing and measurements and collections were performed like those done in the growing sites. In relation to the growing sites in general, the wood that comes from fast growing rate, rather clayey texture sites, shows higher value for specific mass, shorter and broader fibres with a larger diameter and thicker walls and, consequently, higher values for Runkel index and fraction wall and lower values for coefficient of flexibility and felting index. In relation to the spacings, the increase of this variable caused lower values for specific mass, lower broader fibres with a lower lumen diameter and a smaller wall thickness and, consequently, higher values for felting index. Significant correlations between the waves propagation time and the other properties assessed on the standing trees were detected, thus showing that the technique can be accurately, efficiently and briefly applied for indirect estimate (non-destructive) of these properties.

## 1 INTRODUÇÃO

Nossas florestas são recursos extremamente valiosos. Além de seu valor estético e recreacional, a floresta serve como fonte de matéria-prima para uma lista sempre crescente de produtos de madeira e fibras utilizados pela sociedade. A madeira tem sido usada por séculos como moradia, proteção, combustível e matéria-prima e, como a população humana mundial cresce exponencialmente, o estoque de florestas no planeta diminuirá (PUEHRINGER, 1999).

Além da falta de matéria-prima, outro fator que preocupa os consumidores é a variada qualidade da madeira produzida que, em geral, não atende aos padrões exigidos pelos produtos. Os principais problemas relacionados com o processamento e a utilização de florestas plantadas manejadas no Brasil estão relacionados principalmente com as diferentes propriedades devido ao crescimento acelerado (MATOS, 2002).

Diante de questões importantes e complexas que compõem o contexto do planejamento da produção de madeira, tornam-se indispensáveis as informações relacionadas à qualidade da madeira que será produzida em função dos sítios de crescimento e espaçamentos iniciais de plantio, como uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão.

Neste cenário, a avaliação não destrutiva pode contribuir significativamente provendo informações necessárias para caracterizar acuradamente os recursos madeireiros, funcionando como peça fundamental no manejo dos recursos florestais, assegurando a qualidade do produto final e o seu uso mais adequado. Além de que, a aplicação de tecnologias inovadoras como a de emissão de ondas de tensão na avaliação da qualidade da madeira, pode transformar em material de maior valor econômico para outros setores, as árvores plantadas comercialmente para produção de fibras, ampliando substancialmente o mercado para a madeira.

Com base nestes dados, pode-se aplicar uma mentalidade de aproveitamento por usos múltiplos da madeira. Conduzindo esta floresta com dupla finalidade, o direcionamento para utilização em serrarias, laminadoras e faqueadeiras, com geração de produtos de alto valor agregado, focados na exportação, com o passaporte da certificação florestal pelo FSC e buscando a maximização do resultado econômico, o fortalecimento dos pólos madeireiros e o estabelecimento

dos pólos moveleiros, contribuindo socialmente na geração de empregos e renda. Com isso, diminuindo as pressões ambientais, principalmente internacionais, pela preservação das florestas nativas remanescentes; e desenvolvendo projetos industriais com a matéria-prima produzida de forma sustentável, com localização estratégica próximas aos maiores centros industriais, de consumo de produto final e exportação.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, por meio de método não destrutivo de emissão de ondas de tensão.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ü Investigar as inter-relações entre qualidade dos sítios florestais e suas relações com as características das fibras da madeira;
- ü Investigar as inter-relações entre espaçamentos diferenciados e suas relações com as características das fibras da madeira;
- ü Avaliar a eficiência da utilização do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão na classificação de árvores e toras de madeira em classes de qualidade;
- ü Relacionar as propriedades da madeira e as variáveis do método de emissão de ondas de tensão, o tempo e a velocidade de propagação das ondas;
- ü Estabelecer relação entre a velocidade de propagação de ondas de tensão em árvores e toras, relacionada com a qualidade dos sítios florestais e o espaçamento.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 QUALIDADE DA MADEIRA

O conceito da qualidade da madeira, que evoluiu ao longo dos tempos, é hoje encarado como um conceito dinâmico que integra o conjunto de características anatômicas, físicas, químicas e de resistência que conferem aptidão à madeira para determinado uso final (BIRKLAND, 1990).

A madeira é um material biológico cuja variabilidade constitui uma das características principais, ao contrário da maioria dos materiais de origem não biológica. Esta variabilidade, que resulta do processo normal de formação do lenho, existe entre árvores de diferentes espécies, entre árvores da mesma espécie e dentro da própria árvore. Em sentido lato, é ela que proporciona a grande diversidade de utilizações da madeira e torna possível escolher entre as várias espécies aquela que melhor satisfaz as exigências de cada uso final. No entanto, esta mesma variabilidade, quando encarada ao nível individual ou dentro da mesma espécie, representa um inconveniente da madeira como material (BIRKLAND, 1990).

DUFFIELD (1961) afirma existirem grandes diferenças nas propriedades da madeira, e que o conhecimento da variação dentro das espécies é incompleto, devido à multiplicidade e interação das causas de variação. Estas causas podem ser classificadas como controladas geneticamente, ambientalmente e posicionalmente (posição no tronco). O autor classifica estas variações em dois grupos: fatores internos (inerentes à árvore) e fatores externos (inerentes ao ambiente e práticas silviculturais).

Embora o conceito de qualidade possa ser difícil de explicar, vários fatores influenciam a adequação da madeira para diversos propósitos. Esses fatores incluem massa específica, uniformidade de anéis de crescimento, percentagem de cerne e alburno, comprimento da fibra, inclinação de grã, percentagem de vasos em folhosas, presença de madeira juvenil e de reação, além da composição celular, presença de nós, orientação da grã e composição química (CHIES, 2005).

As características da madeira são resultantes da interação entre o potencial hereditário da árvore e as condições ambientais. No que diz respeito ao ambiente, a influência de alguns de seus fatores sobre as propriedades da madeira tem sido alvo

de muitas avaliações. Entre as principais características da madeira que são afetadas por estas interações, destacam-se as percentagens de lenhos nas coníferas, massa específica básica, características morfológicas das fibras, composição química e teores de madeira juvenil e adulta (BRITO, 1983).

Atualmente no Brasil, devido à necessidade de se obter usos mais adequados para as espécies florestais, especialmente as de rápido crescimento, há intensificação no estudo da qualidade da madeira dando ênfase a pesquisas sobre massa específica, orientação da grã, comprimento de fibras, resistência mecânica e características tecnológicas destas espécies em relação a produtos e processos, para a correta utilização das mesmas.

## 3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

### 3.2.1 Massa Específica

Dentre os parâmetros empregados na avaliação da qualidade da madeira, a massa específica tem merecido atenção especial como decorrência de sua íntima relação com algumas importantes características tecnológicas e econômicas. Entre elas, pode-se citar, a alteração dimensional, resistência mecânica das peças, produção e qualidade da polpa, produção e qualidade do carvão vegetal; bem como os custos operacionais ligados ao transporte e armazenamento da madeira.

A massa específica da madeira é tida pelas indústrias de base florestal, como uma das mais importantes propriedades por ser de fácil determinação e por estar correlacionada com rendimentos e características de diversos produtos, além de ser alterada através de práticas silviculturais e manipulada geneticamente (ZOBEL, 1961).

Esta propriedade física, definida como a relação entre o peso seco da madeira e o seu volume obtido acima do ponto de saturação das fibras, é resultante das características químicas, anatômicas e morfológicas (BARRICHELO, 1979; SHIMOYAMA, 1990; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000).

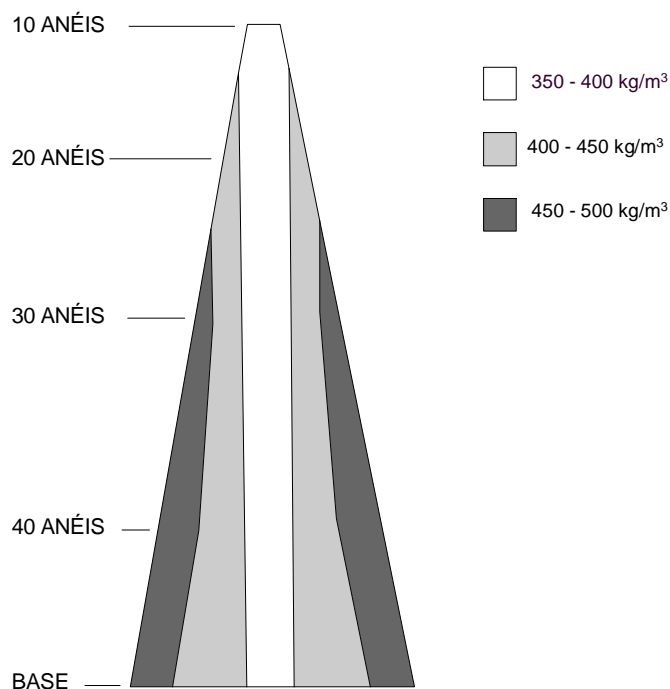
Sabe-se que a massa específica está relacionada diretamente a outras propriedades da madeira, sendo, portanto, um importante índice de qualidade. A massa específica influencia a higroscopicidade, a contração e o inchamento, as

propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, elétricas e outras propriedades básicas, bem como as propriedades relacionadas ao processamento industrial da madeira.

Segundo MORESCHI (1977), além de ser um excelente índice de quantidade de substância lenhosa contida num pedaço de madeira, a massa específica, em termos anatômicos é uma função da proporção entre o volume das paredes celulares e o volume de seus lumes que, conseqüentemente, é afetada pelas suas dimensões médias, pela quantidade de extrativos da madeira e outros componentes não fibrosos, tais como, os raios e o tecido medular.

A respeito da variabilidade da massa específica, deve-se considerar as variações existentes em função da taxa de crescimento, local de origem, espaçamento, idade, procedência, entre gêneros, espécies, entre árvores da mesma espécie, dentro da mesma árvore e ainda no sentido base-topo e medula-casca, conforme ilustrado na figura 01.

FIGURA 01 - ESQUEMA DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DENTRO DA ÁRVORE (*Pinus radiata*)



FONTE: COWN e McCONCHIE (1980)

MITCHELL<sup>1</sup> citado por HIGA et al. (1973), ao estudar espécies do gênero *Pinus* no sul dos Estados Unidos, relatou que a massa específica era influenciada pela taxa de crescimento.

BAKER e SHOTTAFER (1970), desenvolveram estudos com *Pinus resinosa* tomados ao acaso em dez blocos com diferentes espaçamentos. Os resultados indicaram uma tendência de aumento na massa específica com o aumento do espaçamento.

MENDONÇA (1982) estudando diferentes idades de *Pinus elliottii* concluiu que a idade tem influência na massa específica básica média da madeira das árvores. Uma menor idade implicou em uma menor percentagem de lenho tardio e, conseqüentemente, uma menor massa específica básica. O autor concluiu também que, a massa específica básica decresce da base para o ápice da árvore, independente de idade, parecendo ser relacionado principalmente à percentagem de lenho tardio, que diminuiu significativamente nessa direção.

Das informações disponíveis na literatura conclui-se que, para as espécies do gênero *Pinus*, o modelo de variação mais comum, para a massa específica, é decrescente com a altura (JOHNSTONE, 1970; HEGHER, 1974; PEARSON; GILMORE, 1980; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000) e crescente com a idade, no sentido medula-casca (LARSON, 1969; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000).

### 3.3 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

#### 3.3.1 Dimensões das Fibras

Segundo HUGHES (1973), o principal objetivo da investigação anatômica é verificar a relação existente entre as características estruturais da madeira e seu uso. As dimensões das fibras, por exemplo, são indicadores importantes das propriedades de uma determinada espécie de madeira e sua adequação para a fabricação de um tipo específico de papel. Estas exercem influência direta nas variáveis de processo, principalmente no grau de refino, na qualidade da pasta e,

---

<sup>1</sup>MITCHELL, H. L. **Breeding for high-quality wood**. Madison: USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory, 1956. 13p. (Research Paper, 2050).

conseqüentemente, nas resistências físicas e mecânicas do papel (FOELKEL, 1976; BARRICHELO, 1979; SHIMOYAMA, 1990; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003).

Para se obter um entendimento das propriedades da madeira e seu comportamento, torna-se necessário o estudo da anatomia da madeira, a ultraestrutura da parede celular e suas variações. As propriedades da madeira e de produtos a base de madeira estão fortemente correlacionados com a estrutura anatômica desta (ZOBEL et al., 1959; DINWOODIE, 1965).

Um dos primeiros estudos deste tipo foi realizado na Austrália por BAKER e SMITH (1924), que verificaram as dimensões das fibras de *Eucalyptus* sp para pesquisar as possibilidades do seu uso na produção de papel. A este trabalho seguiram-se numerosos estudos realizados por DADSWELL (1939), WARDROP (1951) e BAMBER (1980).

É importante enfatizar que o termo fibras é, tecnicamente, utilizado para espécies de folhosas, sendo denominado de traqueídeos ou traqueóides para coníferas. Entretanto, por ser mais fácil, adota-se o termo fibras em ambas as situações, principalmente nas indústrias de produtos de base florestal (MEGRAW, 1985). Na presente pesquisa, o termo fibras será utilizado para se referir aos traqueóides de *Pinus taeda* e de outras espécies de coníferas.

As madeiras de coníferas apresentam uma estrutura relativamente simples constituída por dois tipos de células: células de raio e fibras axiais. As fibras axiais constituem cerca de 90 a 95% da madeira, enquanto que as células de raio correspondem a uma faixa de apenas 5 a 10% (SJÖSTRÖM, 1981). As fibras axiais são células compridas e delgadas, com extremidades afinadas e dotadas de pontoações que permitem a passagem de líquidos entre as células. Cumpre a dupla função de transportar líquidos e servir de sustentação à estrutura lenhosa, sendo que, correspondem às células de maior comprimento nas coníferas (BURGER; RICHTER, 1991; DUEÑAS, 1997).

Para uma melhor visualização da diferenciação na composição volumétrica em coníferas, são apresentados alguns dados a respeito na tabela 01, de acordo com PANSHIN e ZEEUW (1970).

TABELA 01 - COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DA MADEIRA DE ALGUMAS CONÍFERAS

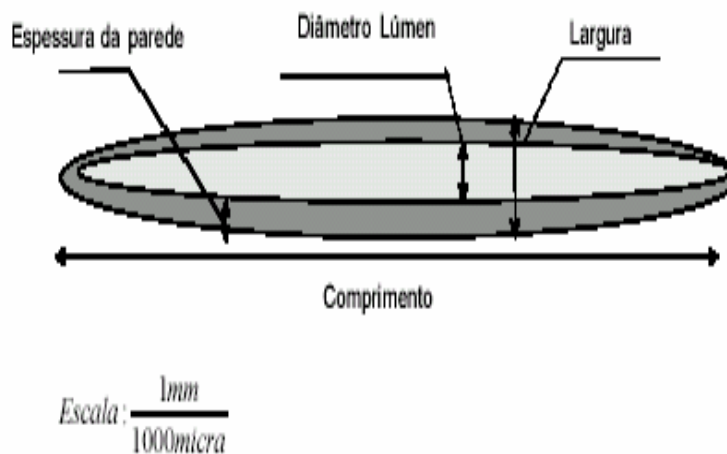
ESPÉCIES	FIBRAS	CÉLULAS	RAIOS	CANAIS DE	PARÊNQUIMA
	LONGITUDINAIS	DE RAIOS	FUSIFORMES	RESINA	LONGITUDINAL
%					
<i>Pinus strobus</i> <sup>1</sup>	93,0	6,00	-	1,00	-
<i>Pinus strobus</i> <sup>2</sup>	93,3	5,29	0,76	0,93	-
<i>Pinus cembra</i> <sup>2</sup>	89,8	9,24	1,20	0,94	-
<i>Pinus nigra</i> <sup>2</sup>	94,1	5,49	0,76	0,38	-
<i>Pinus pinaster</i> <sup>2</sup>	93,3	6,22	0,60	0,93	-
<i>Pinus sylvestris</i> <sup>2</sup>	93,0	6,41	0,93	0,58	-
<i>Picea abies</i> <sup>2</sup>	94,1	5,95	0,77	0,14	-
<i>Larix decidua</i> <sup>2</sup>	93,4	6,13	0,66	0,42	-
<i>Abies alba</i> <sup>2</sup>	92,6	7,45	-	-	-
<i>C. sempervirens</i> <sup>2</sup>	94,2	5,58	-	-	0,20
<i>J. excelsa</i> <sup>2</sup>	91,5	8,26	-	-	0,26

NOTAS: <sup>1</sup>Árvores desenvolvidas nos Estados Unidos da América; <sup>2</sup>Árvores desenvolvidas na Iugoslávia.

FONTE: PANSIN e ZEEUW (1970)

Os parâmetros considerados nos estudos de fibras compreendem quatro medidas fundamentais: comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume, esquematizados na figura 02.

FIGURA 02 - ESQUEMA DE UMA FIBRA

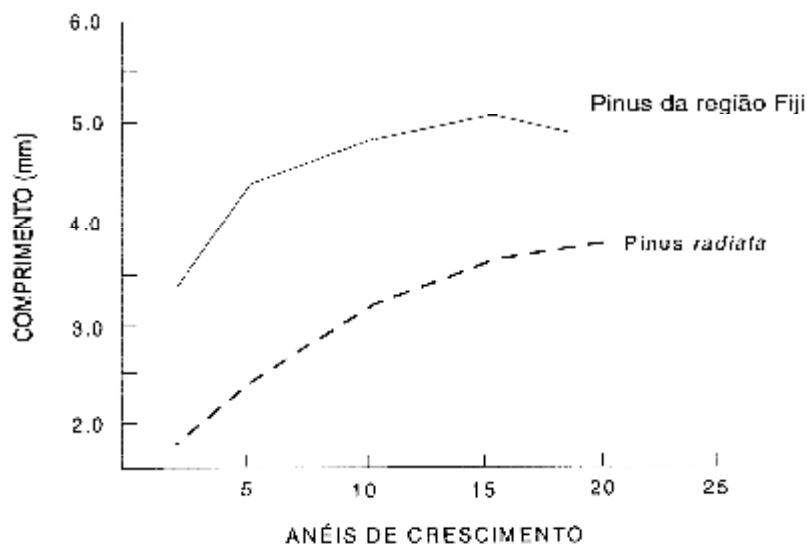


FONTE: Adaptado de SHIMOYAMA (2005)

As dimensões das fibras são controladas por diferentes processos fisiológicos, variando dentro da árvore nos sentidos radial e axial, que segundo BARRICHELO (1979), são as variações mais significativas. O comprimento das fibras é diretamente influenciado pelas divisões longitudinais-tangenciais que ocorrem no câmbio. Estas, por sua vez, são controladas pela taxa de hormônios da árvore a qual está ligada a

sazonalidade, às condições ambientais e a fatores genéticos, dentre outros. Quando as condições são propícias para um maior crescimento, a taxa de hormônios aumenta, induzindo as células cambiais a rápidas divisões. Assim, não há tempo suficiente para o incremento em comprimento da fibra antes da próxima divisão, sendo observadas fibras mais curtas em períodos de alto ritmo de crescimento (PANSIN; ZEEUW, 1970; SHIMOYAMA, 1990). Esta propriedade também é influenciada pela idade da árvore. Com o aumento da idade, as células cambiais passam a produzir células com maiores dimensões até atingirem a estabilização em idades mais avançadas (TOMAZELLO FILHO, 1985). Dessa forma, há um aumento do comprimento de fibras no sentido medula-casca, com fibras mais curtas na região interna do tronco, ou seja, na madeira juvenil (BARRICHELO, 1979; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000). Esta variação está ilustrada na figura 03.

FIGURA 03 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE FIBRAS NO SENTIDO RADIAL DE ÁRVORES DE *Pinus* spp



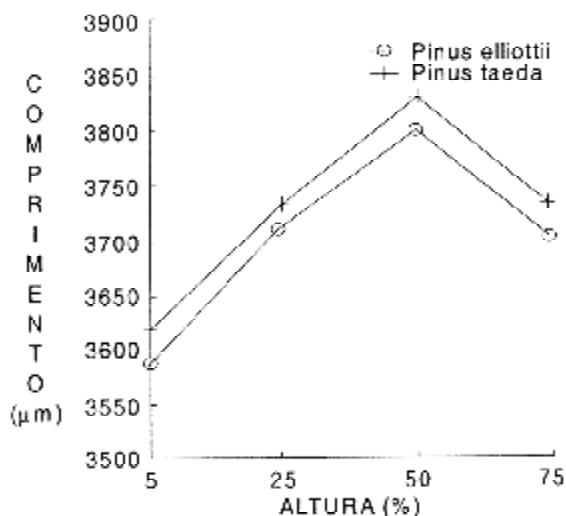
FONTE: COWN e McCONCHIE (1980)

As espécies do gênero *Pinus* apresentam, no sentido axial, tendência de aumento do comprimento de fibras até o meio do tronco, decrescendo a partir daí, em direção à copa (MENDONÇA, 1982; MUÑIZ, 1993). Esta redução axial no comprimento das fibras deve-se à alta concentração de hormônios de crescimento (auxinas) nas regiões próximas à copa, induzindo os meristemas apicais,



responsáveis pelo crescimento em altura, a divisões aceleradas das células que antes de atingirem seu comprimento potencial, sofrem nova divisão. A figura 04 ilustra o esquema de variação do comprimento de fibras ao longo do tronco.

FIGURA 04 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE FIBRAS DE *Pinus taeda* E *Pinus elliottii* AO LONGO DO TRONCO



FONTE: MUÑIZ (1993)

O comprimento das fibras, de modo geral, encontra-se numa faixa entre 3 e 5 mm, entretanto, varia conforme a espécie, desde 1,18 mm em *Juniperus osteosperma* até 7,39 mm em *Sequoia sempervirens* (PANSKIN; ZEEUW, 1970). O comprimento de forma geral, é cerca de 100 vezes ou mais sua largura, segundo THOMAS (1991), como pode ser observado nos exemplos apresentados na tabela 02.

TABELA 02 - DIMENSÕES DE FIBRAS DE ALGUMAS CONÍFERAS NA MADEIRA ADULTA

ESPÉCIE	COMPRIMENTO MÉDIO	DIÂMETRO TANGENCIAL MÉDIO
	mm	μm <sup>2</sup>
<i>Sequoia sempervirens</i>	7,39 (1,0) <sup>1</sup>	50 - 65
<i>Pinus taeda</i>	4,33 (0,9) <sup>1</sup>	35 - 45
<i>Picea</i> sp.	3,81 (0,5) <sup>1</sup>	25 - 30
<i>Thuja</i> sp.	1,18 (0,3) <sup>1</sup>	15 - 20

NOTAS: <sup>1</sup> Desvio padrão; <sup>2</sup> Micrômetro.

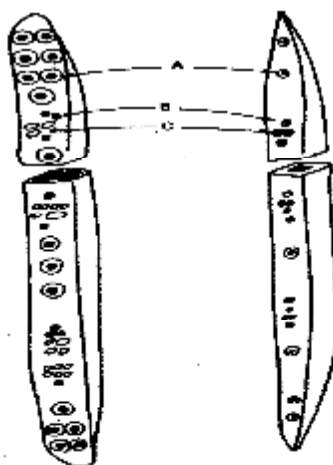
FONTE: THOMAS (1991)

A largura (diâmetro externo) e o diâmetro do lume (diâmetro interno), também são propriedades influenciadas pela taxa de crescimento e pela idade das árvores.

Em períodos de alta taxa de crescimento, as fibras produzidas pela região cambial são largas, com acentuados diâmetros do lume. Como as árvores apresentam uma alta taxa de crescimento nos primeiros 10 a 12 anos de idade e, posteriormente, tendem a estagnar, as fibras mais largas e com maiores diâmetros do lume estão mais restritas à região interna do tronco, ou seja, na madeira juvenil (BARRICHELO, 1979; PANSIN; ZEEUW, 1970; COWN, 1992; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000). E, no sentido base-topo, há um aumento de ambas as dimensões, influenciadas pelo crescimento apical e pela copa da árvore (COWN, 1975).

Considerando-se o sentido lenho inicial-lenho tardio, o diâmetro das células torna-se menor enquanto que a parede celular torna-se mais espessa. Ao final do período de crescimento, fibras com lumes e diâmetros radiais pequenos são desenvolvidas, enquanto que, no início do período de crescimento subsequente, fibras com lumes e diâmetros grandes são desenvolvidas pela árvore. Estas mudanças são visíveis a olho nu, como um anel anual de crescimento. Esta variação é ilustrada na figura 05.

FIGURA 05 - FIBRAS DE LENHO INICIAL E TARDIO



LENHO INICIAL    LENHO TARDIO

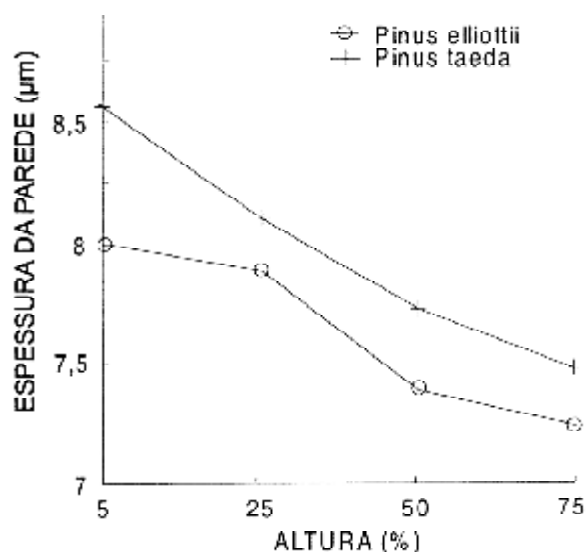
NOTAS: A: Pontoações areoladas entre fibras; B: Pontoações areoladas entre fibra axial e radial; C: Pontoações pinóides entre fibra e raio parenquimático.

FONTE: CHIMELO (1989)

Com respeito à espessura da parede, uma fibra é formada pelas paredes primária e secundária. Durante o crescimento em comprimento (crescimento superficial), a fibra apresenta apenas a parede primária, a parede secundária se

forma após o crescimento superficial ter cessado e seu espessamento ocorre com a deposição de carboidratos, principalmente quando o crescimento da árvore é lento (SHIMOYAMA, 1990). Igualmente às demais dimensões, a espessura da parede também é influenciada por fatores genéticos e ambientais. No sentido axial, da base para o topo das árvores, há uma redução na espessura da parede das fibras com o aumento na largura e diâmetro do lume, influenciado pelo crescimento em altura (BARRICHELO, 1979; MUÑIZ, 1993). A variação axial da espessura da parede das fibras para espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* é ilustrada na figura 06.

FIGURA 06 - VARIAÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS DE *Pinus taeda* E *Pinus elliottii* AO LONGO DO TRONCO



FONTE: MUÑIZ (1993)

A espessura da parede celular também é afetada pela idade da árvore, apresentando um aumento linear com o incremento da idade, portanto, o tecido cambial mais velho, produz também células com características adultas, apresentando maior espessura da parede (COWN, 1980). Dessa forma, as coníferas tendem a aumentar a espessura da parede do centro (madeira juvenil) para a região externa do tronco (madeira adulta) (BARRICHELO, 1979; COWN, 1992; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003).

Tanto no sentido radial, quanto axial, a espessura da parede apresenta variação oposta à largura e diâmetro do lume das fibras, indicando que as fibras

mais largas e com os maiores diâmetros de lume apresentam paredes mais delgadas (PANSHIN; ZEEUW, 1970; BARRICHELO, 1979; SHIMOYAMA, 1990).

Muitas vezes, as dimensões de fibras, isoladamente, podem não apresentar correlações significativas com a qualidade do produto final. Porém, ao agrupá-las as influências são mais acentuadas, podendo ser obtidas correlações significativas, este agrupamento resulta em índices que auxiliam na interpretação da qualidade da madeira e da pasta (Quadro 01).

Os principais índices são:

- a) Índice de Runkel (IR): definido como sendo a relação entre a espessura da parede (EP) e o diâmetro do lume da fibra (DL). Este índice apresenta alta correlação negativa com a largura das fibras devido à relação inversa entre a espessura da parede e a largura das fibras, conseqüentemente, fibras mais largas apresentam, em geral, menor espessura da parede e menor índice de Runkel (COWN, 1975; KIBBLEWHITE; LLOYD, 1983).
- b) Fração Parede (FP): definida pela relação percentual entre a espessura da parede (EP) e a largura da fibra (L). Este índice, assim como, o índice de Runkel, encontra-se relacionado à rigidez da fibra, isto é, quanto maior os seus valores, mais rígida pode se tornar a fibra e, dependendo do grau, a rigidez das fibras pode exercer influências sobre as propriedades mecânicas do papel (FOELKEL, 1976).
- c) Coeficiente de Flexibilidade (CF): definido pela relação entre o diâmetro do lume (DL) e a largura da fibra (L).
- d) Índice de Enfeltramento (IE): definido pelo quociente entre o comprimento (C) e a largura da fibra (L). Este índice, assim como, o coeficiente de flexibilidade, mede o quão flexíveis são as fibras e sua capacidade de entrelaçamento, sendo, portanto, índices importantes para fabricação de celulose e papel e, se correlacionam de forma negativa com a espessura da parede das fibras (FOELKEL, 1976; KLOCK, 2000). O índice de enfeltramento também apresenta relação inversa com a largura da fibra e, como a largura é altamente relacionada ao diâmetro do lume, conseqüentemente, há uma correlação negativa entre índice de enfeltramento e diâmetro do lume.

QUADRO 01 - VALORES IDEAIS DOS ÍNDICES OBTIDOS ATRAVÉS DAS RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DAS FIBRAS PARA FABRICAÇÃO DE PAPEL

ÍNDICE	VALOR IDEAL	EFEITOS
Runkel	< 0,5	Maior resistência a tração
Fração Parede	< 40 %	Fibras menos rígidas e maior resistência a tração
Coefficiente de Flexibilidade	> possível	Maior resistência a tração e ao estouro
Índice de Enfeltramento	> possível	Fibras mais espessas e maior resistência ao rasgo

FONTE: FOELKEL (1976)

### 3.4 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

#### 3.4.1 Fatores Inerentes a Madeira

##### 3.4.1.1 Teor de umidade

A umidade pode ser definida como a quantidade de água presente em uma amostra em relação a sua massa (KOLLMANN, 1959; BIERMANN, 1996).

A determinação da massa específica aparente depende do peso do material tomado a um certo teor de umidade. Variações do teor de umidade causam variações do peso da peça de madeira. Deste modo, é fácil perceber a alta influência que o teor de umidade exerce sobre a massa específica. Também o volume poderá sofrer alteração devido a contrações ou inchamentos da peça de madeira (KOLLMANN, 1950).

Grande parte do peso de uma árvore e, em alguns casos a maior parte dele, se deve à presença da água, preenchendo os espaços vazios celulares e intercelulares do lenho, impregnando as paredes das células e participando de sua constituição química.

A umidade interfere nas propriedades da madeira reduzindo sua resistência mecânica, seu poder calorífico e, por outro lado, facilitando a trabalhabilidade, aumentando o rendimento e qualidade da polpa celulósica e, aumentando a susceptibilidade ao ataque de fungos.

##### 3.4.1.2 Espécie

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura interna. Deste modo, diferentes espécies possuem massas específicas diferentes. As diferenças de

arranjo dos tecidos, dimensões de lume das células e espessura das paredes celulares determinam valores próprios de massa específica para cada espécie de madeira. Salienta-se que a resistência da madeira está estreitamente relacionada com sua massa específica.

Esta variabilidade em valores de massa específica pode ocorrer ainda dentro de uma mesma espécie, dependendo da região onde a árvore cresce. Portanto, os valores de massa específica representam valores médios para a espécie, sendo importante, quando da sua determinação, uma amostragem adequada das árvores (KLOCK, 2000).

Entretanto, devido à interação espécie-ambiente, as espécies podem apresentar comportamentos contrastantes quando plantadas em ambientes distintos. Portanto, os resultados observados em um determinado ambiente não podem ser extrapolados para outros ambientes (KAGEYAMA; CASTRO, 1989).

#### 3.4.1.3 Idade

DADSWELL e NICHOLLS (1960), em pesquisas realizadas na Austrália, observaram que a variação das propriedades da madeira em função da idade deve ser levada em consideração para os estudos de qualidade. Pois, observaram que, rotações florestais longas beneficiam a qualidade e o rendimento, proporcionando maiores diâmetros das toras, acarretando em maiores rendimentos no desdobro, madeira mais estável pela maior presença de cerne e produtos de maior valor pela proporção de madeira limpa de qualidade superior.

#### 3.4.1.4 Posição no tronco

Segundo COWN (1974), a natureza das células da madeira é grandemente influenciada pela idade real do tecido cambial e, deste modo, zonas distintas de madeira podem ser percebidas dentro da árvore, dependendo da posição da madeira em relação ao centro do tronco e ao topo da árvore.

Isto foi comprovado pelas pesquisas clássicas de SÂNIO (1872), que mostrou a variação no comprimento das fibras em *Pinus sylvestris*, dependendo de sua posição no tronco. O comprimento das fibras aumenta até um máximo na direção medula-

casca e quanto mais próximo da base do tronco. O mesmo acontece, em geral, para a percentagem de lenho tardio, massa específica e conteúdo de celulose.

De maneira geral, a árvore forma anéis de crescimento mais largos no seu interior, próximo à medula, e anéis estreitos na parte mais externa, próximo à casca. Ocorrem variações de percentagem de lenho inicial e tardio, resultando em variações de massa específica (KLOCK, 2000).

Outro aspecto importante relacionado com a posição no tronco é a ocorrência da madeira juvenil e da madeira adulta em espécies de rápido crescimento. A grande diferença entre os dois tipos de lenho está na massa específica, sendo que, a madeira juvenil é bem mais leve, de menor massa específica, apresentando menor resistência que a madeira adulta, de maior massa específica (PANSIN; ZEEUW, 1970).

Ao longo do tronco ainda existem grandes variações da massa específica, encontrando-se um valor máximo na base do tronco, onde são requeridos tecidos de sustentação mais rígidos. A massa específica decresce à medida que se distancia da base em direção à copa, sendo que, tal variabilidade ocorre entre indivíduos nos sentidos longitudinal e radial (SPURR; HSIUNG<sup>2</sup> citados por KLOCK, 2000).

#### 3.4.1.5 Madeira juvenil

Devido ao rápido crescimento, as espécies do gênero *Pinus*, plantadas no Sul do País, atingem dimensões de comercialização ainda muito jovens. De acordo com PEARSON e GILMORE (1971), a madeira das árvores jovens difere daquela de árvores mais velhas, devido à maior percentagem de madeira juvenil das primeiras.

PANSIN e ZEEUW (1970), definiram as madeiras adulta e juvenil. A madeira juvenil é aquela formada próxima à medula da árvore, caracterizada pelo progressivo aumento nas dimensões, pela mudança das características e pelo arranjo das células. A madeira adulta possui células de tamanho relativamente constante, padrão estrutural bem desenvolvido, com comportamento físico estável.

A madeira juvenil difere da adulta pela menor percentagem de lenho tardio, menor massa específica, fibras mais curtas com maiores ângulos fibrilares,

---

<sup>2</sup>SPURR, S.H.; HSIUNG, W. Growth rate and specific gravity in conifers. *J. For.*, v. 52, n 3, p. 191-192, 1954.

ocasionalmente lenho de reação, grã distorcida e depósitos de metabólitos (LARSON et al., 2001).

No caso de *Pinus taeda*, estima-se que em uma árvore de 15 anos de idade, 40% da madeira seja constituída por madeira juvenil, e que aos 40 anos de idade, cerca de 25% (TSOUMIS, 1991).

Segundo KELLINSON (1981), a proporção de madeira juvenil numa tora, é dependente da idade de corte, como pode-se observar na tabela 03, comparando as percentagens de madeira juvenil em *Pinus taeda* de diferentes idades.

TABELA 03 - VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE DE *Pinus taeda*

IDADE (anos)	PERCENTAGEM DE MADEIRA JUVENIL	
	EM PESO SECO (%)	EM VOLUME (%)
15	76	85
25	50	55
45	15	19

FONTE: KELLINSON (1981)

Apesar da madeira juvenil, em geral, apresentar anéis anuais de crescimento largos, este aspecto não está necessariamente associado à madeira juvenil, já que existem outras variáveis que podem determinar o estado juvenil da madeira, como fatores silviculturais, de manejo, da plantação ou fatores genéticos (TSOUMIS, 1991). A localização da madeira juvenil no fuste é discutida por muitos pesquisadores, estimando-se que está compreendida em uma faixa entre o quinto e o vigésimo anel anual de crescimento (PANSWIN; ZEEUW, 1970). Não obstante, investigações realizadas na Nova Zelândia para *Pinus radiata*, indicam que a madeira juvenil pode ser identificada como aquela que se encontra até o décimo anel anual de crescimento. Entretanto, isto não representa um bom indicativo, visto que fortes variações foram determinadas de acordo com a procedência do indivíduo, tendo-se a madeira juvenil compreendida até o décimo quinto anel ou ainda, localizada na zona interna aos dez primeiros anéis (COWN, 1980). Assim, vários fatores podem incidir sobre a formação da madeira juvenil, como o sítio, técnicas de manejo florestal e tratamentos silviculturais.

A mudança das características da madeira juvenil para adulta não se dá de forma abrupta, mas sim gradativamente, de maneira que sua demarcação não é muito clara. O período de formação da madeira juvenil varia segundo a espécie e



condições de crescimento, conforme as observações de BENDTSEN (1978), e muitas características como o comprimento das fibras, espessura da parede celular, massa específica, ângulo das fibras, resistência e outras, vão se modificando até atingirem uma certa estabilidade na madeira adulta.

#### 3.4.1.6 Largura e uniformidade dos anéis de crescimento

Algumas características da madeira são empregadas como indicadores de suas propriedades desde o início de sua utilização, devido à fácil visualização. Dentro destas características destaca-se a configuração dos anéis de crescimento, juntamente com a formação do cerne e o aspecto superficial (KNIGGE; SCHULTZ, 1966). Na maioria das coníferas a largura dos anéis de crescimento é facilmente identificável em corte transversal e pode ser indicadora de muitas características e do comportamento da madeira, tais como, a regularidade e distribuição de determinadas propriedades, manutenção da forma depois de trabalhada, nodosidade interna, massa específica e propriedades mecânicas.

Obviamente as condições de crescimento influenciam drasticamente as dimensões dos anéis de crescimento e, mudanças abruptas nestas condições contribuem para taxas não uniformes de crescimento radial. Taxas desuniformes de crescimento no período juvenil não influenciam diretamente a qualidade da madeira, estão associadas a outras características que contribuem para a qualidade dos produtos de madeira sólida (LARSON et al., 2001).

Para conseguir uniformidade dos anéis de crescimento, uma taxa constante de incremento deve ser mantida não somente no período juvenil, mas também durante a transição de lenho juvenil para adulto. Uma taxa uniforme de crescimento, entretanto, não significa que os anéis terão as mesmas dimensões. É obviamente impossível manter a igualdade dos anéis já que a árvore cresce circunferencial e volumetricamente. O que uniformidade significa é que os anéis decrescem com a idade da árvore, tendo constante a taxa de crescimento estabelecida na formação da madeira juvenil (LARSON et al., 2001).

De acordo com KLOCK (2000), de forma geral, para folhosas de porosidade em anel e coníferas de rápido crescimento que crescem em sítios normais, a correlação entre as propriedades mecânicas e a largura dos anéis anuais de crescimento tem

validade, se bem que os valores fornecidos só podem ser considerados como uma estimativa bastante superficial, que pressupõe ainda grande variação. Outros autores aconselham utilizar como parâmetro para o julgamento da qualidade da madeira de coníferas de rápido crescimento o uso, bem como a regularidade e largura dos anéis de crescimento.

Segundo KNIGGE e SCHULTZ (1966), existem grandes variações de largura nos anéis de crescimento dentro de uma árvore, tanto no plano transversal como em função de sua altura. Estes autores observaram valores máximos de largura nos anéis de crescimento no ápice e na base das árvores crescidas em maciços florestais, localizando-se a zona de largura média, mais regular, na posição a um terço da altura da árvore.

#### 3.4.1.7 Percentagem de lenho tardio

A proporção entre os lenhos inicial e tardio é uma variável freqüentemente observada em numerosos estudos sobre a qualidade da madeira. Muitos autores determinaram esta proporção, mostrando correlações significativas com a massa específica, propriedades de resistência e outros fatores, como espécie, sítio e idade.

O lenho inicial corresponde ao incremento da árvore no período vegetativo, quando a atividade do vegetal é intensa, as células apresentam paredes finas e lumes grandes e adquirem no conjunto uma coloração clara e, em conseqüência, menor massa específica. O lenho tardio se forma no final do período vegetativo, quando as árvores diminuem suas atividades vitais, as células são de paredes espessas e lumes reduzidos e, no conjunto, apresentam aspecto mais escuro, com maior massa específica (PANSHIN; ZEEUW, 1970).

A percentagem de lenho tardio é a característica da madeira mais facilmente determinada e, por isso, a mais utilizada. Por ser altamente relacionada com a massa específica da madeira e por proporcionar um índice visual de resistência e propriedades estruturais, é uma característica muito utilizada como regra de classificação em qualidade de madeira.

Esta distinção no crescimento do lenho mais evidenciado em coníferas exerce importante influência na massa específica média da árvore. Em folhosas o contraste entre as massas específicas dos lenhos inicial e tardio é menos evidente (KLOCK,

2000). De acordo com BROWN et al. (1952), o efeito do lenho tardio na massa específica é devido ao fato deste conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume. Isto se torna evidente em madeiras de coníferas com transição abrupta de lenho inicial e tardio, e em madeiras de folhosas com porosidade em anel.

Pesquisas realizadas por GURFINKEL (1973) indicaram que a percentagem de lenho tardio influencia diretamente a massa específica e a resistência da madeira.

Segundo KNIGGE e SCHULTZ (1966), a quantidade de lenho tardio é de grande importância para as propriedades mecânicas da madeira, sobretudo tratando-se de espécies que possuem pronunciadas diferenças de massa específica entre as zonas de lenho inicial e tardio. Existe uma alta correlação entre a massa específica e a percentagem de lenho tardio, como foi visto anteriormente, sendo de se esperar que, quanto maior for a percentagem deste, tanto maior será a massa específica e a resistência da madeira.

MUÑIZ (1993) estudando a percentagem de lenho tardio de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, observou que os primeiros anéis formados em árvores de rápido crescimento, na direção medula-casca, são largos e a faixa de lenho tardio é estreita. À medida que se aproxima da casca, a percentagem de lenho tardio aumenta de maneira significativa, sendo mais proeminente na região da base da tora.

#### 3.4.1.8 Inclinação da grã e nodosidade

A inclinação da grã é a medida do desvio dos tecidos componentes da madeira em relação ao eixo longitudinal da peça. Se uma peça contendo tecidos axiais em um determinado ângulo do eixo longitudinal é sujeita aos esforços de tração ou compressão, o efeito dos componentes de força acompanha a direção da grã e a madeira se torna mais fraca nesta direção do que ao longo do eixo longitudinal da peça. A inclinação excessiva da grã é também indesejável, porque torna a madeira mais frágil e aumenta sua tendência para o empenamento com a variação no teor de umidade (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; GURFINKEL, 1973). KNIGGE e SCHULTZ (1966), afirmam que uma pequena modificação na inclinação da grã redundará em

acentuada perda de resistência, sendo mais afetada a resistência à tração, seguida pela resistência à flexão estática e à compressão.

A grã espiralada é uma ocorrência comum em coníferas e usualmente segue uma espiral à esquerda, isto é, inclinada à esquerda em relação ao eixo axial da árvore. É uma característica herdada variando consideravelmente entre as árvores e entre as espécies. Entretanto, em todas as espécies, algumas árvores apresentam propensão à formação da grã espiralada nos anéis de crescimento próximos à medula, sendo que, a tendência desaparece nos anéis mais velhos, podendo persistir nas árvores de crescimento extremamente rápido (LARSON et al., 2001). No gênero *Pinus*, isto é comum, aparecendo em muitas espécies, porém, em algumas espécies como *Pinus taeda*, tem pouca importância (BAMBER; BURLEY, 1983).

Outra importante fonte de variação da madeira é a presença dos nós, e sua frequência, tamanho, posição e o tipo (vivo ou morto), que determinam a qualidade da madeira, principalmente para obtenção de produtos sólidos. O nó é definido como uma porção do galho que foi incorporado no tronco da árvore e consiste basicamente de fibras de madeira de compressão, as quais são morfologicamente diferentes das fibras de madeira normal. A madeira que compreende a região de nós apresenta desvios acentuados de suas células, formando elevado ângulo de grã, irregularidades dos anéis de crescimento, além de descontinuidade entre o nó e a madeira circundante, resultando em redução da resistência (THUNELL, 1958). Os nós também apresentam baixo teor de umidade, com uma massa específica básica duas vezes maior que aquela de madeira normal e alto teor de extrativos (SAHLBERG, 1995), influenciando também as características superficiais da madeira como, por exemplo, o aparecimento de rachaduras. Por este motivo, BROWN (1979), considerou os nós o mais sério defeito para a madeira de *Pinus radiata*.

#### 3.4.1.9 Madeira de reação

O crescimento das árvores, sob um padrão normal, produz fustes retos e verticais, contudo, quando estes são forçados fora deste padrão, por meio de inclinações ou curvaturas ocasionadas pelo vento ou forças gravitacionais, formam-

se tecidos lenhosos anormais em determinadas regiões da árvore, sendo denominados como madeira de reação (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; FENGEL; WEGENER, 1989).

Nas coníferas, tais tecidos formam-se na parte inferior de um fuste inclinado ou curvado, recebendo a denominação de madeira de compressão. Nas folhosas, entretanto, os tecidos de reação ocorrem na região superior de uma inclinação ou curvatura no tronco e, na região superior dos galhos, sendo chamada madeira de tração (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

A massa específica desta madeira é usualmente tida como mais alta que a da madeira normal, possivelmente pela maior proporção de lenho tardio nos anéis de crescimento. Entretanto, a massa específica do lenho tardio da madeira de compressão é ligeiramente menor que a da madeira normal devido aos espaços intercelulares, maiores diâmetros de lumes e a estrutura espiralada na parede secundária (LARSON et al., 2001).

### 3.4.2 Fatores Inerentes ao Meio

#### 3.4.2.1 Sítio de crescimento

Sítio, em termos florestais, pode ser definido como uma área de terras, com a combinação dos atributos do solo, topografia, clima e fatores bióticos. Já a qualidade de sítio, como a capacidade produtiva de uma área de terras para uma espécie ou várias espécies. Pode ser expressa em termos de altura total de árvores dominantes a uma idade índice, quando a qualidade de sítio é expressa em termos de altura em uma idade, isto é chamado de índice de sítio (COILE, 1952).

A qualidade do sítio é o fator seguinte ao espaçamento em grau de importância, afetando tanto o crescimento como a formação da madeira. O sítio varia grandemente na área de ocorrência de uma espécie, mas em todos os casos, a qualidade da madeira pode ser relacionada com a resposta ao crescimento. Ou seja, bons sítios de crescimento, ricos em nutrientes e com umidade adequada, produzem madeiras com características de rápido crescimento; enquanto que, sítios pobres ou deficientes em umidade produzem árvores com características de crescimento lento (LARSON et al., 2001).

Assim, como os efeitos do espaçamento podem ser modificados pelo uso de práticas silviculturais, tais como o desbaste, os efeitos da qualidade do sítio também podem ser amenizados pelo uso da adubação e da irrigação e drenagem (LARSON et al., 2001).

A produtividade do sítio é regulada entre outros fatores, pela quantidade e disponibilidade de materiais abióticos utilizados no crescimento das árvores. Os principais materiais abióticos são a água e os nutrientes, os quais têm sua qualidade e disponibilidade, intimamente relacionadas com as propriedades do solo (GONÇALVES et al., 1990; GONÇALVES; BENEDETTI, 2000).

Muitos autores relatam que o sítio interfere diretamente na qualidade da madeira (ZOBEL et al., 1960; LANTZ; HOFMANN, 1969; ZOBEL et al., 1972).

SCHULTZ (1997) e RIGATTO (2002), relataram que as características dos sítios afetaram a massa específica básica da madeira e as dimensões das fibras. Em seus estudos, os autores relataram que árvores provenientes de sítios mais produtivos apresentaram menor massa específica básica e alterações nas dimensões das fibras, quando comparados a madeira proveniente de sítios de menor produtividade.

BIERMANN (1996) também estudando este assunto, relatou que as árvores que possuíam crescimento mais lento, ou seja, que se desenvolvem em sítios pouco produtivos, tenderam a apresentar fibras com comprimento maior e baixo teor de lignina na composição da madeira.

BURGER e RICHTER (1991), sugerem que estas desigualdades nas propriedades tecnológicas da madeira estão associadas às condições do local de crescimento. Porém, outras variáveis também podem influenciar a qualidade da madeira conforme mencionado por SANTINI et al. (2000), que relatam que as intervenções silviculturais e de manejo também contribuem para as desigualdades tecnológicas da madeira.

#### 3.4.2.2 Taxa de crescimento

De acordo com YAO (1970), a influência da taxa de crescimento nas propriedades da madeira não é claramente definida, existindo contradições. O autor estudou a influência da taxa de crescimento, avaliando a massa específica,

percentagem de lenho tardio e inicial em quarenta árvores de *Pinus taeda*, concluindo que a taxa de crescimento apresentou pouca influência na massa específica, e que as diferenças normalmente encontradas são devido à maior percentagem de lenho tardio observado em árvores que apresentam uma menor taxa de crescimento.

ERICKSON e HARRINSON (1974), citam que súbitas estimulações ao crescimento, normalmente, resultam em um aumento na percentagem de lenho inicial e, conseqüentemente, em uma redução na massa específica e no comprimento das fibras.

HARRIS (1963) relata a tendência decrescente da massa específica na madeira de *Pinus radiata*, com o aumento da taxa de crescimento em diâmetro.

BAMBER e BURLEY (1983), consideram que a taxa de crescimento por si só não altera significativamente as propriedades da madeira, porém altera a proporção de madeira juvenil e adulta nas toras de dimensões comerciais.

FUJIWARA e YANG (2000), observaram em *Pinus banksiana*, *Picea mariana*, *Picea glauca* e *Abies balsamea*, correlação entre o comprimento das fibras e a taxa de crescimento em circunferência, sendo a relação negativa. Os autores concluíram que, a taxa de crescimento em circunferência é um bom indicador do efeito do crescimento da árvore no comprimento das células da madeira em coníferas.

As investigações de possíveis diferenças na qualidade da madeira, como decorrência da taxa de crescimento, têm-se sucedido através dos anos. Entretanto, os resultados encontrados na literatura são bastante conflitantes para que possam permitir e justificar a elaboração de métodos e técnicas florestais específicos (CHIES, 2005).

#### 3.4.2.3 Localização geográfica

Vários trabalhos sobre o relacionamento da variação das características anatômicas com a ecologia e sua influência na qualidade da madeira foram realizados. HARRIS (1977), por exemplo, mostrou que a massa específica em *Pinus radiata* está relacionada com a altitude e, COWN (1974) encontrou uma variação de 30% na massa específica em *Pinus radiata*, devido a efeitos de latitude na Nova Zelândia. As variações ecológicas influenciando nas dimensões das células

constituintes da madeira foram analisadas por CARLQUIST (1975, 1977) e revisadas por BAAS (1976).

Em um estudo sobre a variação nas características de crescimento de *Pinus densiflora*, KIM e HAN (1997), encontraram correlações positivas entre o crescimento em altura dos plantios e a latitude. Porém, também foi observada correlação negativa entre o crescimento em altura e a longitude.

A madeira juvenil é afetada aparentemente em um menor grau que a madeira adulta em se tratando da localização geográfica do sítio de plantio. LARSON et al. (2001), concluíram que a gama de valores de massa específica para a madeira juvenil de *Pinus taeda* menor que a da madeira adulta e, que as tendências devidas à localização geográfica não foram evidentes.

#### 3.4.2.4 Práticas silviculturais

A influência de práticas silviculturais na qualidade da madeira foi estudada por numerosos pesquisadores, tais como, SMITH (1968), LARSON (1969), RUDMAN e MCKINNEL (1970), NICHOLLS (1971), COWN (1974), OHTA (1981) e CHIES (2005). Entre os fatores estudados encontraram-se o espaçamento, poda, irrigação, desbaste e adubação. De uma maneira geral, parece haver consenso em que uma prática silvicultural aplicada intensamente, pode afetar a qualidade da madeira.

##### 3.4.2.4.1 Espaçamento

A escolha do espaçamento tem como principal objetivo proporcionar para cada árvore o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo (CHIES, 2005).

No manejo do plantio, a densidade é determinada pelo estoque inicial e, posteriormente, pela frequência e intensidade dos desbastes. A densidade inicial do plantio é uma decisão da área de manejo com importantes conseqüências sobre a quantidade e qualidade do produto final. Uma vez o plantio instalado, as práticas silviculturais podem modificar o estoque inicial para determinado fim, porém, estas práticas são caras e pouco efetivas (LARSON et al., 2001).



Segundo SCOLFORO (1997), com relação à qualidade da madeira, o espaçamento influi nos seguintes aspectos: tamanho dos nós, retidão do tronco, conicidade e massa específica básica. O tamanho e quantidade de nós na madeira serrada dependem de sua posição na tora e das características da tora que, por sua vez, dependem de fatores genéticos, do espaçamento do plantio e do manejo a que foi submetido.

PONCE (1983) afirma que o espaçamento tem um efeito modesto na qualidade da madeira, mas pode ter efeito significativo na qualidade da árvore e volume produzidos.

De acordo com CARDOSO (1989), povoamentos muito densos tendem naturalmente a apresentar árvores de diâmetro menor se comparadas com árvores de povoamentos pouco densos, onde a concorrência por espaço é menor e o crescimento em diâmetro é mais acentuado.

Segundo PATIÑO-VALERA (1986), o espaçamento ótimo é capaz de fornecer o maior volume do produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis, sendo função do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado.

#### 3.4.2.4.2 Desbaste

O efeito do desbaste na qualidade da madeira é variável. Depende do estoque inicial, da idade das árvores, sítio e muitas outras condições de crescimento.

O objetivo principal do desbaste em qualquer idade é aumentar a taxa de crescimento promovendo o desenvolvimento da copa. Para maximizar a qualidade da madeira nos plantios jovens, um balanço ótimo deve ser buscado entre as taxas de crescimento do tronco e de desenvolvimento da copa, de modo a promover a competição e a desrama natural.

Desta maneira, desbastes pesados ou freqüentes nos plantios jovens promovem o crescimento dos galhos baixos, atrasam a desrama natural, provocam o estreitamento das toras, aumentam a proporção de lenho inicial no anel de crescimento, aumentam a tendência de formação de madeira de reação, assim como, outras características das madeiras de rápido crescimento. Desbastes leves ou tardios em plantios de alta densidade inicial produzirão respostas quanto à

qualidade da madeira. Do ponto de vista da qualidade da madeira, algumas respostas serão benéficas, porém, a custo do crescimento volumétrico individual das árvores do plantio (LARSON et al., 2001).

De acordo com FUJIWARA e YANG (2000), desbastes severos estão correlacionados com a redução da massa específica e comprimento das fibras, além de um possível aumento do lenho de compressão.

#### 3.4.2.4.3 Poda

O objetivo da poda de galhos verdes é reduzir a copa das árvores em pleno crescimento simulando uma condição de crescimento mais lento. A poda severa em que muitos galhos são removidos ao mesmo tempo, causa reajustes pronunciados no crescimento da árvore.

Devido a pequena copa residual, o crescimento em altura da árvore é temporariamente diminuído. Principalmente, porque os galhos baixos da nova copa iniciam seu crescimento e aumentam seu vigor. O crescimento radial na base da tora da árvore severamente podada é reduzido, e a altura em que o anel de crescimento ocorre na árvore passa a ser a nova base da copa.

Juntamente a estas mudanças no tamanho do anel de crescimento, a percentagem de lenho tardio e a massa específica aumentam na mais baixa tora. Todas essas respostas podem ser associadas a uma copa menor e menos vigorosa e tronco livre de galhos. Em árvores jovens, a poda tende a acelerar a transição da madeira juvenil para a adulta na formação dos anéis de crescimento abaixo da base da nova copa.

Em muitos pontos as respostas de crescimento devidas à poda são opostas às aquelas causadas pelo desbaste. Porém, da mesma maneira que no desbaste, os efeitos causados são de vida curta. Dependendo da quantidade de galhos vivos removida, o quadro de crescimento retorna às condições normais em questão de poucos anos (LARSON et al., 2001).

Os benefícios da poda de galhos verdes são: produzir toras retas ou troncos com nós pequenos e bem presos à madeira, e ainda um pequeno núcleo nodoso confinado ao centro das toras. Outros benefícios subordinados a estes são o

aumento do diâmetro da tora da base, e o aumento da percentagem de lenho tardio e da massa específica nesta tora.

Como considerações econômicas pode-se dizer que um efeito negativo da poda é o crescimento dos galhos da nova base da copa e a conseqüente redução do valor econômico das toras superiores da árvore (LARSON et al., 2001).

Segundo SCHULTZ (1986), a poda de galhos de crescimento vigoroso, acelera a transição da madeira juvenil à adulta abaixo do ponto de poda, podendo incrementar a massa específica em cerca de 5% nesta porção do tronco.

SCHILLING et al. (1998), estudando a influência de diferentes intensidades de poda sobre a percentagem de lenho tardio e quantidade de nós na madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii*, em povoamentos com 10 anos, não encontraram influência significativa da desrama sobre aquelas características.

#### 3.4.2.4.4 Adubação

É difícil generalizar os efeitos da adubação na qualidade da madeira devido a um grande número de fatores que afetam esta relação, bem como ao fato de os estudos sobre o tema não terem condições de ensaio semelhantes.

Afirmações gerais podem ser feitas, entretanto, relacionadas ao crescimento do tronco e da copa. Os seus efeitos são de certa forma aquém dos observados após o desbaste. Se é promovido o crescimento em altura e o desenvolvimento da copa, um crescimento da madeira é esperado, acompanhado do incremento de lenho inicial e formação das fibras de transição, e em função disto, observa-se um decréscimo na percentagem de lenho tardio e na massa específica da madeira. Se por outro lado, a massa foliar e a eficiência fotossintética forem promovidas ou se o crescimento sazonal for prolongado, a percentagem de lenho tardio deve ser mantida apesar do aumento do anel de crescimento.

De fato, a maioria dos estudos conduzidos sobre o crescimento de algumas espécies florestais do Sul dos EUA em sítios razoavelmente bons, indicaram que tanto a percentagem de lenho tardio quanto a massa específica não são adversamente afetados pela adubação. Se, entretanto, a adubação for pesada e aplicada freqüentemente, reduções significativas podem ocorrer na percentagem de lenho tardio e na massa específica da madeira (LARSON et al., 2001).

De maneira geral, sobre o efeito da adubação, embora não pareça ser negativo sobre a qualidade da madeira, muitos pesquisadores tem mostrado que ocorre diminuição na massa específica e comprimento das fibras, podendo a redução na massa específica diminuir a resistência da madeira. O efeito da adubação sobre a massa específica parece estar limitado a fertilizantes a base de nitrogênio, para os quais a redução de 3 a 7% na massa específica tem sido observada.

Entretanto, COWN (1980) não considera esse efeito de importância prática. As árvores saudáveis e vigorosas apresentem formas superiores resultantes da adubação, e assim tenham um aproveitamento superior no desdobro, comparada as de desenvolvimento lento e, geralmente, de forma ruim.

#### 3.4.2.4.5 Irrigação e drenagem

As respostas de crescimento relacionadas à irrigação são similares às aquelas relacionadas à adubação. Ou seja, a resposta depende da época do ano em que é fornecida água ao plantio. Conseqüentemente, a irrigação no início da estação de crescimento favorecerá o crescimento em altura e o desenvolvimento da copa, que promovem o desenvolvimento de lenho inicial; por outro lado, a irrigação feita no final da estação de crescimento prolongará a atividade cambial na formação de lenho tardio. Na maioria dos estudos sobre irrigação, a água é fornecida ao longo de toda a estação de crescimento, resultando em grande crescimento e em anéis de crescimento maiores. Como são formados tanto lenho inicial como tardio, os efeitos na massa específica da madeira são negligenciáveis (LARSON et al., 2001).

Na prática a água deve ser fornecida quando necessária. Como a umidade do solo é um fator limitante no final da estação de crescimento, a irrigação neste período promoverá a formação de lenho tardio aumentando assim a massa específica da madeira (LARSON et al., 2001).

### 3.5 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

Por definição, avaliação não destrutiva de materiais é a ciência que identifica as propriedades físicas e mecânicas de um material qualquer sem alterar sua

capacidade de uso futuro, e usa estas informações para tomar decisões a respeito das aplicações apropriadas para o material avaliado (ROSS et al., 1999).

De acordo com GABRIEL (2000), as técnicas não destrutivas utilizadas na madeira diferem em seu propósito daquelas empregadas para materiais isotrópicos e homogêneos como o metal, a cerâmica, o plástico. Para esses materiais, que durante o processo industrial de produção são controladas e conhecidas as propriedades mecânicas, os métodos não destrutivos visam detectar somente a presença de descontinuidades e vazios.

O campo dos ensaios não destrutivos para madeira e produtos compostos de madeira está ainda no início de seu desenvolvimento. É necessário obter-se muito mais conhecimento antes de se tornar possível a predição das qualidades de um material. Considerando, por exemplo, a largamente utilizada relação entre a força e o módulo de elasticidade (MOE) dos produtos de madeira, pode-se esperar apenas correlações parciais entre estas duas variáveis como foi afirmado, a quase meio século atrás, que não há relação teórica entre força e dureza. Isto porque uma falha localizada controla a força do material, enquanto dureza é uma expressão de efeitos integrados de todas as características do material (BODIG, 2001).

Todo método não destrutivo usa alguma forma de propagação de energia através ou em volta de um material para deduzir algumas características importantes do material examinado. Essa energia pode resultar de cargas estáticas ou dinâmicas, ou pode ser gerada por ondas eletromagnéticas ou elásticas (SCHAD et al., 1996).

O desenvolvimento científico de técnicas de avaliação não destrutiva de materiais se deu a partir da proposta feita por JAYNE<sup>3</sup> citado por PELLERIN (1965) que lançou a hipótese fundamental da teoria de aplicação desses testes para a madeira. Em seus estudos ele conseguiu demonstrar uma relação entre a energia potencial e as propriedades de dissipação na madeira. Ele propôs que a armazenagem e dissipação de energia e as propriedades da madeira, que podem ser obtidas não destrutivamente por uma grande variedade de técnicas e dinâmicas, são controladas pelo mesmo mecanismo que determina o desempenho mecânico

---

<sup>3</sup>JAYNE, B. A. Vibrational properties of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 9, n. 11, p. 413-416, 1959.

desses materiais. Conseqüentemente, relações matemáticas entre essas propriedades mecânicas puderam ser estabelecidas com métodos estatísticos de análise de regressão (MATOS, 1997).

Estes ensaios não destrutivos podem ser aplicados para: pesquisa básica e coleta de dados; avaliação da qualidade de produtos; predição da estabilidade química; e avaliação de componentes estruturais “in situ”.

As vantagens que os métodos não destrutivos apresentam sobre os métodos tradicionais são: a possibilidade de utilização posterior da peça testada; a rapidez de aplicação do método; a confiabilidade dos valores apresentados que permitem o sortimento peça a peça e uma garantia das suas propriedades físico-mecânicas individuais e do conjunto de peças com um limite de segurança mais adequado, contribuindo todos esses fatores para uma economia financeira e de matéria-prima.

Nessa linha de raciocínio chama-se a atenção para a vantagem dos métodos acústicos de determinação de propriedades mecânicas da madeira, capazes de fornecer resultados confiáveis que podem ser facilmente comparados com os resultados fornecidos pelas demais metodologias (PUEHRINGER, 1999).

### 3.5.1 Métodos de Avaliação Não Destrutiva das Propriedades da Madeira

Quase todos os métodos de ensaio não destrutivo usados normalmente para diversos materiais podem ser aplicados para a avaliação da madeira e de produtos compostos de madeira. A escolha depende da aplicação específica e da adaptabilidade (ROSS et al, 1998).

Estes métodos podem ser baseados em princípios auditivos: propagação do som, ultra-som, infra-som; em medidas: instrumentos de medidas, células fotoelétricas, radiação, campo eletromagnético, condutividade elétrica, testes eletromagnéticos, testes vibracionais, além da penetração de líquidos (PUEHRINGER, 2002).

#### 3.5.1.1 Métodos visuais

É o mais simples e mais antigo método de ensaio não destrutivo. Muitas avaliações atualmente ainda baseiam-se inteiramente na observação visual e nas

interpretações subjetivas dessas observações. Quando a observação visual detecta a presença de exudação de conteúdos ou ataques de agentes biológicos, freqüentemente são aplicados testes mecânicos para analisar as propriedades de resistência do material analisado (BODIG, 2001).

É um método bastante útil, porém, apresenta limitações. Obtêm-se apenas valores qualitativos, sendo que as reais condições podem ser ocultadas, uma vez que a avaliação fica condicionada às faces exteriores da madeira, não garantindo com certeza a performance da madeira durante seu uso. Outra limitação encontra-se nas diferenças de acuidade visual e treinamento ou experiência do pessoal encarregado pela avaliação (MATOS, 2002).

#### 3.5.1.2 Métodos químicos

Esses métodos consistem na avaliação da composição química da madeira ou de outros materiais, e eficiência de tratamentos como preservativos e retardantes de fogo. Além da avaliação residual de produtos, estes testes propiciam também a avaliação da degradação química de madeira atacada por fungos decompositores.

#### 3.5.1.3 Métodos mecânicos

Este foi um dos pioneiros e mais populares métodos não destrutivos. Uma das vantagens de sua aplicação é a rapidez na obtenção de dados. Segundo NIELSEN (1998), a classificação está baseada no princípio de correlação entre a resistência, representada pelo módulo de ruptura, e a elasticidade da madeira em ensaio de flexão estática, representada pelo módulo de elasticidade. Neste método, a peça de madeira (viga ou tábua) é flexionada por poucos instantes na máquina de classificação por classes de resistência (*stress grade machine*), o necessário para medir seu valor de rigidez, o qual viabiliza estimar a resistência à flexão da peça pela correlação MOE e MOR. O parâmetro não destrutivo mais utilizado tem sido o MOE, algumas vezes associado à massa específica aparente como outra variável independente na mesma equação.

Na elaboração de classes de esforços é possível adotar o conceito básico de que a resistência da viga de uma determinada espécie é proporcional à resistência

dos corpos de prova livres de defeitos. Os valores MOE e MOR obtidos para os corpos-de-prova livres de defeitos podem ser utilizados para a determinação dos valores correspondentes aos limites das classes de esforços.

#### 3.5.1.4 Métodos físicos

Entre os diversos testes físicos de avaliação não destrutiva incluem-se a resistência elétrica, resistência física à penetração de materiais, raio-x, propriedades ópticas, vibracionais e acústicas, destacando-se as técnicas:

##### 3.5.1.4.1 Pilodyn

O Pilodyn é um equipamento que mede a resistência da madeira à penetração de materiais. Este método fornece informações como as condições físicas de postes, árvores, toras, elementos estruturais, dentre outros. A aplicação consiste na introdução gradual de um pino no material. A resistência oferecida pelo material durante a introdução é registrada em um computador e descrita na forma de gráfico, cujas coordenadas são a medida de penetração (mm) e unidades arbitrárias de resistência (%). Com as informações obtidas, é possível calcular a massa específica da madeira (GORNIAK; MATOS, 2000).

##### 3.5.1.4.2 Técnicas vibracionais

A teoria da técnica de vibração prediz que todos os materiais possuem uma frequência natural de vibração. Um significativo desvio desta vibração teórica natural é um indicador de possível dano ou defeito neste material (GÖRLACHER, 1984).

##### 3.5.1.4.3 Técnicas ópticas

Entre as técnicas ópticas destacam-se o UVvis (ultravioleta visível), scanner, laser, infravermelho espectro, infravermelho fundamental (IR) e especialmente o infravermelho próximo (NIR - near infrared).



A espectroscopia de infravermelho próximo é baseada na absorção pelo material de luz infravermelho próximo (comprimento de ondas de 750 a 2500 nm). Quando um material é irradiado com luz infravermelha há vibrações moleculares. A energia absorvida é específica para diferentes tipos e intensidades de vibrações e depende do meio químico dos grupos moleculares. Portanto, diferentes moléculas e grupos moleculares absorvem radiação com energia diferente, isto é, com diferentes comprimentos de ondas. A reflectância da luz para cada comprimento de onda é medida com um espectrômetro e é utilizada para o cálculo da absorção. O espectro de absorção obtido fornece informações sobre as moléculas ou grupos moleculares envolvidos (SO et al., 2004). O espectro na região infravermelho próximo não é de fácil interpretação, pois contém um alto número de bandas de fortes sobreposições, entretanto, o mesmo contém informação sobre a molécula toda ou o sistema molecular. A energia absorvida pelo material é correlacionada com a propriedade desejada. No entanto, este método apresenta alguns aspectos que dificultam determinadas análises, entre os quais destacam-se:

- a) Necessidade de uma curva do espectro para associar a cada material a ser analisado e no caso da madeira varia de acordo com a espécie, idade, ritmo de crescimento e tipo de amostra (sólida, serragem, disco, bagueta, dentre outras);
- b) Qualquer erro de determinação da variável para formação da curva de calibração é levado para o método;
- c) Necessidade de ajuste/calibração para cada propriedade a ser avaliada;
- d) Proporciona uma avaliação superficial e pontual na madeira, apenas onde a luz penetra, não detectando defeitos ou vibrações internas.

#### 3.5.1.4.4 Técnicas acústicas

##### 3.5.1.4.4.1 Ultra-som

O ultra-som como método não destrutivo é similar às ondas de tensão, porém, aplicado com frequências mais altas. É um método muito utilizado para materiais homogêneos e não porosos para detecção de falhas (BUCUR, 1985).

Sabe-se bem que os produtos compostos de madeira são criados e fabricados com o objetivo de fornecer chapas com propriedades mecânicas determinadas e adequadas a usos específicos. A estimativa da anisotropia destes compostos é um ponto a ser estudado. A anisotropia e a heterogeneidade das camadas das chapas de dimensões comerciais podem ser expressas em termos de classes de velocidades de propagação das ondas acústicas. Com os recentes avanços tecnológicos dos transdutores, a produção e inspeção de qualquer tipo de produto requer um entendimento do fenômeno de propagação acústica no material em ensaio. A influência da variedade da frequência das ondas, a propagação nas vigas de diversas formas geométricas, a pressão de contato dos transdutores, a intensidade de impacto para emissão da onda podem ser controlados simultaneamente e muitos parâmetros passageiros da forma e velocidade da onda podem ser verificados (BUCUR, 1999).

Assim, este método tem seu uso mais efetivo no controle de qualidade industrial para detectar delaminações em painéis laminados e bolhas nos painéis de partículas, graças a sua característica de poder ser concentrado em pequenas áreas de aplicação de onda (BODIG, 2001).

#### 3.5.1.4.4.2 Emissão de ondas de tensão

Este é um dos métodos mais populares utilizados para madeira e compostos de madeira que, vem sendo investigado há mais de 30 anos, onde as ondas sonoras são geradas a partir de um impacto ou de vibração forçada. Devido à dificuldade de induzir uma vibração forçada ao objeto de avaliação, a maioria das pesquisas é conduzida com base no método de impacto (PUEHRINGER, 2002). Neste método, a aplicação e medição das ondas de tensão consiste no posicionamento de dois transdutores acelerômetros sobre o material a ser avaliado. Uma onda acústica é induzida ao material através do choque de um martelo, pêndulo ou outros materiais. Quando a onda alcança o acelerômetro de partida, uma contagem de tempo, em microssegundos, é iniciada no equipamento. Quando esta atinge o acelerômetro de parada, a contagem de tempo cessa e o aparelho registra e mostra o tempo decorrido de trânsito da onda de tensão, entre os acelerômetros, através do material.

Os tempos registrados em microssegundos são utilizados para o cálculo da velocidade de propagação das ondas (SCHAD et al., 1996; MATOS, 1997).

Mesmo sendo verdade que uma amostra pode vibrar sem contato físico pela ação de uma fonte emissora de ondas sonoras, uma grande quantidade de energia é perdida nesse processo. Desta maneira, esta técnica em que há a ausência de contato físico possui aplicações limitadas e poucas pesquisas realizadas (BODIG, 2001).

A quantificação da velocidade do som através do material, que é muitas vezes usada para expressar o módulo de elasticidade dinâmico, é muito comum para produtos de madeira. Isto é explicado pela simplicidade dos equipamentos e pela facilidade de análise de dados. A velocidade do som é comumente convertida para o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd). Apesar da simplicidade, o uso dessa conversão acarreta algumas considerações:

- a) Normalmente considera-se apenas a velocidade de onda mais alta;
- b) Esta onda mais rápida atravessa o material na sua porção de mais alta qualidade desviando das áreas fracas (madeira juvenil, nós, camadas de baixa massa específica);
- c) O cálculo do MOEd requer o conhecimento da massa específica do material que dificilmente é determinada não destrutivamente.

Por outro lado, usando o espectro da onda de tensão criada pelo impacto de onde parâmetros não destrutivos podem ser escolhidos superando as desvantagens que a velocidade de propagação apresenta (BUCUR, 1987):

- a) O espectro da onda de tensão fornece a representação das condições e características do material como um todo;
- b) Um grande número de variáveis pode ser selecionado de um único espectro de frequência de onda (energia máxima, frequência dominante, variação de frequência, atenuação, entre outros);
- c) Parâmetros não destrutivos múltiplos podem aumentar a correlação com os parâmetros destrutivos;
- d) Estas variáveis são menos susceptíveis às condições ambientais.

### 3.6 TEORIA DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM MEIO ELÁSTICO

#### 3.6.1 Madeira como Meio Elástico

Um material é considerado elasticamente anisotrópico se está espacialmente orientado em uma escala “e” menor que o comprimento da onda elástica “ $\lambda$ ” que o percorre. Se “ $\lambda$ ” é igual ou menor que “e”, a onda elástica se depara com um meio heterogêneo.

Deste modo, anisotropia e heterogeneidade não são características absolutas de um material, mas relativas capazes de se relacionar com propriedades físicas e com os fenômenos físicos correspondentes (como o comprimento da onda  $\lambda$  de propagação). Em outras palavras, as características elásticas anisotrópicas de um meio devem ser associadas à escala de observação.

A madeira é um composto natural e possui uma estrutura hierarquizada desde a escala molecular até as estruturas macroscópicas. Os principais constituintes da madeira são celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos. O material celulósico tem um componente básico, o cristal de celulose. A matéria lenhosa produzida por uma árvore é um maravilhoso exemplo de composto natural com um componente cristalino básico. A arquitetura hierárquica da madeira é a principal responsável por seu elevado comportamento anisotrópico e elástico.

#### 3.6.2 Determinação do Módulo de Elasticidade Através do Método Acústico

Este método é o princípio de funcionamento da máquina Stress Wave Timer, modelo 239-A da empresa Metriguard, EUA.

As propriedades do material a ser medido afetam a forma da onda de tensão, e deste modo, o tempo de detecção da passagem da onda (METRIGUARD, 1997). Os tempos registrados em microssegundos são utilizados no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico.

Através das velocidades de propagação das ondas de tensão medidas, e da massa específica do material, determina-se o módulo de elasticidade, calculando-o pela equação:

$$\text{MOEd} = \delta \times V^2 \times (1/g)$$

Em que:

MOEd: módulo de elasticidade dinâmico (kgf/cm<sup>2</sup>);

$\delta$ : massa específica do material (kg/m<sup>3</sup>);

g: aceleração da gravidade (9,804 m/s<sup>2</sup>);

V: velocidade da onda longitudinal (cm/s).

A velocidade é obtida pela equação:

$$V = d/t$$

Em que:

V: velocidade (cm/s);

d: distância entre os transdutores (cm);

t: tempo de propagação (s).

### 3.7 INFLUÊNCIAS DAS DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES SOBRE A PROPAGAÇÃO DE ONDAS ACÚSTICAS

Segundo BUCUR (1988), a avaliação das propriedades acústicas da madeira pode dar indicação da anisotropia deste material que está relacionada às variações nos elementos anatômicos.

As ondas acústicas se propagam através da massa ou substância madeira presente em maior quantidade na parede celular. Quanto maior a espessura da parede celular, maior a área ou caminho contínuo para propagação das ondas que se dissipam rapidamente. Esta relação é mais acentuada se a emissão das ondas for realizada no sentido longitudinal ou axial, direção de disposição das fibras. Em madeiras porosas, compostas por fibras com acentuados diâmetros de lume, os espaços vazios tornam-se barreiras para a propagação das ondas, reduzindo determinado percurso. Quanto às relações entre a largura das fibras e a propagação das ondas, em geral, as fibras que com maior diâmetro do lume são as mais largas

e, conseqüentemente, se relacionam de forma negativa com a velocidade e positiva com o tempo de propagação de ondas de tensão.

No que diz respeito ao comprimento de fibras, sua relação com o tempo e velocidade de propagação das ondas depende da direção de emissão. Se a mesma é realizada no sentido longitudinal, as ondas percorrem a parede da fibra, ao longo de seu comprimento, e ao final apresentam leve queda entre uma fibra e outra, quando então retomam a direção do percurso. Dessa forma, quanto maior o comprimento da fibra, maior o caminho contínuo da parede a ser percorrido, propiciando menor tempo de propagação da onda e maior velocidade (BUCUR, 1988). POELGE (1984) detectou forte correlação entre o comprimento de fibras e a velocidade das ondas acústicas, sendo determinado um coeficiente de correlação de 0,90. Porém, se a emissão das ondas se dá no sentido transversal às fibras, há a barreira do diâmetro do lume e as mesmas se desviam em cada fibra, percorrendo a parede até o final de seu comprimento para retomar o percurso na fibra seguinte. Com este desvio, há um aumento acentuado no tempo do percurso, reduzindo significativamente a velocidade de propagação das ondas. Além disso, no sentido transversal, as ondas cruzam a lignina existente entre as microfibrilas, que é mais amorfa e inelástica, podendo colaborar para reduções das ondas (MATOS, 1997).

No que diz respeito às relações entre as dimensões das fibras com a propagação das ondas, em função da relação positiva da parede celular com a velocidade de propagação, o índice de Runkel e a fração parede também se correlacionam positivamente com a velocidade e negativamente com o tempo de propagação das ondas. O contrário ocorre com o coeficiente de flexibilidade que tem uma relação direta com o diâmetro do lume. A relação do índice de enfiamento com a propagação das ondas depende da direção da emissão das ondas.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ESPÉCIE ESTUDADA

O *Pinus taeda* L. é uma das espécies mais plantadas e utilizadas industrialmente no país, sendo encontrada em extensos plantios, onde cresce com elevado ritmo e vigor, sendo utilizada como matéria-prima, principalmente, para a produção de celulose e papel de fibra longa, para a produção de laminados, compensados, chapas de fibra e de partículas, como também para a produção de madeira serrada destinada às mais diversas aplicações, por essas razões foi escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho.

### 4.2 DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DA ÁREA EXPERIMENTAL I: SÍTIO DE CRESCIMENTO

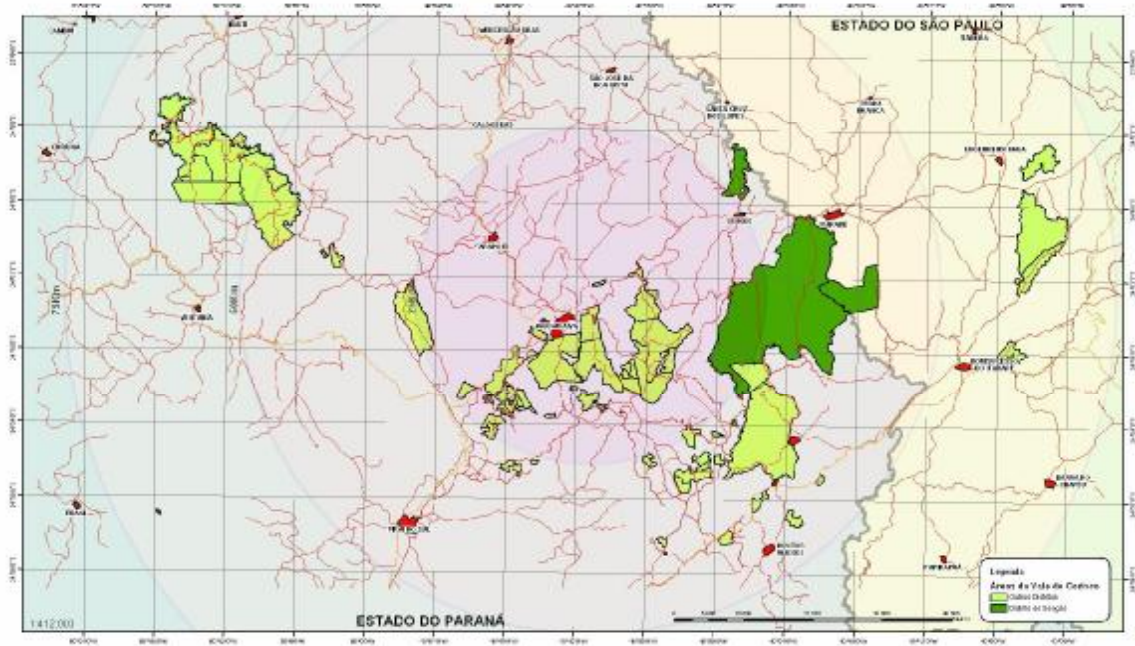
#### 4.2.1 Descrição do Local

As amostras de madeira estudadas neste trabalho foram obtidas de árvores de *Pinus taeda* L., provenientes de plantios comerciais, com 14, 16 e 18 anos de idade, localizados nas Fazendas Esterco, Lageado e Jararaca, de propriedade da Cia Iguazu Celulose Papel S.A., localizada no Município de Piraí do Sul, Estado do Paraná a 24°32'54" latitude Sul e 49°54'09" longitude Oeste do Meridiano de Greenwich.

O clima da região segundo classificação de Köppen, é cfa/cfb, subtropical úmido transicional, para temperado propriamente dito, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 16° C, com ocorrência de geada, e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22° C. A precipitação média anual é 1490 mm, distribuída em todos os meses do ano.

A figura 07 ilustra a localização geográfica da região de coleta do material.

FIGURA 07 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DAS AMOSTRAS



FONTE: VALOR FLORESTAL (2004)<sup>4</sup>

#### 4.2.2 Amostragem e Preparação do Material

A amostragem foi realizada em três sítios de crescimento distintos. Estes sítios foram selecionados em função das distintas características de crescimento das árvores observadas nestes locais, com base na classificação diamétrica existente nas áreas de plantio da Cia Iguaçu Celulose Papel (Quadro 02).

QUADRO 02 - CARACTERÍSTICAS DOS PLANTIOS DOS SÍTIOS ESTUDADOS

SÍTIO	IDADE (anos)	ESPAÇAMENTO (m x m)	DENSIDADE (Nº Árv./ha)	ÁREA POR ÁRVORE (m <sup>2</sup> /Árvore)
Esterco	14	2,0 x 3,0	1666	6,00
Lageado	16	2,0 x 2,5	2000	5,00
Jararaca	18	2,5 x 2,5	1600	6,25

Na figura 08, vistas dos sítios estudados, localizados na Fazenda Esterco, Lageado e Jararaca, respectivamente.

<sup>4</sup>Valor Florestal - Gestão de Ativos Florestais Ltda. Figura cedida em dezembro de 2004.



FIGURA 08 - SÍTIOS DE ESTUDO LOCALIZADOS NA FAZENDA ESTERCO (A), LAGEADO (B) E JARARACA (C)



(A)



(B)



(C)

#### 4.2.2.1 Amostragem do solo

A 50 cm de cada árvore selecionada foram coletadas amostras de solo a granel e indeformadas (através de anéis metálicos), para as análises químicas e físicas, nas seguintes profundidades: 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, com três repetições. Nas maiores profundidades (50 a 70 ou 80 a 100 cm) tomou-se apenas uma amostra com o trado para caracterização química e granulométrica do solo, conforme figura 09.

FIGURA 09 - AMOSTRAGEM DO SOLO A GRANEL (A) E ATRAVÉS DE ANÉIS VOLUMÉTRICOS (B) NOS SÍTIOS ESTUDADOS



(A)



(B)

As amostras a granel foram utilizadas para determinar os atributos químicos do solo: macro e micronutrientes, capacidade de troca de cátions e matéria-orgânica; e as análises granulométricas, seguindo metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997).

As amostras indeformadas foram utilizadas para determinar os atributos físicos do solo: densidade global, porosidade total, macroporosidade, disponibilidade de água e umidade atual, seguindo metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997).

Em todos os locais de coleta foram realizadas prospecções com o trado para determinar a profundidade efetiva do solo até 120 cm.

#### 4.2.2.2 Amostragem das árvores

Para cada sítio de crescimento foram amostradas cinco árvores medianas, buscando não amostrar árvores próximas entre si, bem como próximas da bordadura, procurando evitar interferências no crescimento das árvores, totalizando, desta forma, 15 árvores. O aspecto visual do fuste, estabelecido para a seleção das árvores, foi o tronco cilíndrico, reto, sem bifurcações ou defeitos, para evitar a presença excessiva de lenho de compressão ou defeitos que poderiam interferir nos resultados.

Após a seleção das árvores, com estas ainda em pé, foram realizadas medições do tempo de propagação de ondas de tensão, através do aparelho “*Stress Wave Timer*”, modelo 239-A da Metriguard.

De cada árvore selecionada foram coletados os valores de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (Ht) e altura comercial (Hc) considerando um diâmetro mínimo de 8 cm como limite para altura comercial.

Após a derrubada, as árvores foram seccionadas em comprimentos equivalentes a 0% (base da árvore), 25%, 50%, 75% e 100% do valor de sua altura comercial, sendo que, em cada uma das alturas relativas da altura comercial foram coletados dois discos.

Das toras remanescentes foram selecionadas as três primeiras. Nestas toras, recém seccionadas, dispostas sobre o chão, efetuaram-se novamente as medições do tempo de propagação de ondas de tensão.

Todas as toras e os discos coletados nas árvores amostradas foram devidamente identificados e embalados, e transportados para o Laboratório de

Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, Paraná.

As figuras 10 e 11 ilustram as etapas de coleta do material, seccionamento e identificação das toras, das árvores de *Pinus taeda* na área de propriedade da empresa Iguazu Celulose e Papel.

FIGURA 10 - COLHEITA MANUAL DAS ÁRVORES



FIGURA 11 - VISTA PARCIAL DAS TORAS SECCIONADAS E IDENTIFICADAS





Também foram coletadas amostras de acículas do terço superior da copa de cada árvore, do lançamento do ano anterior, para realização das análises de estado nutricional das plantas.

#### 4.3 DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DA ÁREA EXPERIMENTAL II: ESPAÇAMENTO

##### 4.3.1 Descrição do Local

O material utilizado para este estudo foi obtido de 45 árvores de *Pinus taeda* L., provenientes de plantio experimental, com 21 anos de idade, localizado na Fazenda Paul, de propriedade da RIGESA - MeadWestvaco, localizada no Município de Três Barras, Norte do Estado de Santa Catarina a 26°06'47" de latitude Sul e 50°18'28" a oeste do Meridiano de Greenwich.

O clima da região segundo classificação de Koppen, é cfb, pertencente ao grupo C, mesotérmico com temperaturas do mês mais frio abaixo de 18° C e acima de 3° C, com ocorrência de geadas. Tipo úmido (f) sem estação seca bem distinta, sendo que não há índices pluviométricos mensais inferiores a 60 mm e verão fresco (b), onde as temperaturas do mês mais quente estão abaixo de 22° C e umidade relativa média anual de 82 a 84%.

A figura 12 ilustra a localização geográfica da região de coleta do material.

FIGURA 12 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DAS AMOSTRAS



#### 4.3.2 Amostragem e Preparação do Material

O material utilizado neste estudo é proveniente de plantio experimental, implantado dentro de um mesmo sítio. As árvores foram plantadas com diferentes espaçamentos iniciais, sendo que as mesmas não foram podadas, bem como, nenhum talhão foi desbastado. A amostragem foi realizada em árvores plantadas em nove diferentes espaçamentos, conforme apresentado no quadro 03.

QUADRO 03 - CARACTERÍSTICAS DOS TRATAMENTOS ESTUDADOS

TRATAMENTO	ESPAÇAMENTO (m x m)	DENSIDADE (N <sup>o</sup> Árv./ha)	ÁREA POR ÁRVORE (m <sup>2</sup> /Árvore)
T1	1,5 x 2,0	3333	3,00
T2	1,5 x 2,5	2666	3,75
T3	1,5 x 3,0	2222	4,50
T4	2,5 x 2,0	2000	5,00
T5	2,5 x 2,5	1600	6,25
T6	3,5 x 2,0	1428	7,00
T7	2,5 x 3,0	1333	7,50
T8	3,5 x 2,5	1142	8,75
T9	3,5 x 3,0	952	10,50

O material genético é oriundo de uma área de produção de sementes (APS) da própria empresa, que foi estabelecida a partir da conversão de um talhão comercial, com base nos seguintes critérios: seleção do material genético com base no seu fenótipo, ou seja: volume individual, retabilidade do fuste, espessura e ângulo de inserção dos galhos, árvores livres de ataque de pragas e/ou doenças.

A figura 13, ilustra o talhão experimental localizado na Fazenda Paul.

FIGURA 13 - VISTA PARCIAL DO PLANTIO EXPERIMENTAL (TALHÃO)



#### 4.3.2.1 Amostragem das árvores

Para cada espaçamento foram amostradas cinco árvores, buscando não amostrar árvores próximas entre si, bem como próximas da bordadura, buscando evitar interferências no crescimento das árvores, totalizando, desta forma, 45 árvores. O aspecto visual do fuste, estabelecido para a seleção das árvores, foi o tronco cilíndrico, reto, sem bifurcações ou defeitos, para evitar a presença excessiva de lenho de compressão, ou defeitos que possam interferir nos resultados.

Após a seleção das árvores, com estas ainda em pé, foram realizadas medições do tempo de propagação de ondas de tensão, através do aparelho “*Stress Wave Timer*”, modelo 239-A da Metriguard.

De cada árvore selecionada foram coletados os valores de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (Ht) e altura comercial (Hc) considerando um diâmetro mínimo de 8 cm como limite para altura comercial.

Após a derrubada, as árvores foram seccionadas em comprimentos equivalentes a 0% (base da árvore), 25%, 50%, 75% e 100% do valor de sua altura comercial, sendo que, em cada uma das alturas relativas da altura comercial foram coletados dois discos.

Das toras remanescentes foram selecionadas as duas primeiras. Nestas toras, recém seccionadas, dispostas sobre o chão, efetuaram-se novamente as medições do tempo de propagação de ondas de tensão.

Todas as toras e discos coletados nas árvores amostradas foram devidamente identificados e embalados, e transportados para o Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, Paraná.

As figuras 14 e 15 ilustram as etapas de coleta do material, seccionamento e identificação das toras, das árvores de *Pinus taeda* na área de propriedade da empresa RIGESA - MeadWestvaco.

FIGURA 14 - COLHEITA MECANIZADA DAS ÁRVORES



FIGURA 15 - VISTA PARCIAL DAS TORAS SECCIONADAS E IDENTIFICADAS



Também foram coletadas amostras de acículas do terço superior da copa de cada árvore, do lançamento do ano anterior, para realização das análises de estado nutricional das plantas.

#### 4.4 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES

Para a determinação das características dendrométricas das árvores amostradas utilizou-se as medidas realizadas a campo, diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (Ht) e altura comercial (Hc).



## 4.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

### 4.5.1 Determinação da Massa Específica Básica

Para a determinação da massa específica básica (relação entre massa seca em estufa e o volume no estado completamente saturado) foram utilizados discos sem casca, coletados em cinco posições, ao longo do fuste de cada árvore, ou seja, na base, a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

De cada disco foram retiradas cunhas diametralmente opostas, as quais foram submersas em água até atingirem a saturação (peso constante). A seguir, foi determinada a massa específica básica segundo a metodologia prescrita pela ASTM D 2395-93 (1995). A determinação do volume foi feita pelo método de pesagem. Após a obtenção do volume, as cunhas foram colocadas em estufa com temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  para secagem até peso constante, obtendo-se o peso completamente seco.

A massa específica básica foi calculada utilizando a seguinte relação:

$$\rho_b = M_s / V_u$$

Em que:

$\rho_b$ : Massa específica básica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$M_s$ : Massa seca em estufa a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (kg)

$V_u$ : Volume saturado ( $\text{m}^3$ )

Para o cálculo da massa específica básica média das árvores, utilizou-se a média ponderada, pois cada cunha avaliada ao longo do fuste, representa um valor correspondente a uma maior ou menor porção dentro do volume total da árvore, dependendo de sua localização. A massa específica básica ponderada foi calculada utilizando-se a seguinte relação:

$$\rho_b = \frac{0,5 \times \{[(D_1^2 + D_2^2) \times (d_1 + d_2)] + \dots + [(D_{n-1}^2 + D_n^2) \times (d_{n-1} + d_n)]\}}{[D_1^2 + D_n^2 + 2 \times (D_2^2 + \dots + D_{n-1}^2)]}$$

Em que:

$\rho_b$ : Massa específica básica média ponderada da amostra ( $\text{Kg/m}^3$ )

$D_1$ : Diâmetro médio da base (cm)

$D_2$ : Diâmetro médio a 25 % da altura comercial (cm)

$D_{n-1}$ : Diâmetro médio do penúltimo disco (cm)

$D_n$ : Diâmetro médio do último disco a altura comercial (cm)

$d_1$ : Massa específica básica do disco da base ( $\text{Kg/m}^3$ )

$d_2$ : Massa específica básica do disco a 25 % da altura comercial ( $\text{Kg/m}^3$ )

$d_{n-1}$ : Massa específica básica do penúltimo disco ( $\text{Kg/m}^3$ )

$d_n$ : Massa específica básica do último disco ( $\text{Kg/m}^3$ )

Para a avaliação do comportamento da distribuição da massa específica básica ao longo do fuste nas posições relativas, utilizou-se o valor médio determinado em cada posição sem ponderar a média geral.

#### 4.5.2 Determinação das Dimensões das Fibras e Suas Relações

Para a determinação das dimensões das fibras foram utilizados os discos sem casca, coletados em cinco posições, ao longo do fuste de cada árvore, ou seja, na base, a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

De cada disco foram retiradas duas cunhas estreitas, em sentidos opostos e transformadas em palitos.

As amostras foram identificadas e separadas em tubos de ensaios e submetidas a um processo de maceração, em solução constituída por uma mistura de ácido nítrico e ácido acético (1:3), conforme procedimentos descritos por BARRICHELLO e FOELKEL (1983), para a individualização dos elementos anatômicos da madeira.

A determinação das dimensões das fibras foi conduzida através de preparo de lâminas com o material macerado, coloridas com solução aquosa de safranina a 1%. Na montagem das lâminas, tomou-se o cuidado, de efetuar a agitação do material macerado para manter as fibras em suspensão, evitando assim, erros de amostragem devido à formação de extratos nos tubos de ensaios.

Uma vez individualizadas, as fibras foram medidas através do programa

Olympus MicroSuite (TM) - Basic (Software for Imaging Applications).

Em cada amostra, foram tomadas 30 medidas de comprimento, largura e diâmetro do lume. E a espessura da parede foi determinada pela diferença entre a largura e o diâmetro do lume, conforme expressão:

$$EP = \frac{L - DL}{2}$$

Em que:

EP: Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ )

L: Largura das fibras ( $\mu\text{m}$ )

DL: Diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ )

Através dos valores obtidos para as dimensões de fibras calculou-se a média ponderada para as árvores, bem como as relações entre as dimensões das fibras:

- a) Índice de Runkel (IR) =  $(2 \times EP) / DL$
- b) Fração parede (FP) =  $((2 \times EP) / L) \times 100$
- c) Coeficiente de flexibilidade (CF) =  $(DL / L) \times 100$
- d) Índice de enfiamento (IE) =  $(C / (L \times 1000))$

Em que:

EP: Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ )

DL: Diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ )

L: Largura das fibras ( $\mu\text{m}$ )

C: Comprimento das fibras (mm)

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO

Para determinação da velocidade de propagação das ondas de tensão, utilizou-se o aparelho “*Stress Wave Timer*”, modelo 239-A, da marca Metriguard (Figura 16).

FIGURA 16 - APARELHO UTILIZADO PARA A MEDIÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO



Para a avaliação das árvores em pé e toras foi utilizado o método de impacto com o martelo e o transdutor de chegada para aplicação das ondas de tensão.

Efetou-se a medição do tempo de propagação das ondas de tensão em todas as árvores selecionadas, ainda em pé. A recepção da onda se deu próximo à base da árvore (cerca de 10 cm do solo), no lado oposto à batida, portanto em diagonal, pois, segundo PUEHRINGER (2002), neste sentido há menor variação na transmissão das ondas de tensão. Foram efetuadas cinco medidas por árvore, para posterior cálculo da média. Conforme recomendação do autor, tanto o impacto, quanto a recepção das ondas, foram realizados diretamente na madeira. Ressalta-se que a casca foi retirada destes pontos para evitar interferência da mesma sobre as ondas de tensão, ainda conforme recomendação de PUEHRINGER (2002).

Efetou-se também, a medição do tempo de propagação das ondas de tensão em todas as toras recém abatidas, dispostas sobre o chão. A medição foi realizada longitudinalmente, tendo como ponto de partida a base da tora e o ponto de chegada, o topo do lado oposto à emissão da onda, conforme Figura 17. Tanto a emissão como a recepção da onda foi realizada no centro da tora, próximo a medula. Foram efetuadas cinco medições em cada ponto para posterior cálculo da média aritmética.

A velocidade de propagação das ondas de tensão foi determinada através da expressão:

$$V = d / t$$

Em que:

V: velocidade de propagação da onda de tensão (m/s)

d: distância entre o ponto de partida e o de chegada da onda de tensão (distância entre os transdutores) (m)

t: tempo de propagação da onda de tensão (s)

É necessário enfatizar que no caso das árvores em pé, a distância entre os transdutores (d) foi calculada em função do diâmetro de cada árvore e, no caso, das toras, foi calculada em função do diâmetro de cada tora.

FIGURA 17 - MEDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁRVORES EM PÉ (A) E EM TORAS (B)



(A)



(B)

#### 4.7 DETERMINAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

Para a determinação do estado nutricional das árvores, as acículas foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas, e levadas à estufa na temperatura de  $60 \pm 2^{\circ} \text{C}$ , até peso constante. Depois de secas, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, acondicionadas em frascos plásticos e, em seguida, analisadas quanto aos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu), seguindo metodologia preconizada por SARRUGE e HAAG (1974).

#### 4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise dos dados foi realizada com a utilização de análises estatísticas básicas, também chamadas de univariadas, e análises multivariadas.

Uma maneira tradicional de avaliar o efeito ou influência de um determinado fator sobre um conjunto de dados de um estudo consiste na utilização da técnica da análise de variância ou de regressão.

No presente trabalho utilizou-se a análise de variância com estudos de regressão por meio de polinômios ortogonais. Esta técnica é recomendada quando os tratamentos apresentam níveis crescentes e contínuos. Os contrastes de médias, para os efeitos discretos, foram realizados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a análise multivariada calculou-se a matriz de correlação para cada situação estudada: sítio de crescimento e espaçamento. A análise destas matrizes foi feita seguindo os seguintes passos:

- Análise das correlações;
- Análise de componentes principais e,
- Análise fatorial.

Para a seleção das componentes principais foram utilizados dois critérios: retenção daquelas que acumularam uma percentagem da variabilidade total superior a 70 % e que apresentaram, ao mesmo tempo, autovalores iguais ou superiores a 1.

As análises foram realizadas através do sistema estatístico SAS, licenciado para o Centro Nacional de Pesquisas de Floresta - Embrapa, em Colombo-PR.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 RESULTADOS DA ÁREA EXPERIMENTAL I: SÍTIO DE CRESCIMENTO

#### 5.1.1 Atributos Químicos do Solo

Na tabela 04 são apresentados os resultados médios, de cada profundidade, para cada sítio estudado, referente aos atributos químicos do solo, juntamente com o teste de médias.

TABELA 04 - VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO

SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>
pH, em CaCl <sub>2</sub>					
Esterco	4,28 A	4,35 A	4,31 A	4,23 A	4,11 A
Lageado	4,07 A	4,03 A	4,04 A	4,00 A	4,13 A
Jararaca	3,92 A	4,00 A	3,96 A	3,97 B	4,11 A
F	2,18 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	4,72*	0,08 <sup>ns</sup>
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>
POTÁSSIO, cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					
Esterco	0,06 B	0,06 A	0,04 B	0,04 A	0,03 A
Lageado	0,12 A	0,10 A	0,09 A	0,08 A	0,07 A
Jararaca	0,11 A	0,10 A	0,09 A	0,06 A	0,06 A
F	7,92*	2,73 <sup>ns</sup>	7,26*	2,67 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>
CÁLCIO + MAGNÉSIO, cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					
Esterco	4,33 A	3,50 A	1,53 A	0,76 A	0,34 A
Lageado	1,42 A	1,12 A	0,76 A	0,70 A	0,57 A
Jararaca	1,05 A	0,90 A	0,58 A	0,41 A	0,36 A
F	2,67 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	1,98 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>
CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS, cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					
Esterco	13,50 A	13,78 A	13,41 A	12,2 A	8,8 A
Lageado	9,96 B	9,52 B	8,77 B	8,7 A	6,2 B
Jararaca	10,82 AB	10,19 AB	9,69 AB	8,4 A	7,1 AB
F	4,27*	4,40*	4,70*	3,27 <sup>ns</sup>	4,52*
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>
MATÉRIA ORGÂNICA, g/kg					
Esterco	44,70 A	47,20 A	43,59 A	36,3 A	20,3 A
Lageado	36,64 A	29,53 B	27,62 B	21,6 B	14,9 A
Jararaca	30,99 A	26,55 B	22,60 B	19,5 B	13,3 A
F	2,07 <sup>ns</sup>	6,52*	6,88*	5,70*	1,85 <sup>ns</sup>

continua

TABELA 04 - VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO

SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO, %						
Esterco	38,8 B	39,9 B	62,6 AB	73,0 A	86,0 A	
Lageado	57,0 A	63,7 A	71,9 A	73,1 A	66,6 A	
Jararaca	65,9 A	66,4 A	75,7 A	80,4 A	74,5 A	
F	4,52*	5,01*	4,88*	0,51 <sup>ns</sup>	2,75 <sup>ns</sup>	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
FÓSFORO, mg/dm <sup>3</sup>						
Esterco	4,14 A	2,88 A	2,60 A	1,7 A	0,8 A	
Lageado	4,94 A	3,60 A	2,00 A	1,8 A	0,8 A	
Jararaca	0,28 A	0,56 A	0,74 A	TRAÇOS B	TRAÇOS A	
F	4,00 <sup>ns</sup>	2,44 <sup>ns</sup>	1,95 <sup>ns</sup>	23,97*	4,80 <sup>ns</sup>	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
COBRE, mg/L						
Esterco	0,74 A	0,79 A	0,90 A	0,97 A	1,21 A	
Lageado	1,28 A	1,37 A	1,56 A	1,76 A	1,31 A	
Jararaca	1,19 A	1,30 A	1,28 A	1,35 A	1,12 A	
F	2,12 <sup>ns</sup>	2,36 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
FERRO, mg/L						
Esterco	150,04 A	145,97 A	118,63 A	106,81 A	129,74 A	
Lageado	141,44 A	132,90 A	156,64 A	128,28 A	65,44 A	
Jararaca	149,29 A	147,43 A	162,98 A	135,24 A	51,24 A	
F	0,04 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
MANGANÊS, mg/L						
Esterco	10,78 B	7,73 B	4,04 B	5,46 B	5,17 A	
Lageado	56,56 AB	50,63 AB	15,47 AB	8,33 B	9,86 A	
Jararaca	119,75 A	101,81 A	57,03 A	38,82 A	20,47 A	
F	4,07*	4,45*	5,67*	8,05*	2,20 <sup>ns</sup>	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
ZINCO, mg/L						
Esterco	7,13 A	9,56 A	8,01 A	20,63 A	24,27 A	
Lageado	16,58 A	13,66 A	11,10 A	12,85 A	10,93 A	
Jararaca	16,93 A	12,33 A	19,37 A	16,34 A	18,41 A	
F	2,04 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	3,32 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	

NOTAS: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>não significativo.

<sup>1</sup>profundidade de amostragem utilizada no sítio Esterco; <sup>2</sup>profundidade de amostragem utilizada nos demais sítios.

Os sítios foram classificados pelo valor do atributo químico do solo considerado na profundidade de 0-5 cm, que nem sempre se mantêm nas demais profundidades.

Observa-se a partir dos dados obtidos na tabela 04, que todos os sítios incluem-se dentro da categoria de acidez muito alta ( $\text{pH} \leq 4,3$ ), segundo critérios de



TOMÉ JÚNIOR (1997). Estes valores de pH encontrados estão dentro dos limites aceitáveis para o crescimento de *Pinus taeda*, não havendo nenhuma influência negativa desta variável no crescimento desta espécie.

Já para o K, TOMÉ JÚNIOR (1997), afirma que o teor de  $K \leq 0,10 \text{ cmol/dm}^3$  é baixo, de 0,11 a  $0,30 \text{ cmol/dm}^3$  é médio e  $> 0,30$  é alto. Com relação a este elemento, observou-se que o sítio Esterco apresentou menores valores médios nas profundidades mais superficiais do solo, com índices menores que  $0,10 \text{ cmol/dm}^3$  o que, de acordo com TOMÉ JÚNIOR (1997), é considerado valor baixo e caracteriza o sítio como muito pobre neste elemento.

Segundo BARTZ et al. (1995), o teor de  $Ca + Mg \leq 2,5 \text{ cmol/dm}^3$  é considerado baixo, entre 2,6 a  $5,0 \text{ cmol/dm}^3$  médio e  $> 5,0 \text{ cmol/dm}^3$  alto. Com base nestes dados, os sítios estudados, com exceção do Esterco, que apresenta teores de  $Ca + Mg$  que podem ser classificados como médios na camada superficial do solo, geralmente, apresentaram teores baixos destes elementos.

Com relação à capacidade de troca de cátions (CTC), os valores médios apresentados pelos sítios podem ser considerados baixos (entre 5,70 e  $13,56 \text{ cmol/dm}^3$ ) de acordo com os critérios de TOMÉ JÚNIOR (1997), tomados como referência para este estudo. Geralmente, apresentando valores superiores nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, possivelmente, devido a contribuição da matéria orgânica à CTC total.

Os sítios estudados apresentaram teores altos ( $> 25 \text{ g/kg}$ ) de matéria orgânica, segundo TOMÉ JÚNIOR (1997), sendo que, o sítio Esterco, novamente apresentou valores superiores. Com base no mesmo autor, observaram-se teores altos (35 a 50%) e muito altos ( $> 50\%$ ) de saturação por alumínio nos sítios estudados.

Com relação ao P, os sítios estudados apresentaram teores variados deste elemento, com teores abaixo do considerado limite ( $1,2$  a  $2,0 \text{ mg/dm}^3$ ) e médio ( $4,1$  a  $6,0 \text{ mg/dm}^3$ ), valores estes bastante aquém do considerado suficiente ( $6,1$  a  $8,0 \text{ mg/dm}^3$ ) e alto ( $> 8,0 \text{ mg/dm}^3$ ), segundo TOMÉ JÚNIOR (1997).

Com relação aos micronutrientes, todos os elementos estudados, situaram-se na faixa de suficiente, valores  $> 0,50 \text{ mg/L}$  para o Zn;  $> 0,40 \text{ mg/L}$  para o Cu;  $> 5,0 \text{ mg/L}$  para o Mn, com exceção da profundidade 10-20 cm no sítio Esterco, que apresentou valores médios ( $1,3$  a  $5,0 \text{ mg/L}$ );  $> 12 \text{ mg/L}$  para o Fe, segundo TOMÉ JÚNIOR (1997).

Observa-se na tabela 04, que o solo do sítio Esterco apresenta no geral melhores condições de fertilidade que os outros sítios, ou seja, valores médios mais altos de pH, CTC, matéria orgânica e, menores de saturação por alumínio e, ainda valores de Ca + Mg que podem ser classificados como médios na camada superficial do solo. Enquanto que, o solo do sítio Jararaca apresentou os menores valores de pH, Ca + Mg e matéria orgânica, valores de K mais altos, mas mesmo assim, ainda no limite de transição entre teor baixo e médio e, ainda valores altos de saturação por alumínio. Já o sítio Lageado se distingue do Esterco pelos maiores teores de K e menores de Ca + Mg e, se diferenciou do sítio Jararaca, pelos maiores teores de P, classificados como médios.

### 5.1.2 Atributos Físicos e Granulométricos do Solo

Na tabela 05 são apresentados os resultados médios, de cada profundidade, para cada sítio estudado, referente aos atributos físicos e granulométricos do solo, juntamente com o teste de médias.

TABELA 05 - VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E GRANULOMÉTRICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO

continua

SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>
DENSIDADE GLOBAL, kg/dm <sup>3</sup>					
Esterco	0,994 A	1,087 A	1,282 A	1,139 A	-
Lageado	1,155 A	1,250 A	1,315 A	1,352 A	-
Jararaca	1,065 A	1,119 A	1,125 A	1,217 A	-
F	2,82 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	-
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>
POROSIDADE TOTAL, cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>					
Esterco	0,607 A	0,549 A	0,526 A	0,545 A	-
Lageado	0,575 A	0,546 A	0,511 A	0,505 A	-
Jararaca	0,624 A	0,584 A	0,575 A	0,551 A	-
F	1,39 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	-
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>
MACROPOROSIDADE, cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>					
Esterco	0,311 A	0,224 A	0,194 B	0,193 A	-
Lageado	0,258 A	0,226 A	0,192 B	0,174 A	-
Jararaca	0,343 A	0,295 A	0,296 A	0,272 A	-
F	2,38 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	5,09*	2,83 <sup>ns</sup>	-

TABELA 05 - VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E GRANULOMÉTRICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO

SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
ÁGUA DISPONÍVEL, cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>						
Esterco	0,055 A	0,050 A	0,082 A	0,087 A	-	
Lageado	0,046 A	0,040 A	0,040 B	0,046 B	-	
Jararaca	0,051 A	0,046 A	0,040 B	0,035 B	-	
F	0,10 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	6,94*	8,19*	-	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
UMIDADE ATUAL, cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>						
Esterco	0,240 A	0,284 A	0,260 A	0,384 A	-	
Lageado	0,226 A	0,233 A	0,252 A	0,273 B	-	
Jararaca	0,191 A	0,213 A	0,212 A	0,222 B	-	
F	1,49 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	3,83*	-	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
AREIA, g/kg						
Esterco	734 A	732 A	734 A	728 A	700 A	
Lageado	468 B	460 B	464 B	456 B	354 B	
Jararaca	426 B	422 B	434 B	446 B	337 B	
F	33,53*	24,95*	18,45*	16,54*	24,93*	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
SILTE, g/kg						
Esterco	90 B	90 B	98 B	95 B	137 A	
Lageado	102 B	102 B	92 B	90 B	126 A	
Jararaca	188 A	196 A	170 A	164 A	213 A	
F	26,96*	25,27*	11,35*	13,80*	1,10 <sup>ns</sup>	
SÍTIO	PROFUNDIDADE (cm)					conclusão
	0-5	5-10	10-20	20-30	50-70 <sup>1</sup> 80-100 <sup>2</sup>	
ARGILA, g/kg						
Esterco	176 B	178 B	168 B	178 B	163 B	
Lageado	430 A	438 A	444 A	454 A	520 A	
Jararaca	386 A	382 A	396 A	390 A	450 A	
F	19,59*	15,22*	15,33*	19,76*	20,85*	

NOTAS: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>não significativo.

<sup>1</sup>profundidade de amostragem utilizada no sítio Esterco; <sup>2</sup>profundidade de amostragem utilizada nos demais sítios.

Da mesma forma que na tabela 04, os sítios foram classificados pelo valor do atributo físico e granulométrico do solo considerado na profundidade de 0-5 cm.

Pode-se observar (Tabela 05) que o solo do sítio Esterco pode ser classificado como de textura arenosa, onde a areia é a fração predominante. Enquanto que, o solo dos sítios Lageado e Jararaca são classificados como muito argilosos.

Os menores valores de densidade global foram encontrados na profundidade de 0-5 cm, em todos sítios estudados (Tabela 05). A explicação para os resultados

menores na profundidade de 0-5 cm se deve à manutenção da matéria orgânica do solo, sempre maior na superfície. MELLO et al. (1983), explicam que por ser pouco densa em relação aos minerais do solo e por favorecer a formação de grânulos, a matéria orgânica reduz a densidade global do solo.

Para a profundidade de 20-30 cm, os valores de densidade global para todos os sítios estudados, de maneira geral, foram sempre os maiores, o que pode dificultar a penetração de raízes e, restringir o desenvolvimento das plantas (Tabela 05).

Nenhum valor de densidade global obtido nos sítios estudados se enquadrou dentro dos níveis críticos, considerados na literatura. Para espécies florestais de rápido crescimento, GENT et al. (1984), consideram que valores de  $1,58 \text{ kg/dm}^3$  em solos de textura argilosa na profundidade de 0-15 cm são limitantes, sendo que, para a profundidade de 10-25 cm quando os valores se aproximam de  $1,80 \text{ kg/dm}^3$  o crescimento de raízes cessa.

De maneira geral, os sítios com textura mais argilosa (sítios Lageado e Jararaca), apresentaram os maiores valores de porosidade total. E, no sítio onde os solos apresentam maiores teores de areia (sítio Esterco), em função do arranjo destas partículas sólidas, a porosidade total apresentou-se menor. Sendo que, a profundidade de 0-5 cm foi a que apresentou os maiores valores de porosidade total, pelo fato de ser nesta profundidade que ocorre os menores valores de densidade global (Tabela 05).

Os valores de porosidade total encontrados para os diferentes tipos de solos estudados, se enquadraram dentro dos valores descritos na literatura. De acordo com PREVEDELLO (1996), os solos diferem muito em porosidade total, alguns valores comumente encontrados em solos arenosos variam entre 0,35 a  $0,50 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , enquanto que, para solos argilosos oscilam entre 0,40 a  $0,65 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ .

Os maiores valores de macroporosidade foram encontrados na profundidade de 0-5 cm, em todos sítios estudados (Tabela 05). O sítio Esterco, que apresenta textura mais arenosa, não apresentou o maior número de macroporos, contrariando o descrito na literatura.

Para a textura apresentada, o solo do sítio Lageado mostrou-se um pouco compactado, principalmente nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm. Nestas mesmas profundidades, este solo apresenta macroporosidade muito próxima do limite mínimo requerido para o bom desenvolvimento das plantas.

De maneira geral, a profundidade de 0-5 cm foi a que apresentou as maiores percentagens de água disponível. Este fato pode ser justificado pelos menores valores de densidade global, maior quantidade de macroporos e maior teor de matéria orgânica nesta profundidade (Tabela 05).

Em função da existência de uma camada de impedimento (presença de laje) a pequena profundidade, o solo do sítio Esterco apresentou-se com maior teor de umidade atual, principalmente na camada de 20-30 cm e também com maior teor de água disponível nesta mesma camada de solo. Apesar de ser uma medição única, a umidade atual foi maior neste solo com teor de argila menor do que a metade do teor dos outros dois solos, não sendo consequência de chuvas próximas à data de coleta.

Em um estudo feito por CORREIA et al. (1996), foi observado que a disponibilidade de água dos solos inter-relacionada com outras, tais como, o relevo, a textura do solo e a quantidade de matéria orgânica, foi um dos principais fatores que limitou o crescimento de *Pinus taeda*, influenciando na capacidade produtiva desta espécie. Assim sendo, o relevo, a textura do solo e a disponibilidade de água, contribuíram muito para explicar a variação de crescimento nos diferentes sítios.

A tabela 06 apresenta os resultados médios da profundidade efetiva do solo para cada sítio estudado, juntamente com o teste de médias.

TABELA 06 - VALORES MÉDIOS DA PROFUNDIDADE EFETIVA DO SOLO DE CADA SÍTIO

SÍTIO	PROFUNDIDADE EFETIVA	N <sup>1</sup>
	cm	
Esterco	63 B	5
Lageado	111 A	5
Jararaca	96 AB	5
F	4,06*	-

NOTAS: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \* significativo a 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>número de amostras.

A profundidade efetiva do solo tem sido apontada como uma das principais responsáveis pelo crescimento das espécies arbóreas, inclusive *Pinus taeda* (SANTOS FILHO; ROCHA, 1987). Embora ocorram algumas variações pontuais, na média houve uma diferença acentuada entre os três sítios estudados. Sendo que, no sítio Esterco, uma das árvores amostradas cresceu em apenas 25 cm de profundidade efetiva, enquanto outra, estava em profundidade maior do que 120 cm.

### 5.1.3 Estado Nutricional das Árvores

Em relação ao estado nutricional das árvores de *Pinus taeda*, alguns nutrientes quantificados apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os sítios estudados (Tabela 07).

A tabela 07 apresenta a concentração foliar média de nutrientes das árvores de cada sítio, juntamente com o teste de médias.

TABELA 07 - CONCENTRAÇÃO FOLIAR MÉDIA DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES DE CADA SÍTIO

NUTRIENTES g/kg <sup>1</sup> / mg/kg <sup>2</sup>	SÍTIO			F
	ESTERCO	LAGEADO	JARARACA	
Nitrogênio (N)	15,50 A	17,04 A	17,18 A	2,60 <sup>ns</sup>
Fósforo (P)	0,94 A	1,02 A	0,97 A	0,47 <sup>ns</sup>
Potássio (K)	3,10 B	4,64 A	4,58 A	5,90*
Cálcio (Ca)	4,46 A	2,71 B	2,59 B	5,87*
Magnésio (Mg)	1,40 A	0,67 B	0,63 B	5,48*
Cobre (Cu)	3,24 A	4,25 A	3,85 A	1,04 <sup>ns</sup>
Ferro (Fe)	230,20 A	142,00 B	138,40 B	9,96*
Manganês (Mn)	250,30 B	372,40 B	716,30 A	7,56*
Zinco (Zn)	3,77 B	9,78 AB	17,36 A	10,47*
Número de Amostras	5	5	5	-

NOTAS: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

<sup>1</sup> unidade utilizada nos macronutrientes; <sup>2</sup> unidade utilizada nos micronutrientes.

Segundo FERREIRA et al. (2001), a espécie *Pinus taeda* é considerada de baixa exigência nutricional, sendo ausentes os sintomas de deficiência nutricional, particularmente nas primeiras rotações. Segundo BURESH e TIAN (1997), as árvores podem influenciar na quantidade e disponibilidade de nutrientes dentro da zona de atuação do sistema radicular. No entanto, investigações realizadas em plantações de espécies de *Pinus* nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, têm constatado níveis deficientes de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu e Zn em acículas e redução no crescimento em solos bastante depauperados por queimadas constantes e lixiviação (VETTORAZZO, 1994).

Alguns trabalhos apresentam teores médios, máximos e mínimos, faixas de bom suprimento, níveis críticos aproximados e relações entre nutrientes para *Pinus taeda* (MENEGOL, 1991; LASO GARICOITS, 1990; LA TORRACA, 1984; REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000). Sendo que, os teores foliares de N, Mg, Cu, K e Zn foram os mais correlacionados com a altura dominante.

O quadro 04 apresenta as concentrações foliares de nutrientes adequadas para permitir um bom crescimento do *Pinus taeda*.

QUADRO 04 - CONCENTRAÇÕES FOLIARES DE NUTRIENTES ADEQUADAS PARA *Pinus* spp

NUTRIENTES	CONCENTRAÇÕES ADEQUADAS
	g/kg <sup>1</sup> / mg/kg <sup>2</sup>
Nitrogênio (N)	18,5
Fósforo (P)	1,9
Potássio (K)	6,0
Cálcio (Ca)	1,4
Magnésio (Mg)	0,6
Cobre (Cu)	3,2
Ferro (Fe)	110,0
Manganês (Mn)	644,0
Zinco (Zn)	30,0

NOTAS: <sup>1</sup>unidade utilizada nos macronutrientes; <sup>2</sup>unidade utilizada nos micronutrientes.  
 FONTE: REISSMANN e WISNIEWSKI (2000); LA TORRACA (1984)

Comparando-se com os valores existentes na literatura (Quadro 04), pode-se dizer que os níveis foliares de N, P, K, Mn (com exceção do sítio Jararaca) e Zn nos sítios estudados são relativamente baixos e são indícios de que estes nutrientes podem tornar-se limitantes nestes sítios, enquanto que, os níveis foliares de Ca, Mg, Cu e Fe são aparentemente adequados para permitir um bom crescimento do *Pinus taeda*.

De maneira geral, pode-se dizer que a deficiência constatada quanto aos níveis foliares de N, P e K, pode ser atribuída à estação do ano em que foram coletadas as acículas (verão), pois a mesma foi realizada nos meses de janeiro e fevereiro. Diversos trabalhos com coníferas observaram teores máximos de N, P e K durante o inverno (WELLS; METZ, 1963; MEAD; PRITCHETT, 1974; MEAD; WILL, 1976; MEAD, 1984; PAYN; CLOUGH, 1987). No verão, as árvores estão sob grande estresse nutricional, devido à diminuição dos teores de nutrientes. A razão para essa queda dos teores de nutrientes, provavelmente, relaciona-se com a redistribuição dos elementos mais móveis, como o N, P e K, das acículas maduras para as partes novas em crescimento. Segundo SANDS e MULLIGAN (1990), a ciclagem interna de nutrientes é primariamente governada pela taxa de crescimento das árvores. Conseqüentemente, teores mais baixos de N, P e K encontrados durante as estações de maior crescimento, provavelmente, devem-se ao “efeito de diluição”. Enquanto que, no inverno, o aumento dos teores de N, P e K pode ser explicado

pelo menor crescimento das árvores, causando uma “concentração do nutriente”.

Com relação à deficiência constatada quanto aos níveis foliares de Zn, na área do Segundo Planalto Paranaense, tem sido observada deficiência de Zn nas acículas desta espécie, em parte pela interferência do P na absorção deste micronutriente, principalmente em solos de textura média. Fato comprovado também neste estudo, onde o solo com menor teor de P (Tabela 04) apresentou maior teor de Zn nas acículas (Tabela 07). REISSMANN e WISNIEWSKI (2000), estudando os aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*, observaram relações entre os teores de P e Zn nas acículas de *Pinus taeda* e sua relação com a produtividade da espécie.

Já, a deficiência constatada quanto aos níveis foliares de Mn (com exceção do sítio Jararaca), deve estar relacionada à quantidade contida nos solos deste nutriente, uma vez que, esta deficiência foi constatada justamente nos sítios que apresentam menores valores deste elemento no solo (Tabela 04) e também relacionada à sua redistribuição dentro das árvores.

Os teores foliares de Ca, Mg, Fe e Cu não indicaram índices de deficiência, sendo aparentemente adequados para permitir um bom crescimento. Com relação à estação do ano em que foram coletadas as acículas (verão), o Ca tende a apresentar valores máximos nesta estação, fato este comprovado por WELLS e METZ (1963), MEAD (1984) e PAYN e CLOUGH (1987). No caso do Ca, isto, possivelmente, relaciona-se com a baixa mobilidade deste elemento, que é pouco redistribuído no início da estação de crescimento e, assim, é acumulado. No caso do Mg, Fe e Cu geralmente, não há diferenças significativas nos teores médios entre as estações do ano (WELLS; METZ, 1963; MEAD; PRITCHETT, 1974).

Observou-se ainda que, os solos com maiores teores dos nutrientes (Tabela 04) na profundidade de 0-5 cm, também apresentaram maiores teores destes mesmos nas acículas das árvores de *Pinus taeda*. Enquanto os maiores teores de Ca e Mg foram obtidos nas árvores procedentes do sítio Esterco, os maiores teores de P, K, Cu, Mn e Zn foram encontrados nas acículas dos outros sítios. O teor de N foi menor no sítio Esterco, refletindo uma condição observada a campo de menor vigor de crescimento das árvores neste local e de maior acúmulo de acículas na superfície do solo.



### 5.1.4 Características das Árvores

Na tabela 08 são apresentados os resultados médios determinados para o diâmetro à altura do peito, altura total e altura comercial das árvores amostradas de *Pinus taeda*, juntamente com o teste de médias.

TABELA 08 - VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES DE *Pinus taeda* AMOSTRADAS PARA CADA SÍTIO

SÍTIO	DAP <sup>1</sup>	HTOTAL <sup>2</sup>	HCOM <sup>3</sup>	N <sup>4</sup>
	Cm	m		
Esterco	27,18 A	16,94 B	13,40 B	5
Lageado	24,67 A	22,79 A	19,16 A	5
Jararaca	30,08 A	22,86 A	19,75 A	5
F	2,27 <sup>ns</sup>	18,05*	15,39*	-

NOTAS: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>não significativo.

<sup>1</sup>diâmetro a altura do peito; <sup>2</sup>altura total; <sup>3</sup>altura comercial; <sup>4</sup>número de amostras.

Verificou-se entre os sítios estudados, grande diferença na altura total e comercial média, que é estatisticamente significativa, sendo menor para as árvores do sítio Esterco. Em termos percentuais, a altura total e comercial média é cerca de 25% superior nos sítios Lageado e Jararaca em relação ao sítio menos produtivo do estudo (sítio Esterco).

Embora os sítios Lageado e Jararaca não tenham diferido estatisticamente em valores médios com relação às características das árvores amostradas, o sítio Jararaca, que apresenta textura mais argilosa, foi o melhor na questão de crescimento, principalmente quando avaliamos o parâmetro diâmetro médio à altura do peito. Isto pode ser decorrente da melhor condição física do solo deste sítio, onde os atributos físicos do solo foram muito mais importantes que os atributos químicos. Segundo CORREIA et al. (1996) e LAL (1979), a profundidade efetiva do solo juntamente com a densidade global, porosidade total e disponibilidade de água, têm sido considerados os principais responsáveis pelo crescimento das espécies arbóreas, inclusive *Pinus taeda*. E, são principalmente, estas variáveis que estão presentes em melhores condições no sítio mais produtivo deste estudo.

O fato do sítio mais arenoso do presente trabalho (sítio Esterco), geralmente, apresentar o menor crescimento (LASO GARICOITS, 1990), coincide com o observado na distribuição natural da espécie. QUINTEROS DOLDAN (1987),

SANTOS FILHO e ROCHA (1987) e RIGATTO (2002), observaram em estudos feitos também no Segundo Planalto Paranaense, que os menores crescimentos do *Pinus taeda* estavam associados a solos arenosos em posições da paisagem que favoreciam alta lixiviação e pequena profundidade efetiva do solo.

### 5.1.5 Propriedades da Madeira

#### 5.1.5.1 Massa específica básica

Na tabela 09 são apresentados os resultados médios determinados para a massa específica básica ponderada das árvores amostradas de *Pinus taeda*, juntamente com o teste de médias.

TABELA 09 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PONDERADA MÉDIA NOS DIFERENTES SÍTIOS

SÍTIO	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA kg/m <sup>3</sup>	N <sup>1</sup>
Esterco	386,36 AB	25
Lageado	377,08 B	25
Jararaca	439,96 A	25
F	5,07*	-

NOTAS: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>número de amostras.

Os valores médios de massa específica básica determinados (Tabela 9), situam-se dentro da faixa de variação dos resultados encontrados por pesquisadores que trabalharam com árvores de idades próximas e plantadas no Sul do Brasil, como MORESCHI (1975), TOMASELLI (1980), KLOCK (2000) e RIGATTO (2002).

A amplitude de variação foi de 62,88 kg/m<sup>3</sup> (entre os sítios Jararaca e Lageado), nota-se que nominalmente as diferenças são consideráveis, embora, estejam dentro da variação esperada para espécies de rápido crescimento, assemelhando-se aos resultados verificados para espécies do gênero *Pinus*, apresentados por KOCH (1972), CHOONG e FOOG (1989) e CHIES (2005).

O sítio Jararaca, o qual apresenta textura mais argilosa, apresentou tendência a maiores valores médios de massa específica básica, o que contraria alguns estudos já realizados, como por exemplo, HARRIS (1963), TSOUMIS e PANAGIOTIDIS (1980) e RIGATTO (2002), que estudaram o efeito das condições

de crescimento nas propriedades da madeira de *Pinus radiata*, *Pinus nigra* e *Pinus taeda*, respectivamente, e observaram que as madeiras provenientes de sítios com ritmo de crescimento elevado, que apresentavam textura mais argilosa, apresentavam menores valores de massa específica básica.

#### 5.1.5.2 Dimensões das fibras e suas relações

Os resultados médios obtidos para as dimensões de fibras e suas relações, para cada sítio, são apresentados na tabela 10, juntamente com o teste de médias.

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS E SUAS RELAÇÕES NAS ÁRVORES AMOSTRADAS PARA CADA SÍTIO

SÍTIO	C <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	DL <sup>3</sup>	EP <sup>4</sup>	N <sup>9</sup>
	mm		µm		
Esterco	3,03 A	50,96 C	34,42 B	8,27 A	25
Lageado	3,02 A	51,51 B	33,67 C	8,92 B	25
Jararaca	3,03 A	53,76 A	35,11 A	9,33 C	25
F	1,19 <sup>ns</sup>	64,91*	16,53*	180,86*	-
SÍTIO	IR <sup>5</sup>	FP <sup>6</sup>	CF <sup>7</sup>	IE <sup>8</sup>	N <sup>9</sup>
	-	%		-	
Esterco	0,52 A	33,29 A	66,71 A	61,85 A	25
Lageado	0,57 B	35,11 B	64,90 B	60,29 B	25
Jararaca	0,57 B	35,25 B	64,75 B	58,00 C	25
F	38,89*	41,35*	41,29*	33,99*	-

NOTAS: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

<sup>1</sup>comprimento; <sup>2</sup>largura; <sup>3</sup>diâmetro do lume; <sup>4</sup>espessura da parede; <sup>5</sup>índice de runkel; <sup>6</sup>fração parede; <sup>7</sup>coeficiente de flexibilidade; <sup>8</sup>índice de enfelemento; <sup>9</sup>número de amostras.

Os valores médios determinados neste estudo (Tabela 10), situam-se dentro da faixa de variação dos resultados encontrados por pesquisadores que trabalharam com árvores de idades próximas, como MORESCHI (1975), TOMASELLI (1980), MENDONÇA (1982) e RIGATTO (2002). No entanto, quando comparados aos resultados apresentados por MUÑIZ (1993) e SHIMOYAMA (2005), os resultados médios deste estudo são inferiores, o que deve estar relacionado ao fato das árvores analisadas pelas autoras serem de maior idade, no caso foram estudadas árvores de *Pinus taeda* de 30 e 28 anos, respectivamente.

De acordo com os valores apresentados na tabela 10, não houve diferença estatística entre os valores médios de comprimento das fibras obtidas entre os sítios estudados. Considerando a largura e o diâmetro do lume das fibras, houve

diferenças estatísticas entre os sítios estudados. Com relação a espessura da parede das fibras, os valores médios obtidos em todas as situações analisadas diferiram estatisticamente.

Nas relações obtidas à partir das dimensões das fibras, observa-se que os valores de índices de Runkel foram um pouco superiores aos relatados pela bibliografia como ideais para boas resistências à tração da celulose/pasta (Quadro 01, pág. 15). Já os valores de fração de parede foram inferiores a 40%, valor considerado como limite para boas resistências à tração da celulose/pasta. As fibras também apresentaram boa flexibilidade e capacidade de entrelaçamento.

De maneira geral, as madeiras provenientes de sítio com taxa de crescimento mais elevada (sítio Jararaca) e com textura mais argilosa, mostraram-se com tendência a terem fibras mais largas e maiores diâmetros do lume (Tabela 10), não havendo diferenciação no comprimento e na espessura da parede das fibras. Isso contraria os resultados obtidos por COWN (1974), TSOUKIS e PANAGIOTIDIS (1980) e RIGATTO (2002), que evidenciaram redução no comprimento e afinamento da espessura da parede das fibras, em função da taxa de crescimento imposta por diferentes tipos de sítios para o *Pinus taeda*.

Entretanto, foi no sítio Esterco, tido como o menos produtivo deste estudo, que se obteve índices de qualidade de fibras considerados ideais para fabricação de papel. O que, provavelmente está relacionada à taxa de crescimento imposta por este sítio. Analisando os dados das tabelas 04 e 06 (pág. 57 e 63, respectivamente), pode-se observar que este sítio apresentou atributos químicos do solo apropriados ao desenvolvimento desta espécie, enquanto que, em relação aos atributos físicos, uma variável que chama bastante a atenção é a profundidade efetiva do solo, sendo que, neste sítio, as árvores tiveram em média cerca de 63 cm de profundidade para o seu crescimento. Cabe lembrar, que dentre os atributos físicos do solo, a profundidade efetiva é um dos fatores mais importantes na produtividade do sítio, afetando a disponibilidade de água, resistência do solo, penetração de raízes e disponibilidade de nutrientes (LAL, 1979). Portanto, o que mais limitou o crescimento neste sítio, foram os atributos físicos do solo, em especial, a profundidade efetiva. No entanto, esta redução na taxa de crescimento, foi favorável para a produção de madeira com uma qualidade de fibra apropriada para a fabricação de papel.

### 5.1.6 Velocidade de Propagação das Ondas de Tensão

Na tabela 11 são apresentados os resultados médios obtidos para a velocidade média de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras de *Pinus taeda* nos diferentes sítios estudados, juntamente com o teste de médias.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES EM PÉ E TORAS AMOSTRADAS PARA CADA SÍTIO

SÍTIO	ÁRVORES EM PÉ		TORAS			N <sup>3</sup>
	LONG. <sup>1</sup>	TRANSV. <sup>2</sup>	TORA 1	TORA 2	TORA 3	
	m/s					
Esterco	791,30 A	504,22 A	2394,13 C	2405,98 C	2517,22 BC	5
Lageado	745,69 A	522,41 A	2654,65 B	2634,52 B	2619,06 B	5
Jararaca	740,01 A	525,01 A	2883,62 A	2812,26 A	3122,30 A	5
F	0,68 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	4,76*	4,82*	5,01*	-

NOTAS: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

<sup>1</sup>leituras longitudinais na árvore em pé; <sup>2</sup>leituras transversais na árvore em pé; <sup>3</sup>número de amostras.

Os valores médios para velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé, tanto no sentido longitudinal quanto transversal, apresentaram-se inferiores aos valores obtidos nas toras. Resultado já esperado, uma vez que as barreiras para propagação do som são maiores na árvore em pé, reduzindo a velocidade e, conseqüentemente, aumentando o tempo de propagação das ondas de tensão.

O fato de não haver diferença estatística entre os valores médios de velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé, tanto no sentido longitudinal quanto transversal, entre os sítios estudados é bom, uma vez que, demonstra que a qualidade do sítio ou suas características não afetaram a propagação das ondas de tensão, sendo que, as relações que existiram foram devidas apenas à madeira produzida nestes sítios, com isto, fica constatada a eficiência deste método como ferramenta para a qualificação não destrutiva de árvores em pé.

Observando a tabela 11, pode-se notar que a velocidade média de propagação das ondas de tensão nas toras, de maneira geral, apresentou valores maiores para a segunda e terceira tora. Constata-se com este fato, que a redução na massa

específica ao longo do fuste das árvores, influenciou na velocidade de propagação das ondas de tensão entre as toras.

Confrontando os resultados desta pesquisa com os valores obtidos por SHIMOYAMA (2005), que pesquisou a velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras para *Pinus taeda*, verifica-se que os valores médios situam-se na faixa de variação dos resultados encontrados pela autora, que foram de 2271 m/s e 2307 m/s, para a primeira e segunda tora, respectivamente.

PUEHRINGER (2002) estudando o uso da emissão de ondas de tensão para a avaliação não destrutiva de árvores de *Pinus taeda* encontrou valores de 2239 m/s e 2333 m/s para a primeira e segunda tora, respectivamente, confirmando os resultados encontrados nesta pesquisa, onde a velocidade de propagação das ondas de tensão é maior na segunda tora.

## 5.2 RESULTADOS DA ÁREA EXPERIMENTAL II: ESPAÇAMENTO

### 5.2.1 Estado Nutricional das Árvores

Em relação ao estado nutricional das árvores de *Pinus taeda*, apenas os valores médios de zinco apresentaram diferença estatística significativa para os espaçamentos estudados (Tabela 12).

Como já mencionado anteriormente, a espécie estudada é considerada de baixa exigência nutricional (FERREIRA et al., 2001). Entretanto, em investigações realizadas na área de estudo, há indícios de níveis deficientes de alguns dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn), segundo VETTORAZZO (1994).

A tabela 12 apresenta a concentração foliar média de nutrientes das árvores de cada espaçamento, juntamente com estudo de regressão por meio de polinômios ortogonais.

TABELA 12 - CONCENTRAÇÃO FOLIAR MÉDIA DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES DE CADA ESPAÇAMENTO E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

TRAT. <sup>1</sup>	ESP. <sup>2</sup>	ÁREA/ÁRV. <sup>3</sup>	N <sup>4</sup>	P <sup>5</sup>	K <sup>6</sup>	Ca <sup>7</sup>	Mg <sup>8</sup>	Cu <sup>9</sup>	Fe <sup>10</sup>	Mn <sup>11</sup>	Zn <sup>12</sup>	N <sup>13</sup>
	m x m	m <sup>2</sup> /Árvore	g/kg				mg/kg					
T1	1,5 x 2,0	3,00	18,45	0,94	4,46	1,95	0,82	4,12	119,59	503,68	31,34	3
T2	1,5 x 2,5	3,75	16,95	0,86	4,71	3,74	0,78	3,28	145,38	844,19	20,12	3
T3	1,5 x 3,0	4,50	18,03	0,96	4,93	3,59	0,91	3,82	119,57	966,39	16,34	3
T4	2,5 x 2,0	5,00	18,03	0,92	4,64	2,32	0,71	3,35	169,09	661,79	21,56	3
T5	2,5 x 2,5	6,25	17,84	0,83	3,63	2,07	0,65	3,21	210,18	759,33	26,52	3
T6	3,5 x 2,0	7,00	18,02	0,86	4,10	3,65	1,11	3,88	284,54	895,31	28,46	3
T7	2,5 x 3,0	7,50	19,52	0,90	4,13	2,01	0,79	4,05	165,61	578,38	32,68	3
T8	3,5 x 2,5	8,75	19,44	0,98	4,42	2,68	0,90	3,78	123,12	980,53	27,32	3
T9	3,5 x 3,0	10,50	16,33	0,83	4,28	4,61	0,94	3,68	192,86	877,91	15,77	3
Valor p	Modelo	Linear	0,9484	0,4941	0,2541	0,3495	0,3403	0,8140	0,3467	0,2961	0,8313	-
		Quadrática	0,4040	0,8045	0,3361	0,3680	0,6332	0,8841	0,3614	0,5903	0,6445	-
		Cúbica	0,0619	0,7160	0,4958	0,2672	0,8053	0,4047	0,5539	0,6726	0,0207	-

NOTAS: <sup>1</sup>tratamentos; <sup>2</sup>espaçamentos; <sup>3</sup>área por árvore; <sup>4</sup>nitrogênio; <sup>5</sup>fósforo; <sup>6</sup>potássio; <sup>7</sup>cálcio; <sup>8</sup>magnésio; <sup>9</sup>cobre; <sup>10</sup>ferro; <sup>11</sup>manganês; <sup>12</sup>zinco; <sup>13</sup>número de amostras.

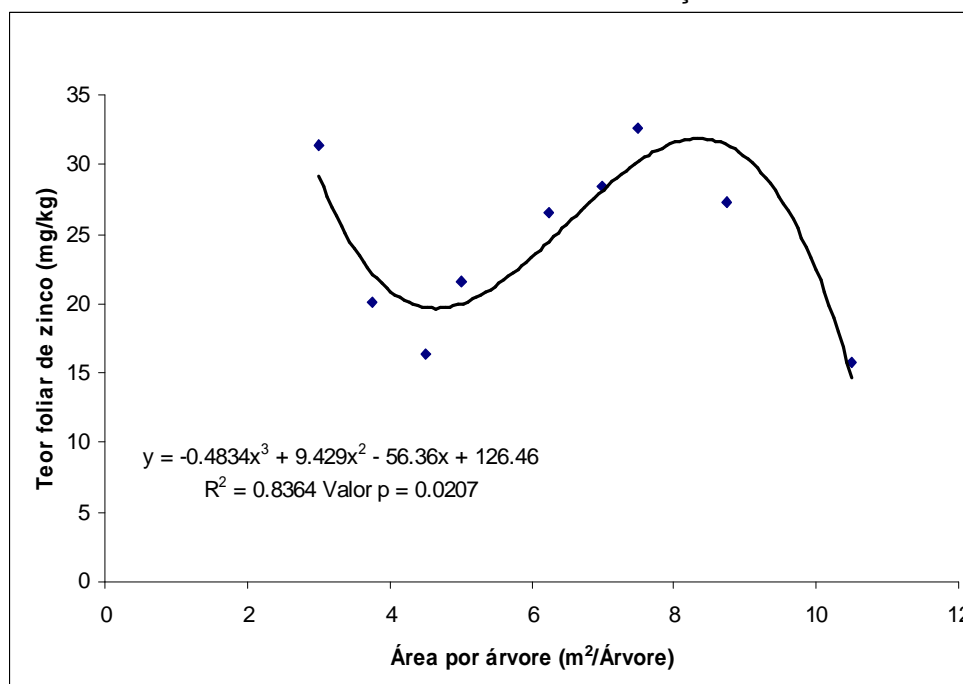
Comparando-se com os valores da literatura (Quadro 04, pág. 65), pode-se dizer que os níveis foliares de P, K e Zn (com exceção do T1 e T7), nos espaçamentos estudados, são relativamente baixos e são indícios de que estes nutrientes podem tornar-se limitantes nestes sítios, enquanto que os níveis foliares de N (com exceção do T2, T5 e T9), Ca, Mg, Cu, Fe, Mn (com exceção do T1 e T7) são aparentemente adequados para permitir um bom crescimento. De maneira geral, pode-se dizer que a deficiência constatada quanto aos níveis foliares de P, K e Zn, pode ser atribuída a valores baixos destes nutrientes no solo onde o plantio foi instalado, uma vez que, a estação do ano em que foram coletadas as acículas (inverno), a coleta foi realizada nos meses de junho e julho, seria o período ideal para a coleta. Diversos trabalhos com coníferas observaram teores máximos destes nutrientes durante o inverno (WELLS; METZ, 1963; MEAD; PRITCHETT, 1974; MEAD; WILL, 1976; MEAD, 1984; PAYN; CLOUGH, 1987). Neste período não ocorre a redistribuição dos elementos mais móveis, entre eles, o P e K, das acículas maduras para as partes novas em crescimento, causando uma “concentração do nutriente”. Com relação ao Zn, também tem sido observada deficiência deste elemento na área em estudo.

Os teores foliares de N (com exceção do T2, T5 e T9), Ca, Mg, Cu, Fe e Mn (com exceção do T1 e T7) não indicaram índices de deficiência, sendo aparentemente adequados para permitir um bom crescimento. Com relação à estação do ano em que foram coletadas as acículas (inverno), o N tende a apresentar valores máximos nesta estação, fato este comprovado por WELLS e METZ (1963), MEAD e PRITCHETT (1974), MEAD e WILL (1976), MEAD (1984) e PAYN e CLOUGH (1987), pois como neste período o crescimento das árvores é menor, não ocorre a redistribuição deste elemento para as partes novas em crescimento. No caso do Ca, em relação a estação do ano em que foram coletadas as acículas, o Ca tende a apresentar valores máximos no verão (WELLS; METZ, 1963; MEAD, 1984; PAYN; CLOUGH, 1987), no entanto, devido a baixa mobilidade deste elemento, foram encontrados valores adequados para permitir um bom crescimento mesmo no inverno. Em relação ao Mg, Cu, Fe e Mn, geralmente, não há diferenças significativas nos teores médios entre as estações do ano (WELLS; METZ, 1963; MEAD; PRITCHETT, 1974).



No entanto, com relação ao estudo do espaçamento, somente o Zn apresentou diferença estatística significativa com o aumento da área entre árvores. Cabe enfatizar, que este aumento no teor de zinco ocorreu até um certo ponto, no qual, o aumento do espaçamento entre árvores não foi mais predominante na absorção foliar deste elemento (Gráfico 1). O que deve ter ocorrido em virtude do “efeito diluição”, quando a velocidade de crescimento da planta é maior que a velocidade de absorção do zinco e, conseqüentemente, a concentração do metal diminui nos tecidos.

GRÁFICO 1 - TEOR FOLIAR DE ZINCO NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS



De uma maneira geral, este fenômeno é muito contraditório, visto que em condições semelhantes ou adversas o que foi recém exposto não foi verificado.

### 5.2.2 Características das Árvores

Na tabela 13 são apresentados os resultados médios determinados para o DAP, altura total e altura comercial das árvores amostradas de *Pinus taeda*, juntamente com estudo de regressão por meio de polinômios ortogonais.

TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES DE *Pinus taeda* AMOSTRADAS PARA CADA ESPAÇAMENTO E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

TRAT. <sup>1</sup>	ESP. <sup>2</sup>	ÁREA/ÁRV. <sup>3</sup>	DAP <sup>4</sup>	HTOTAL <sup>5</sup>	HCOM <sup>6</sup>	N' <sup>7</sup>
	m x m	m <sup>2</sup> /Árvore	cm	m		
T1	1,5 x 2,0	3,00	26,74	27,70	23,61	5
T2	1,5 x 2,5	3,75	26,48	27,22	23,44	5
T3	1,5 x 3,0	4,50	26,87	27,41	23,52	5
T4	2,5 x 2,0	5,00	26,93	27,80	23,77	5
T5	2,5 x 2,5	6,25	27,31	26,84	23,60	5
T6	3,5 x 2,0	7,00	28,84	26,08	22,98	5
T7	2,5 x 3,0	7,50	27,69	26,74	23,38	5
T8	3,5 x 2,5	8,75	30,69	27,19	23,56	5
T9	3,5 x 3,0	10,50	31,12	26,87	23,18	5
Valor p	Modelo	Linear	0,0005	0,1252	0,1774	-
		Quadrática	0,0013	0,1649	0,4317	-
		Cúbica	0,0047	0,3308	0,6742	-

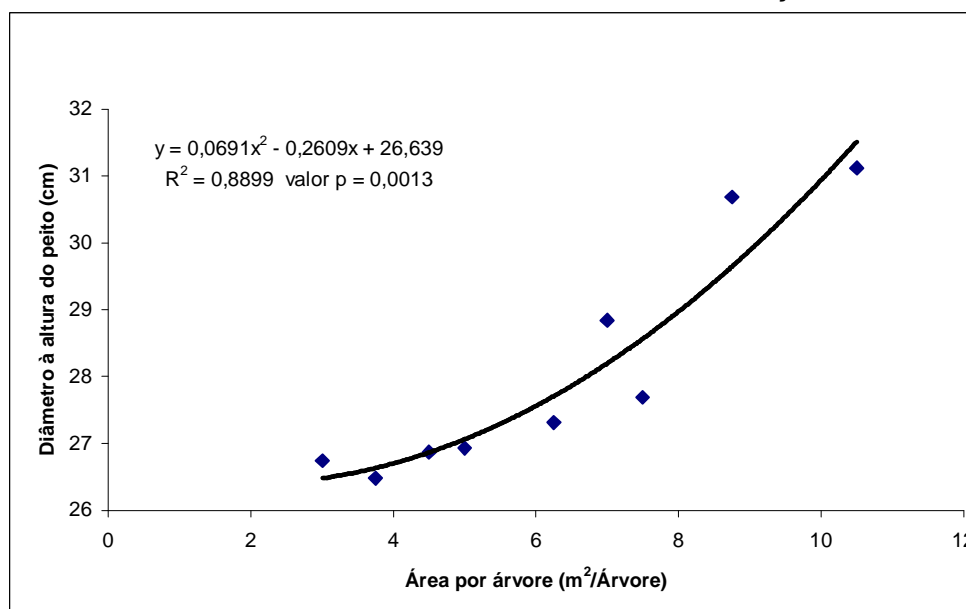
NOTAS: <sup>1</sup>tratamentos; <sup>2</sup>espaçamentos; <sup>3</sup>área por árvore; <sup>4</sup>diâmetro a altura do peito; <sup>5</sup>altura total; <sup>6</sup>altura comercial; <sup>7</sup>número de amostras.

Analisando os resultados da tabela 13, observa-se que o DAP das árvores amostradas apresentou valores crescentes com o aumento do espaçamento entre árvores, sendo que, a amplitude de variação das médias para o DAP foi de 4,64 cm. Com base nos valores obtidos, o teste de regressão por meio de polinômios ortogonais detectou diferença estatística significativa para esta variável.

As alturas total e comercial entre as árvores amostradas, por sua vez, apresentaram comportamento contrário, ou seja, apresentaram valores levemente decrescentes com o aumento do espaçamento entre árvores, sendo que, as amplitudes de variação das médias foram de 1,72 m para altura total e 0,79 m para altura comercial. Contudo, com base nos valores obtidos, o teste de regressão por meio de polinômios ortogonais não detectou diferenças estatísticas significativas para altura total e comercial das árvores amostradas.

Os resultados apresentados demonstram que o espaçamento entre árvores não influenciou no crescimento das árvores, no entanto, indicam que nos menores espaçamentos o crescimento em diâmetro tende a ser menor (Gráfico 2), provavelmente em função da maior competição por água, luz e nutrientes, confirmando os resultados encontrados na literatura. Contudo esta condição resultou em maior crescimento em altura para os menores espaçamentos, embora de forma menos pronunciada.

GRÁFICO 2 - DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS



### 5.2.3 Propriedades da Madeira

#### 5.2.3.1 Massa específica básica

Na tabela 14 são apresentados os resultados médios determinados para a massa específica básica ponderada das árvores amostradas de *Pinus taeda*, juntamente com estudo de regressão por meio de polinômios ortogonais.

TABELA 14 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PONDERADA MÉDIA NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

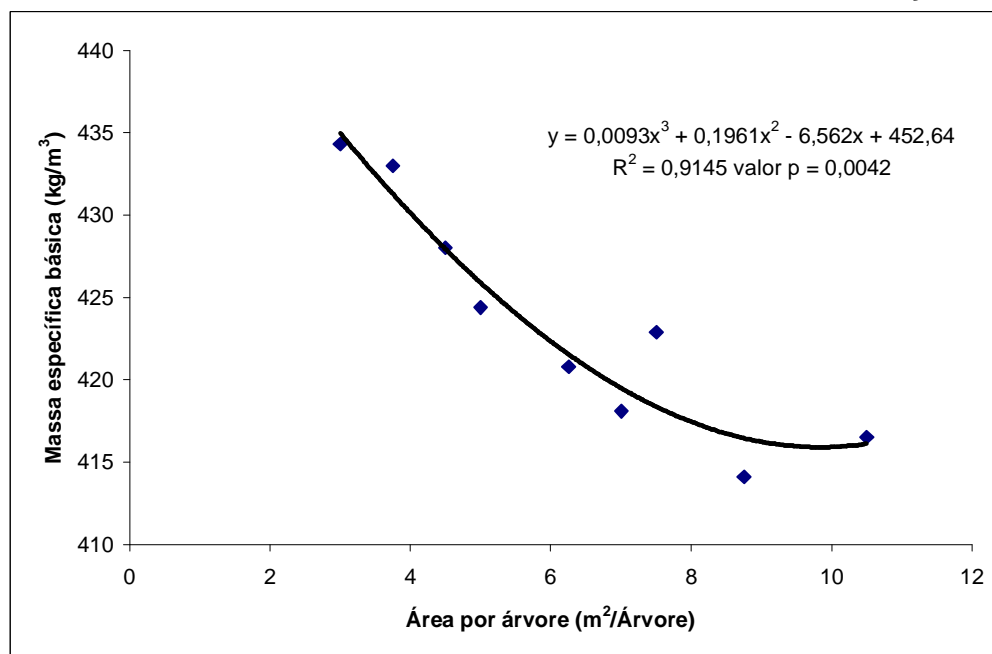
TRAT. <sup>1</sup>	ESP. <sup>2</sup>	ÁREA/ÁRV. <sup>3</sup>	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	N <sup>4</sup>
	m x m	m <sup>2</sup> /Árvore	kg/m <sup>3</sup>	
T1	1,5 x 2,0	3,00	434,3	25
T2	1,5 x 2,5	3,75	433,0	25
T3	1,5 x 3,0	4,50	428,0	25
T4	2,5 x 2,0	5,00	424,4	25
T5	2,5 x 2,5	6,25	420,8	25
T6	3,5 x 2,0	7,00	418,1	25
T7	2,5 x 3,0	7,50	422,9	25
T8	3,5 x 2,5	8,75	414,1	25
T9	3,5 x 3,0	10,50	416,5	25
Valor p	Modelo	Linear	0,0007	-
		Quadrática	0,0006	-
		Cúbica	0,0042	-

NOTAS: <sup>1</sup>tratamentos; <sup>2</sup>espaçamentos; <sup>3</sup>área por árvore; <sup>4</sup>número de amostras.

Os valores médios de massa específica básica determinados neste estudo (Tabela 14), situam-se dentro da faixa de variação dos resultados encontrados por pesquisadores que trabalharam com árvores de idades próximas e plantadas no sul do Brasil, como MORESCHI (1975), TOMASELLI (1979), MUÑIZ (1993), HASSEGAWA (2003) e SHIMOYAMA (2005).

A massa específica básica apresentou valores decrescentes com o aumento do espaçamento entre árvores (Gráfico 3), sendo que, a amplitude de variação foi de 20,2 kg/m<sup>3</sup>. Este fato é comprovado por HAR RIS (1963), que relatou a tendência decrescente da massa específica da madeira de *Pinus radiata*, com o aumento da taxa de crescimento.

GRÁFICO 3 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PONDERADA NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS



Os resultados apresentados indicam uma possível influência do espaçamento na massa específica básica da madeira. Pode-se explicar este comportamento com base nos resultados apresentados para DAP (Tabela 13, pág. 76): Observa-se que nos menores espaçamentos o crescimento em diâmetro foi menor, ou seja, indivíduos com menores taxas de incremento anual em diâmetro, tendem a apresentar maior massa específica básica, pois possivelmente tem maior percentagem de lenho tardio, bem como menor proporção de madeira juvenil.

A tendência de diminuição da massa específica básica das árvores com o aumento do espaçamento contraria os valores encontrados por MONTAGNA et al. (1979 e 1980), que avaliaram a massa específica básica de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 17 anos de idade em três diferentes espaçamentos. Segundo os autores a massa específica básica não variou com os espaçamentos adotados, embora mostrasse ligeira tendência de aumentar nos espaçamentos maiores.

### 5.2.3.2 Dimensões das fibras e suas relações

Os valores médios obtidos para as dimensões de fibras e suas relações, para cada espaçamento, são apresentados na tabela 15, juntamente com estudo de regressão por meio de polinômios ortogonais.

TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS E SUAS RELAÇÕES NAS ÁRVORES AMOSTRADAS PARA CADA ESPAÇAMENTO E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

TRAT. <sup>1</sup>	ESP. <sup>2</sup>	ÁREA/ÁRV. <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>	L <sup>5</sup>	DL <sup>6</sup>	EP <sup>7</sup>	N <sup>12</sup>
	m x m	m <sup>2</sup> /Árvore	mm	µm			
T1	1,5 x 2,0	3,00	3,26	55,87	37,52	9,17	15
T2	1,5 x 2,5	3,75	3,39	56,15	35,27	10,44	15
T3	1,5 x 3,0	4,50	3,48	59,71	37,19	11,26	15
T4	2,5 x 2,0	5,00	3,40	57,66	35,33	11,16	15
T5	2,5 x 2,5	6,25	3,36	45,46	30,29	7,58	15
T6	3,5 x 2,0	7,00	3,38	42,27	27,39	7,44	15
T7	2,5 x 3,0	7,50	3,43	38,43	24,88	6,78	15
T8	3,5 x 2,5	8,75	3,39	38,74	24,84	6,95	15
T9	3,5 x 3,0	10,50	3,43	39,83	25,87	6,98	15
Valor p	Modelo	Linear	0,2958	0,0022	0,0008	0,0147	-
		Quadrática	0,4637	0,0094	0,0020	0,0624	-
		Cúbica	0,2079	0,0018	0,0006	0,0165	-
TRAT. <sup>1</sup>	ESP. <sup>2</sup>	ÁREA/ÁRV. <sup>3</sup>	IR <sup>8</sup>	FP <sup>9</sup>	CF <sup>10</sup>	IE <sup>11</sup>	N <sup>12</sup>
	m x m	m <sup>2</sup> /Árvore	-	%		-	
T1	1,5 x 2,0	3,00	0,51	33,17	66,83	59,58	15
T2	1,5 x 2,5	3,75	0,60	37,13	62,87	61,72	15
T3	1,5 x 3,0	4,50	0,62	37,74	62,26	59,63	15
T4	2,5 x 2,0	5,00	0,65	38,61	61,39	60,28	15
T5	2,5 x 2,5	6,25	0,52	33,60	66,40	75,48	15
T6	3,5 x 2,0	7,00	0,56	35,66	64,34	82,32	15
T7	2,5 x 3,0	7,50	0,56	35,47	64,53	91,05	15
T8	3,5 x 2,5	8,75	0,57	36,08	63,92	89,23	15
T9	3,5 x 3,0	10,50	0,55	35,34	64,66	87,51	15
Valor p	Modelo	Linear	0,6167	0,8003	0,8003	0,0010	-
		Quadrática	0,7492	0,8455	0,8455	0,0039	-
		Cúbica	0,4081	0,4988	0,4988	0,0008	-

NOTAS: <sup>1</sup>tratamentos; <sup>2</sup>espaçamentos; <sup>3</sup>área por árvore; <sup>4</sup>comprimento; <sup>5</sup>largura; <sup>6</sup>diâmetro do lume; <sup>7</sup>espessura da parede; <sup>8</sup>índice de runkel; <sup>9</sup>fração parede; <sup>10</sup>coeficiente de flexibilidade; <sup>11</sup>índice de enfiamento; <sup>12</sup>número de amostras.

Os valores médios determinados neste estudo (Tabela 15) para as dimensões das fibras estão dentro dos padrões esperados para a espécie aos 21 anos. Valores similares foram verificados por HASSEGAWA (2003), estudando a região próxima ao DAP desta espécie aos 25 anos de idade.

De acordo com os valores apresentados na tabela 15, e de acordo com as análises estatísticas procedidas, houve diferenças estatísticas entre os valores médios das variáveis estudadas, para os diferentes espaçamentos. Verifica-se também, que os valores de índices de Runkel foram um pouco superiores aos relatados pela bibliografia como ideais para boas resistências à tração da celulose/pasta (Quadro 01, pág. 15). Já os valores de fração de parede foram inferiores a 40%, valor considerado como limite para boas resistências à tração da celulose/pasta. As fibras também apresentaram boa flexibilidade e capacidade de entrelaçamento.

Os resultados apresentados indicam uma possível influência do espaçamento nas dimensões das fibras da madeira. Uma vez que, o aumento dos espaçamentos produziram fibras menos largas, com menores diâmetros do lume e menores espessuras da parede e, conseqüentemente, aumento do índice de enfieltramento, o que pode ser observado nos gráficos 4, 5, 6 e 7.

GRÁFICO 4 - LARGURA DAS FIBRAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

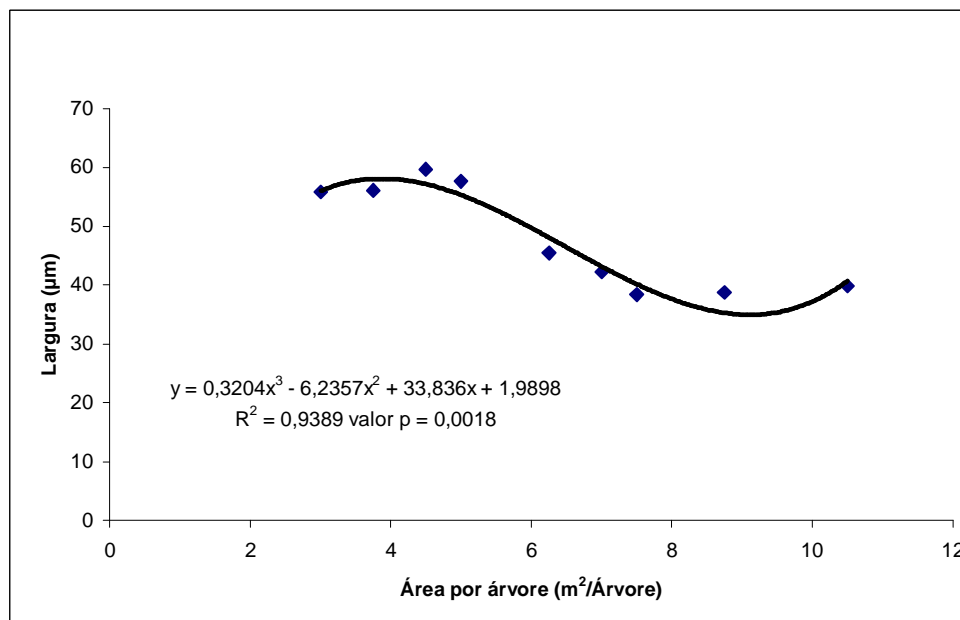


GRÁFICO 5 - DIÂMETRO DO LUME DAS FIBRAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

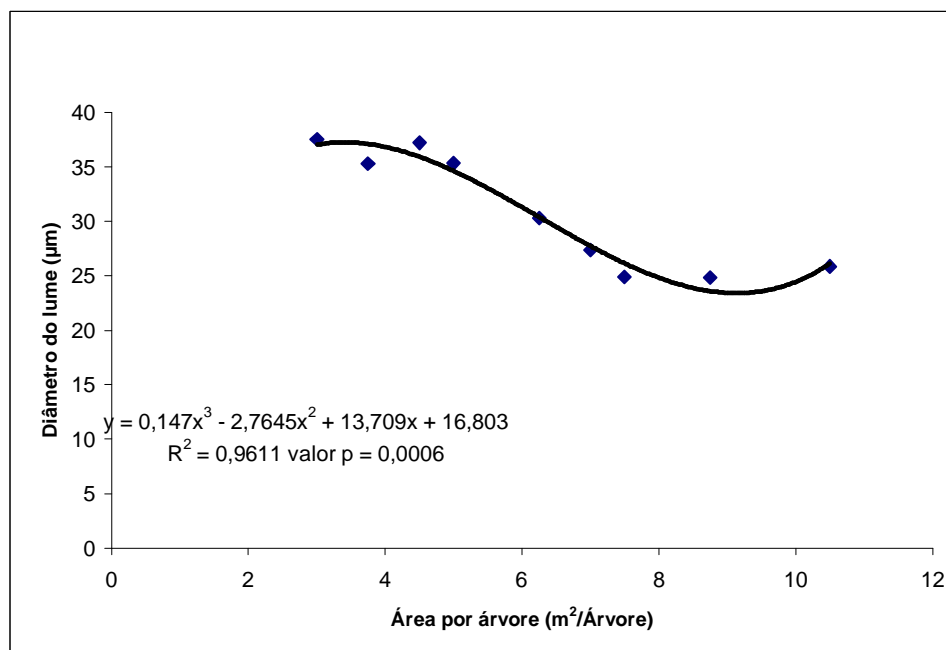


GRÁFICO 6 - ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

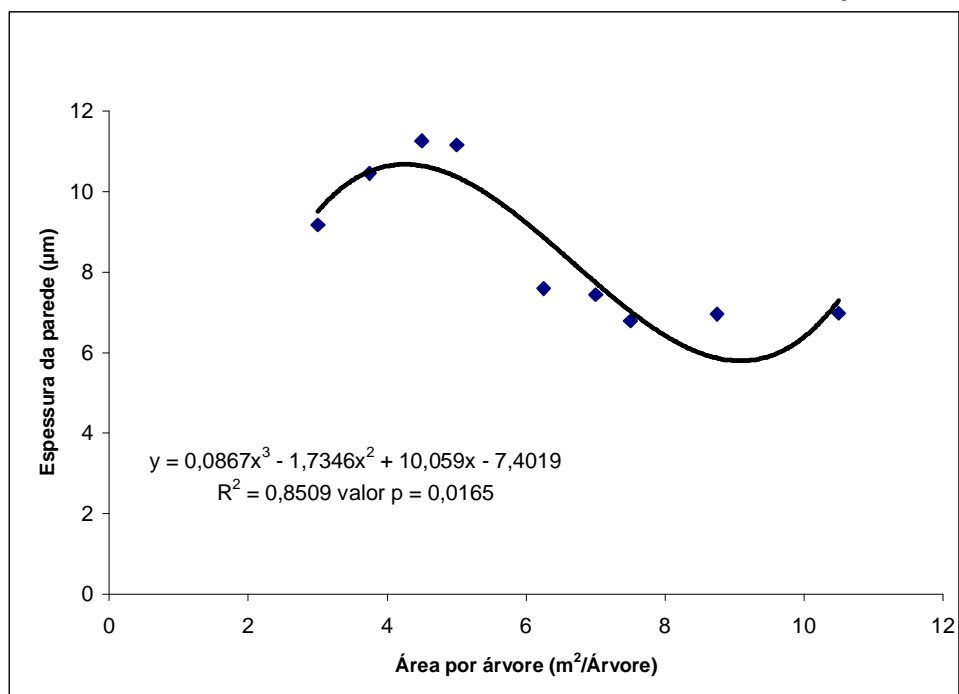
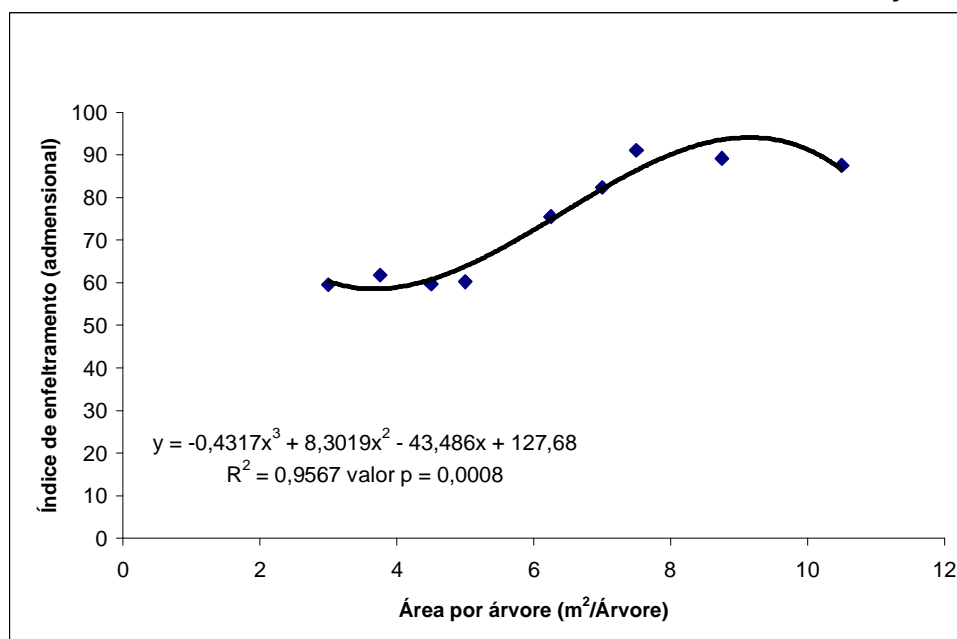


GRÁFICO 7 - ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DAS FIBRAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS



#### 5.2.4 Velocidade de Propagação das Ondas de Tensão

Na tabela 16 são apresentados os resultados médios obtidos para a velocidade média de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras de *Pinus taeda* nos diferentes espaçamentos, juntamente com estudo de regressão por meio de polinômios ortogonais.

TABELA 16 - VALORES MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES EM PÉ E NAS TORAS AMOSTRADAS EM CADA ESPAÇAMENTO E PROBABILIDADE DOS POLINÔMIOS ORTOGONIAIS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

TRAT. <sup>1</sup>	ESP. <sup>2</sup>	ÁREA/ÁRV. <sup>3</sup>	ÁRVORES EM PÉ		TORAS		N <sup>6</sup>
			LONG. <sup>4</sup>	TRANSV. <sup>5</sup>	TORA 1	TORA 2	
	m x m	m <sup>2</sup> /Árvore	m/s				
T1	1,5 x 2,0	3,00	746,63	568,73	2949,28	2901,35	5
T2	1,5 x 2,5	3,75	696,36	560,42	2749,27	2966,21	5
T3	1,5 x 3,0	4,50	708,33	500,40	2835,93	2890,32	5
T4	2,5 x 2,0	5,00	694,17	522,24	2749,31	2942,98	5
T5	2,5 x 2,5	6,25	676,13	487,66	2717,91	2868,54	5
T6	3,5 x 2,0	7,00	763,29	601,38	2689,15	2776,94	5
T7	2,5 x 3,0	7,50	715,04	500,17	2825,40	2933,00	5
T8	3,5 x 2,5	8,75	724,99	573,88	2542,27	2661,15	5
T9	3,5 x 3,0	10,50	748,60	545,03	2532,77	2738,85	5
Valor p	Modelo	Linear	0,3906	0,8698	0,0029	0,0187	-
		Quadrática	0,3986	0,7481	0,0069	0,0730	-
		Cúbica	0,3963	0,5769	0,0112	0,1238	-

NOTAS: <sup>1</sup>tratamentos; <sup>2</sup>espaçamentos; <sup>3</sup>área por árvore; <sup>4</sup>leituras longitudinais na árvore em pé; <sup>5</sup>leituras transversais na árvore em pé; <sup>6</sup>número de amostras.



Os valores médios para velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé, tanto no sentido longitudinal quanto transversal, apresentaram-se inferiores aos valores obtidos nas toras. Resultado já esperado, uma vez que as barreiras para propagação do som são maiores na árvore em pé, aumentando o tempo de propagação das ondas e, conseqüentemente, reduzindo a velocidade.

Observando a tabela 16, pode-se notar que a velocidade média de propagação das ondas de tensão nas toras, de maneira geral, apresentou valores maiores para a segunda tora. Constatou-se novamente com este fato, que a redução que acontece na massa específica ao longo do fuste das árvores, influenciou na velocidade de propagação das ondas de tensão entre as toras.

Estes resultados estão de acordo com as observações feitas por PUEHRINGER (2002) e SHIMOYAMA (2005), que pesquisaram a velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e toras de *Pinus taeda*.

Relacionando as variáveis estudadas com os diferentes espaçamentos, verificou-se uma redução na velocidade de propagação de ondas de tensão com o aumento do espaçamento, tanto na tora 1 quanto na tora 2 (Gráficos 8 e 9).

GRÁFICO 8 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO NA TORA 1 NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

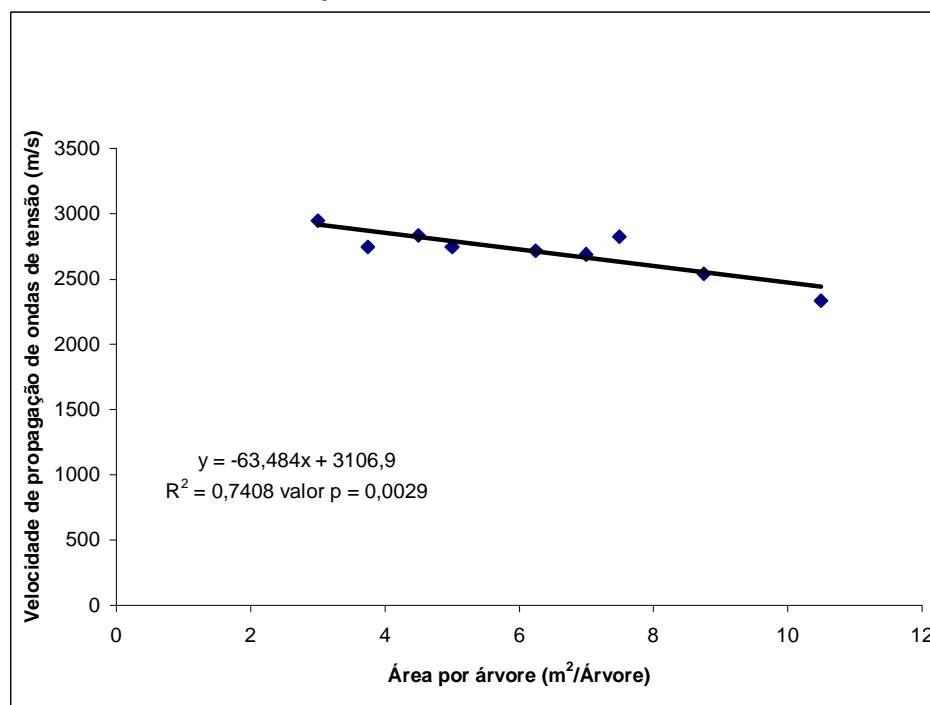
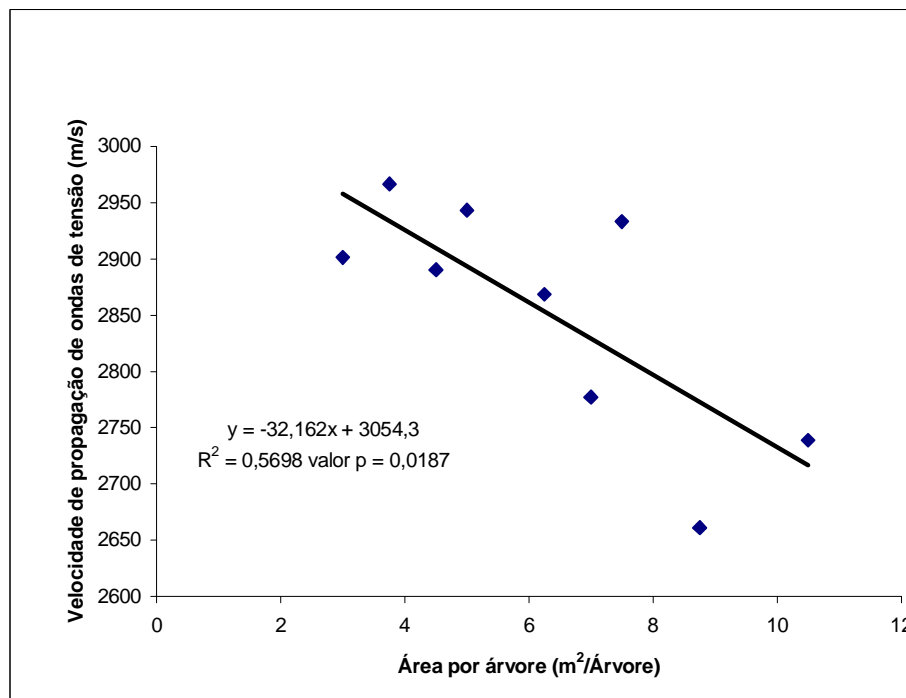


GRÁFICO 9 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO NA TORA 2 NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS



### 5.3. INTER-RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ESTUDADAS

Para estudo das inter-relações entre as variáveis 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.

#### 5.3.1. Inter-relações entre as Variáveis Estudadas para a Área Experimental I: Sítio de Crescimento

Para relacionar as propriedades da madeira, é necessário que todas as variáveis sejam correspondentes a uma mesma região do tronco. Portanto, para estas análises utilizou-se a média ponderada para cada propriedade avaliada.

Da mesma forma, para as variáveis do solo, avaliadas em diferentes profundidades, utilizou-se somatória das profundidades para cada variável para serem utilizadas nestas análises.

Na tabela 17 são apresentadas as relações existentes entre as variáveis 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.

TABELA 17 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO DE CRESCIMENTO

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	Zn <sup>3*</sup>	pH <sup>4</sup>	CaMg <sup>5**</sup>	SA <sup>6</sup>	Mn <sup>7**</sup>	Cu <sup>8**</sup>	DG <sup>9</sup>
Altura Total	-0,12	0,21	<b>0,77</b>	0,24	0,26	0,28	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>	-0,15
Altura Comercial	-0,21	0,28	<b>0,71</b>	0,17	0,21	0,24	<b>0,41</b>	<b>0,57</b>	-0,17
Diâmetro à Altura do Peito	-0,21	0,37	<b>0,58</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>0,55</b>	<b>0,74</b>	<b>0,44</b>	<b>0,42</b>
Massa Específica Básica	-0,13	0,12	0,12	-0,25	-0,23	-0,28	0,01	0,27	<b>0,42</b>
Comprimento de Fibra	<b>-0,43</b>	<b>0,49</b>	<b>0,47</b>	<b>0,42</b>	<b>0,40</b>	<b>0,41</b>	<b>0,62</b>	0,34	-0,24
Largura da Fibra	0,16	-0,18	-0,32	0,03	0,05	0,06	-0,19	<b>-0,40</b>	-0,17
Diâmetro do Lume	0,23	-0,23	-0,18	0,04	0,03	0,05	-0,15	-0,29	-0,20
Espessura da Parede	0,08	-0,12	-0,29	0,07	0,14	0,10	-0,31	<b>0,46</b>	-0,02
Índice de Runkel	-0,25	0,25	0,03	0,02	0,11	0,08	-0,04	0,02	0,17
Fração Parede	-0,18	0,16	-0,11	0,01	0,10	0,07	-0,11	-0,14	0,14
Coeficiente de Flexibilidade	0,18	-0,16	0,11	-0,01	-0,10	-0,07	0,11	0,14	-0,14
Índice de Enfeltramento	-0,38	0,33	<b>0,51</b>	0,28	0,25	0,27	<b>0,64</b>	0,35	-0,03

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; \*\*nutrientes no solo; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>zinco; <sup>4</sup>acidez do solo; <sup>5</sup>cálcio + magnésio; <sup>6</sup>saturação por alumínio; <sup>7</sup>manganês; <sup>8</sup>cobre; <sup>9</sup>densidade global.

O comprimento de fibras apresentou correlação negativa com o tempo e positiva com a velocidade de propagação de ondas de tensão no sentido longitudinal. Resultado já esperado, pois neste sentido a onda percorre a parede da fibra, ao longo de seu comprimento, e ao final apresentam leve queda entre uma fibra e outra, quando então retomam a direção do percurso. Dessa forma, quanto maior o comprimento da fibra, maior o caminho contínuo da parede a ser percorrido, propiciando menor tempo de propagação da onda e maior velocidade, resultados também observados por POELGE (1984), BUCUR (1988) e SHIMOYAMA (2005).

O teor de Zn foliar apresentou correlações positivas com as variáveis de crescimento. Estas correlações observadas estão de acordo com os resultados obtidos por QUINTEROS DOLDAN (1987), LASO GARICOITS (1990) e MENEGOL (1991). Estes autores, estudando espécies do gênero *Pinus*, observaram que o teor foliar de Zn correlaciona-se positivamente com o crescimento em altura e volume

deste gênero. Além da correlação positiva com o crescimento, também foi observada correlação positiva entre o Zn, o comprimento de fibras e o índice de enfiamento. Neste caso, percebe-se que a influência imposta por este elemento no ritmo de crescimento das árvores deste gênero, influencia diretamente na madeira produzida e, conseqüentemente, no comprimento de fibras, sendo que, o índice de enfiamento é determinado pela divisão entre o comprimento e a largura das fibras, ou seja, está ligado ao comprimento de fibras.

Foram encontradas algumas correlações entre os atributos químicos do solo, variáveis de crescimento e variáveis de qualidade da madeira, dentre as quais, as que mais se destacaram foram: o pH, Ca + Mg, Mn, Cu e saturação por alumínio.

O pH correlacionou-se positivamente com o diâmetro à altura do peito e com o comprimento de fibras, o que deve ter acontecido pelo fato do pH, embora não tenha apresentado valores críticos nos sítios estudados, pode ter apresentado algum valor que tenha restringido um pouco o crescimento em altura desta espécie e, conseqüentemente, contribuído na produção de madeira com melhores valores para comprimento de fibras. Resultados similares foram observados por COCHRAN (1984) e RIGATTO (2002).

Quanto aos teores de Ca + Mg, Mn e Cu no solo, também apresentaram correlações positivas com as variáveis de crescimento, fato este já comprovado em estudos feitos por QUINTEROS DOLDAN (1987), LASO GARICOITS (1990), MENEGOL (1991) e RIGATTO (2002). Sendo que, o Ca + Mg e o Mn, apresentaram também correlações positivas com o comprimento de fibras e índice de enfiamento. Enquanto que, o Cu apresentou correlação negativa com a largura da fibra e positiva com a espessura da parede.

Já, a saturação por alumínio, apresentou correlações positivas com o diâmetro à altura do peito e com o comprimento de fibras. Geralmente, esta variável correlaciona-se negativamente com o crescimento em altura, neste caso, ela favoreceu o crescimento em diâmetro das árvores, possivelmente produzindo uma madeira com maior percentagem de lenho tardio o que afeta positivamente o comprimento das fibras.

Com relação aos atributos físicos do solo, foram observadas correlações positivas entre a densidade global, o diâmetro à altura do peito e a massa específica. Como o aumento da densidade global correlaciona-se negativamente

com o crescimento em altura, favorece de certa forma, o crescimento em diâmetro e, conseqüentemente, aumenta os valores de massa específica, em virtude de um crescimento mais lento.

As demais variáveis apresentam coeficientes de correlação muito baixos, não permitindo explicar combinações de causa e efeito.

As componentes principais obtidas apresentaram autovalores que variaram de zero a 10,7. Verifica-se que as dez primeiras componentes apresentaram autovalores superiores a 1 e, ao mesmo tempo, explicam 92,01% da variação total (Tabela 18). Isso significa que as 45 variáveis estudadas para as árvores podem ser substituídas por estas dez componentes, com perda de, apenas, 7,99% de informação. Conforme critérios de seleção das componentes, esta pesquisa adotou a retenção das componentes com autovalores superiores a 1 e que explicam mais de 70% da variação total. Desta forma, estas dez componentes foram retidas para análise de fatores.

TABELA 18 - AUTOVALORES DAS DEZ PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO DE CRESCIMENTO

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	10,76243	23,92	23,92
2	6,53629	14,53	38,44
3	5,94541	13,21	51,65
4	4,48788	9,97	61,63
5	3,22847	7,17	68,80
6	2,90043	6,45	75,25
7	2,61139	5,80	81,05
8	2,06858	4,60	85,65
9	1,62770	3,62	89,26
10	1,23651	2,75	92,01

A análise de fatores rotacionados, obtidos através do método Varimax, permite observar a importância das variáveis dentro de cada fator (Tabela 19).

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

TABELA 19 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I -SÍTIO DE CRESCIMENTO

VARIÁVEIS	CM <sup>6</sup>	FATOR									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH <sup>1</sup>	0,95708	<b>0,95374</b>	0,08415	0,01906	0,06257	-0,01223	-0,10400	-0,00736	-0,09725	-0,12404	0,01604
Cálcio + Magnésio**	0,94800	<b>0,94836</b>	0,11573	-0,00603	0,09305	0,07624	-0,02700	0,03418	-0,11948	-0,01799	-0,06501
Saturação por Alumínio	0,95955	<b>0,94057</b>	0,11977	-0,04943	0,10804	0,03980	-0,08017	0,08161	-0,06928	-0,03718	0,00274
Zinco*	0,96657	0,05143	<b>0,86169</b>	0,11759	0,04425	-0,09699	-0,03226	-0,15328	-0,26548	0,31017	0,07073
Altura Total	0,92902	0,23283	<b>0,74484</b>	0,40695	0,01369	0,09377	-0,03317	-0,28532	0,06798	0,13840	-0,19791
Altura Comercial	0,92164	0,18152	<b>0,72490</b>	0,38606	0,11371	0,04836	0,02479	-0,31119	0,22016	0,12948	-0,19032
Porosidade Total	0,96740	-0,12606	0,07696	<b>0,92544</b>	-0,14099	-0,09589	0,02145	-0,16224	0,10206	-0,03708	0,14667
Água Disponível	0,88122	-0,14216	0,03177	<b>0,79278</b>	0,00620	0,06426	-0,23568	-0,00281	-0,40139	0,09448	0,04172
Densidade Global	0,84459	0,05028	0,08296	<b>-0,84563</b>	0,09528	0,14483	0,09802	-0,12747	0,01478	-0,20723	-0,14500
VL <sup>2</sup>	0,94501	0,05458	0,13566	-0,04744	<b>0,93477</b>	0,13253	0,09350	-0,08621	0,06527	-0,01050	-0,09732
TPL <sup>3</sup>	0,96834	-0,05805	-0,04031	0,04436	<b>-0,95201</b>	-0,15774	-0,11110	0,06968	-0,07525	-0,02075	0,08298
Fração Parede	0,98241	0,02063	-0,01391	-0,02344	0,04822	<b>0,98534</b>	-0,08016	-0,00401	0,01346	-0,02643	-0,02643
Índice de Runkel	0,93895	0,04747	0,06602	-0,00640	0,11139	<b>0,93548</b>	-0,06262	-0,17366	0,00518	0,02629	-0,09969
Coefficiente de Flexibilidade	0,98194	-0,02202	0,01296	0,02345	-0,04683	<b>-0,98502</b>	0,08225	0,00376	-0,01288	0,02406	0,02737
Macroporosidade	0,96963	-0,42653	-0,02126	0,03551	0,08940	-0,11561	<b>0,83918</b>	-0,12832	0,04529	0,13548	0,15340
Potássio*	0,90835	-0,22165	0,26722	0,02386	0,18409	-0,11038	<b>0,77977</b>	0,16698	0,29384	-0,05207	-0,12723
Potássio**	0,90654	-0,31893	0,33781	0,22198	0,10437	0,19623	<b>-0,75045</b>	0,10922	0,05249	0,11637	-0,02510
Largura da Fibra	0,92259	0,06569	-0,22365	0,11440	-0,12106	0,08787	-0,07792	<b>0,90638</b>	-0,03106	-0,06450	-0,00788
Diâmetro do Lume	0,88401	0,08055	-0,15044	0,11153	-0,14818	-0,30576	-0,05609	<b>0,84621</b>	-0,04697	0,00238	-0,07466
Manganês*	0,92915	-0,06222	-0,02222	-0,15258	0,24216	0,08085	0,00053	0,02133	<b>0,88163</b>	0,20655	0,12625
VT <sup>4</sup>	0,90001	-0,06797	-0,27460	-0,03312	-0,10697	-0,12591	0,22098	-0,17231	<b>0,73163</b>	-0,41965	-0,04109
Cobre*	0,88971	-0,18020	0,18227	0,14676	0,07094	-0,0545	0,12052	0,01270	-0,02263	<b>0,87036</b>	-0,15716
PE <sup>5</sup>	0,90102	-0,04345	0,01030	0,16484	-0,14359	-0,30229	0,25651	-0,21620	0,20937	-0,22789	<b>0,74266</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; \*\*nutrientes no solo; <sup>1</sup>acidez do solo; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>profundidade efetiva do solo; <sup>6</sup>comunalidades.

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, com exceção do comprimento de fibras, apresentaram alta comunalidade, sendo mantidas na análise.

Observou-se que o fator 1 explica 23,92% da variação total, estando associado às variáveis pH, Ca + Mg e saturação por alumínio. Estas variáveis estão relacionadas aos atributos químicos do solo, conforme mencionado anteriormente. Tais constatações permitem chamar este fator de Atributos Químicos do Solo.

O fator 2, responsável por 14,53% da variação total, é dominado pelo teor de Zn foliar e as variáveis de crescimento (altura total e comercial). Estas variáveis estão inter-relacionadas, uma vez que, o Zn é co-adjuvante no crescimento, principalmente em altura, desta espécie. Diante disto, este fator pode ser denominado Variáveis de Crescimento.

O terceiro fator, que compõe 13,21% da variação total, é dominado pela porosidade total, água disponível e densidade global, ou seja, está relacionado aos atributos físicos do solo, podendo ser denominado de Atributos Físicos do Solo. Cabe lembrar, que a densidade global corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo espaços porosos, estando estritamente relacionada à porosidade total (CURI et al., 1993), sendo propriedades inversamente proporcionais, por este motivo uma contrasta com a outra. A outra variável inclusa neste grupo, é a disponibilidade de água, que também está intimamente ligada à porosidade total do solo e inversamente proporcional à densidade global.

No quarto fator, responsável por 9,97% da variação total, verificou-se a dominância da velocidade de propagação de ondas longitudinais e tempo de propagação de ondas longitudinais, sendo denominado de Propriedades Acústicas. Cabe lembrar que a velocidade é o quociente entre a distância e o tempo de percurso da onda, sendo propriedades inversamente proporcionais.

O quinto fator é responsável por 7,17% da variação total, estando associado às variáveis fração parede, índice de Runkel 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 o quociente entre o diâmetro do lume e a largura da fibra. As relações entre essas variáveis foram mencionadas na revisão de literatura e tanto o índice de Runkel como 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, sendo diretamente ligado à qualidade dos produtos, principalmente na produção de celulose/pasta e papel.

No fator 6, responsável por 6,45% da variação total, verificou-se a dominância da macroporosidade, teor foliar de K e teor de K no solo. Em virtude da predominância da variável macroporosidade neste fator, pois apresenta o maior coeficiente de correlação (Tabela 19), pode-se denominar esta variável de Macroporosidade.

O fator 7, responsável por 5,80% da variação total, é dominado pelas características anatômicas largura da fibra e diâmetro do lume. Sendo que, a largura da fibra apresenta o maior coeficiente de correlação (Tabela 19) comparado à outra variável, sendo considerada mais importante dentro deste grupo. Estas propriedades estão relacionadas à flexibilidade da fibra, conforme mencionado na revisão de literatura. Pois, fibras largas e com maiores diâmetros do lume são, em geral, bastante flexíveis. Tais constatações permitem chamar este fator de Flexibilidade das Fibras, característica importante para produção de celulose e papel.

O oitavo fator, que compõe 4,60% da variação total, está associado ao teor foliar de Mn e a velocidade de propagação de ondas transversais, mas como não há na literatura disponível, trabalhos que expliquem estas correlações, fica aqui um ponto a ser revisado futuramente, de qualquer forma, denominaremos este fator de Manganês e Velocidade de Propagação Transversal.

No fator 9, responsável por 3,62% da variação total, verificou-se a dominância do teor foliar de Cu e, devido ao domínio desta única variável foi chamado pela própria variável, Teor Foliar de Cobre. QUINTEROS DOLDAN (1987), já detectou a existência de forte correlação entre o crescimento em altura de *Pinus taeda* com os teores de alguns nutrientes, dentre os quais, se destaca o teor foliar de Cu, sendo considerado uma das variáveis mais limitantes para o crescimento dessa espécie na área em estudo (Segundo Planalto Paranaense).

Finalmente, o fator 10 é dominado integralmente pela variável profundidade



efetiva do solo. Este fator, responsável por 2,75% da variação total, devido ao domínio de uma única variável foi chamado pela própria variável, Profundidade Efetiva. Esta propriedade se relaciona diretamente à taxa de crescimento desta espécie e, conseqüentemente, a qualidade da madeira produzida.

De uma maneira geral, os atributos do solo explicam 46,33% da variação total, destacando-se o pH, a porosidade total, a macroporosidade e a profundidade efetiva do solo, dentro dos fatores Atributos Químicos, Atributos Físicos, Macroporosidade e Profundidade Efetiva. Enquanto que, as Variáveis de Crescimento, discriminadas no teor de Zn foliar e alturas total e comercial, explicam 14,53% da variação total. Já, as características anatômicas explicam 12,97% da variação total, destacando-se a fração parede e a largura da fibra, dentro dos fatores Rigidez e Flexibilidade das Fibras. A velocidade de propagação de ondas longitudinais e o tempo de propagação delas, explicam 14,60% da variação total, dentro dos fatores Propriedades Acústicas e Manganês e Velocidade Transversal da Onda. Além destes, o fator Teor Foliar de Cobre se constitui numa variável importante na avaliação das árvores.

#### 5.3.1.1 Inter-relações entre as variáveis estudadas para a área experimental I: Sítio Esterco

Em virtude de ter-se obtido neste sítio índices de qualidade de fibras considerados ideais, optou-se por um aprofundamento dos estudos e análises, procurando-se detectar as variáveis de maior importância que influíram diretamente, ou que interagiram para obtenção destes índices de qualidade.

Da mesma forma, que no estudo conjunto dos três sítios, as variáveis estudadas são correspondentes a uma mesma região do tronco e do solo.

Na tabela 20 são apresentadas as relações existentes entre as variáveis 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.

TABELA 20 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO ESTERCO

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	N <sup>3*</sup>	P <sup>4*</sup>	K <sup>5*</sup>	Ca <sup>6*</sup>	Mg <sup>7*</sup>	Cu <sup>8*</sup>	Fe <sup>9*</sup>	Mn <sup>10*</sup>	Zn <sup>11*</sup>	pH <sup>12</sup>	K <sup>5**</sup>	CaMg <sup>13**</sup>	CTC <sup>14</sup>
Altura Total	-0,24	0,29	-0,15	-0,12	0,21	<b>0,71</b>	<b>0,59</b>	0,38	0,32	<b>0,49</b>	<b>0,71</b>	-0,33	<b>0,45</b>	-0,30	-0,24
Altura Comercial	<b>-0,42</b>	<b>0,46</b>	-0,23	-0,19	0,24	<b>0,72</b>	<b>0,59</b>	0,25	0,36	<b>0,66</b>	<b>0,64</b>	-0,13	0,28	-0,11	<b>-0,40</b>
Diâmetro à Altura do Peito	<b>-0,72</b>	<b>0,77</b>	<b>-0,73</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,53</b>	-0,01	<b>0,82</b>	<b>-0,57</b>	-0,35	0,39	<b>0,41</b>	0,21	0,26	0,17	<b>-0,74</b>
Massa Específica Básica	<b>0,56</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,53</b>	<b>0,57</b>	<b>0,48</b>	<b>0,48</b>	-0,11	<b>0,87</b>	<b>0,44</b>	-0,18	0,38	<b>-0,71</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,58</b>
Comprimento de Fibra	-0,37	0,38	0,18	0,18	0,34	0,03	-0,05	0,20	<b>0,42</b>	0,29	0,28	-0,00	-0,10	-0,03	-0,01
Largura da Fibra	<b>0,60</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,56</b>	<b>0,59</b>	0,30	-0,26	<b>-0,85</b>	0,22	0,12	<b>-0,44</b>	<b>-0,63</b>	0,04	<b>-0,43</b>	0,06	<b>0,59</b>
Diâmetro do lume	<b>0,44</b>	<b>-0,49</b>	<b>0,63</b>	<b>0,64</b>	0,36	-0,39	<b>-0,89</b>	0,23	0,22	<b>-0,41</b>	<b>-0,55</b>	0,06	<b>-0,48</b>	0,06	<b>0,61</b>
Espessura da Parede	<b>0,75</b>	<b>-0,79</b>	0,21	0,27	0,06	0,12	<b>-0,45</b>	0,13	-0,13	-0,36	<b>-0,58</b>	-0,01	-0,18	0,06	0,36
Índice de Runkel	0,16	-0,14	<b>-0,47</b>	<b>-0,43</b>	-0,29	<b>0,56</b>	<b>0,56</b>	-0,11	-0,30	0,16	0,11	-0,07	0,34	-0,01	-0,34
Fração Parede	0,29	-0,28	<b>-0,43</b>	-0,38	-0,30	<b>0,51</b>	<b>0,45</b>	-0,11	-0,35	0,05	-0,02	-0,06	0,29	0,01	-0,26
Coefic. de Flexibilidade	-0,29	0,28	<b>0,43</b>	0,38	0,30	<b>-0,51</b>	<b>-0,45</b>	0,11	0,35	-0,05	0,02	0,06	-0,29	-0,01	0,26
Índice de Enfeltramento	<b>-0,68</b>	<b>0,73</b>	<b>-0,36</b>	-0,39	-0,07	0,22	<b>0,66</b>	-0,08	0,11	<b>0,50</b>	<b>0,66</b>	-0,04	0,30	-0,07	<b>-0,49</b>
VARIÁVEIS	P <sup>4**</sup>	SA <sup>15</sup>	Fe <sup>9**</sup>	Mn <sup>10**</sup>	Cu <sup>8**</sup>	Zn <sup>11**</sup>	AR <sup>16</sup>	ST <sup>17</sup>	AG <sup>18</sup>	DG <sup>19</sup>	UA <sup>20</sup>	AD <sup>21</sup>	PT <sup>22</sup>	MC <sup>23</sup>	PE <sup>24</sup>
Altura Total	-0,33	-0,27	<b>-0,81</b>	0,28	<b>0,47</b>	-0,10	0,16	<b>-0,43</b>	0,09	0,31	-0,17	0,12	0,21	0,31	0,14
Altura Comercial	<b>-0,53</b>	-0,06	<b>-0,73</b>	<b>0,43</b>	<b>0,56</b>	-0,18	0,23	<b>-0,54</b>	0,09	0,39	-0,36	-0,03	0,07	0,30	0,28
Diâmetro à Altura do Peito	<b>-0,76</b>	0,26	-0,08	<b>0,65</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,58</b>	<b>0,57</b>	<b>-0,97</b>	-0,07	<b>0,87</b>	<b>-0,49</b>	-0,37	<b>-0,77</b>	-0,35	0,24
Massa Específica Básica	<b>0,56</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,68</b>	<b>-0,41</b>	-0,24	<b>0,46</b>	-0,39	<b>0,51</b>	0,16	<b>-0,47</b>	<b>0,48</b>	<b>0,59</b>	<b>0,88</b>	<b>0,51</b>	-0,22
Comprimento de Fibra	-0,25	0,02	-0,32	<b>0,43</b>	<b>0,41</b>	0,24	-0,23	-0,12	0,39	-0,10	<b>-0,41</b>	0,16	0,10	<b>0,40</b>	<b>0,48</b>
Largura da Fibra	<b>0,65</b>	-0,02	<b>0,42</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,71</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,45</b>	<b>0,86</b>	-0,01	<b>-0,74</b>	0,39	0,17	<b>0,44</b>	0,11	-0,22
Diâmetro do lume	<b>0,57</b>	-0,00	0,38	-0,39	<b>-0,54</b>	<b>0,53</b>	<b>-0,56</b>	<b>0,82</b>	0,17	<b>-0,78</b>	0,23	0,24	<b>0,41</b>	0,21	-0,02
Espessura da Parede	<b>0,60</b>	-0,05	0,36	<b>-0,79</b>	<b>-0,83</b>	0,05	-0,05	<b>0,65</b>	-0,39	<b>-0,40</b>	<b>0,62</b>	-0,04	0,34	-0,17	<b>-0,58</b>
Índice de Runkel	-0,11	-0,03	-0,12	-0,25	-0,12	<b>-0,51</b>	<b>0,54</b>	-0,31	<b>-0,51</b>	<b>0,47</b>	0,26	-0,29	-0,12	-0,34	<b>-0,44</b>
Fração Parede	0,01	-0,03	-0,01	-0,38	-0,28	<b>-0,48</b>	<b>0,51</b>	-0,18	<b>-0,56</b>	0,39	0,37	-0,29	-0,08	-0,39	<b>-0,54</b>
Coefic. de Flexibilidade	-0,01	0,03	0,01	0,38	0,28	<b>0,48</b>	<b>-0,51</b>	0,18	<b>0,56</b>	-0,39	-0,37	0,29	0,08	0,39	<b>0,54</b>
Índice de Enfeltramento	<b>-0,66</b>	0,02	<b>-0,50</b>	<b>0,69</b>	<b>0,79</b>	-0,22	0,24	<b>-0,76</b>	0,22	<b>0,55</b>	<b>-0,53</b>	-0,05	-0,31	0,12	<b>0,43</b>

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

\*nutrientes nas acículas das árvores; \*\*nutrientes no solo; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>nitrogênio; <sup>4</sup>fósforo; <sup>5</sup>potássio; <sup>6</sup>cálcio; <sup>7</sup>magnésio; <sup>8</sup>cobre; <sup>9</sup>ferro; <sup>10</sup>manganês; <sup>11</sup>zinco; <sup>12</sup>acidez do solo; <sup>13</sup>cálcio + magnésio; <sup>14</sup>capacidade de troca de cátions; <sup>15</sup>saturação por alumínio; <sup>16</sup>areia; <sup>17</sup>silte; <sup>18</sup>argila; <sup>19</sup>densidade global; <sup>20</sup>umidade atual; <sup>21</sup>água disponível; <sup>22</sup>porosidade total; <sup>23</sup>macroporosidade; <sup>24</sup>profundidade efetiva.

A maior parte das correlações significativas obtidas entre variáveis para a análise isolada do sítio Esterco já foram mencionadas e discutidas no item 5.3.1.

Algumas das correlações encontradas neste estudo, contradizem o descrito na literatura. Como por exemplo, as correlações negativas entre N, K e CTC e as variáveis de crescimento, pois em estudos já realizados em espécies do gênero *Pinus*, por QUINTEROS DOLDAN (1987) e RIGATTO (2002), constatou-se correlações positivas entre estas variáveis e o crescimento em altura e diametral.

Foram encontradas outras correlações interessantes, mas, como na literatura disponível, existem poucos trabalhos que expliquem estas correlações, fica nesta questão um ponto a ser explorado em pesquisas futuras.

As componentes principais obtidas apresentaram autovalores que variaram de zero a 17,5. Verifica-se que as cinco primeiras componentes apresentaram autovalores superiores a 1 e, ao mesmo tempo, explicam 99,22% da variação total (Tabela 21). Isso significa que as 45 variáveis estudadas para as árvores podem ser substituídas por estas cinco componentes, com perda de, apenas, 0,78% de informação. Conforme critérios de seleção das componentes, esta pesquisa adotou a retenção das componentes com autovalores superiores a 1 e que explicam mais de 70% da variação total. Desta forma, estas cinco componentes foram retidas para análise de fatores.

TABELA 21 - AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO ESTERCO

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	17,54174	38,98	38,98
2	11,85098	26,34	65,32
3	8,12381	18,05	83,37
4	5,88738	13,08	96,45
5	1,24318	2,76	99,22

A análise de fatores rotacionados, obtidos através do método Varimax, permite observar a importância das variáveis dentro de cada fator (Tabela 22).

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

TABELA 22 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO ESTERCO

VARIÁVEIS	CM <sup>5</sup>	FATOR				
		1	2	3	4	5
VL <sup>1</sup>	0,99818	<b>0,97849</b>	-0,09361	0,13119	-0,05037	-0,11058
Manganês**	0,99834	<b>0,97610</b>	0,10590	0,01890	-0,10403	-0,15218
Cobre**	0,99669	<b>0,95801</b>	0,04173	-0,25890	-0,03988	-0,09250
Profundidade Efetiva do Solo	0,99968	<b>0,81289</b>	0,51476	0,13758	-0,09259	-0,21544
Índice de Enfeitramento	0,86873	<b>0,80616</b>	-0,22651	-0,28620	0,20560	0,20822
Diâmetro à Altura do Peito	0,99636	<b>0,73594</b>	-0,66021	-0,12364	-0,04497	0,03964
Largura das Fibras	0,94611	<b>-0,70511</b>	0,48718	0,35228	-0,27149	-0,11742
Silte	0,99661	<b>-0,71995</b>	0,66833	-0,03604	-0,14928	-0,08967
Espessura da Parede	0,95940	<b>-0,77269</b>	0,21843	0,26148	-0,07024	0,49125
Fósforo**	0,99862	<b>-0,81491</b>	0,34130	-0,40711	-0,22838	-0,01272
Umidade Atual	0,99956	<b>-0,88821</b>	-0,16253	-0,40225	-0,02837	0,14704
Matéria Orgânica	0,99848	<b>-0,91609</b>	0,09910	-0,31895	-0,21539	0,36166
TPL <sup>2</sup>	0,99865	<b>-0,96182</b>	0,06938	-0,23111	0,03672	0,11820
Fósforo*	0,99884	-0,22313	<b>0,95280</b>	-0,13688	-0,03785	-0,14508
Nitrogênio*	0,99901	-0,18604	<b>0,93342</b>	-0,21243	-0,13790	-0,17023
Potássio*	0,99970	0,14371	<b>0,90303</b>	0,16642	0,36101	-0,07455
Zinco**	0,99956	-0,02940	<b>0,90010</b>	-0,31602	-0,22281	-0,19751
Macroporosidade	0,99992	0,31304	<b>0,89911</b>	-0,22567	0,17171	-0,11455
Ferro*	0,99995	0,34127	<b>0,88071</b>	0,02478	0,31419	-0,09219
Porosidade Total	0,99981	-0,36340	<b>0,80683</b>	-0,37884	0,27021	0,01581
Cobre*	0,99997	-0,13841	<b>0,78929</b>	-0,53143	0,27437	0,01184
Argila	0,99980	0,48005	<b>0,71788</b>	-0,35650	-0,27295	-0,22892
Magnésio*	0,99516	0,35876	<b>-0,76986</b>	-0,40670	0,24759	0,21694
Areia	0,99942	0,02498	<b>-0,88916</b>	0,28447	0,28241	0,21799
Densidade Global	0,99758	0,36627	<b>-0,90377</b>	0,00995	0,13796	0,16580
Cálcio + Magnésio**	0,99916	0,13806	-0,28627	<b>0,94203</b>	0,10177	-0,01924
pH <sup>3</sup>	0,99921	0,21106	-0,27228	<b>0,93652</b>	0,02589	-0,05276
Saturação por Alumínio	0,99947	0,25759	0,28734	<b>0,91849</b>	0,07418	-0,03770
Ferro**	0,99694	-0,38065	-0,42242	<b>0,70309</b>	-0,41475	-0,08515
Água Disponível	0,99993	-0,05818	0,64652	<b>-0,72413</b>	-0,20702	-0,10649
Zinco*	0,99535	0,53619	0,12597	<b>-0,82009</b>	0,13264	0,04284
Potássio**	0,99716	-0,06728	-0,28439	<b>-0,94364</b>	0,00122	0,14593
Cálcio*	0,99927	-0,01822	-0,06875	0,03964	<b>0,94165</b>	0,30243
VT <sup>4</sup>	0,99992	-0,14094	-0,07926	0,57539	<b>0,77088</b>	0,22012
Altura total	0,99522	0,41437	-0,02214	-0,46177	<b>0,74240</b>	0,24217
Altura Comercial	0,99537	0,55985	-0,04637	0,28845	<b>0,74177</b>	0,21531
Fração Parede	0,99823	-0,19431	-0,31025	-0,06190	0,23162	<b>0,89819</b>
Índice de Runkel	0,98623	-0,04563	-0,33929	-0,11836	0,30277	<b>0,87370</b>
Coeficiente de Flexibilidade	0,99823	0,19431	0,31025	0,06190	-0,23162	<b>-0,89819</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; \*\*nutrientes no solo; <sup>1</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>acidez do solo; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>comunalidades.

No primeiro fator, responsável por 38,98% da variação total, embora tenha havido uma junção de variáveis não correlatas quando pareadas, verificou-se a dominância da velocidade de propagação de ondas longitudinais, apresentando o maior coeficiente de correlação (Tabela 22), por esta razão este fator será denominado de Propriedades Acústicas e Variáveis Agrupadas.

O fator 2, que compõe 26,34% da variação total, receberá o nome de Nutrição

Solo-Planta, e envolve várias variáveis nutricionais e edáficas que afetam o crescimento desta espécie.

Observou-se que o fator 3 explica 18,05% da variação total, estando associado principalmente às variáveis químicas do solo. Tais constatações permitem chamar este fator de Atributos Químicos do Solo. Cabe lembrar, que este fator já ocorreu na análise conjunta dos três sítios, mudando apenas a ordem de sua importância, que no caso, das análises dos três sítios juntos, apareceu como primeiro fator.

O fator 4, responsável por 13,08% da variação total, é dominado pelo teor de Ca foliar, as variáveis de crescimento (altura total e comercial) e velocidade de propagação de ondas transversais. Estas variáveis estão inter-relacionadas, uma vez que, o Ca é co-adjuvante no crescimento desta espécie e também faz parte da parede celular, auxilia na direção e velocidade da onda emitida. Diante disto, este fator pode ser denominado Variáveis de Crescimento e Velocidade de Propagação Transversal.

O quinto fator é responsável por 2,76% da variação total, estando associado às variáveis fração parede, índice de Runkel 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 o quociente entre o diâmetro do lume e a largura da fibra. As relações entre essas variáveis foram mencionadas na revisão de literatura e tanto o índice de Runkel como 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, sendo diretamente ligado à qualidade dos produtos, principalmente na produção de celulose/pasta e papel.

De uma maneira geral, os atributos do solo e o estado nutricional das plantas explicam 44,39% da variação total, destacando-se o teor de Ca + Mg no solo e o teor foliar de P, dentro dos fatores Atributos Químicos do Solo e Nutrição Solo-Planta. A velocidade de propagação de ondas longitudinais e o agrupamento de diversas variáveis, explicam 38,98% da variação total, dentro do fator Propriedades Acústicas e Variáveis Agrupadas. Já, as Variáveis de Crescimento e Velocidade de Propagação Transversal, discriminadas no teor de Ca foliar e alturas total e comercial, explicam 13,08% da variação total. Além destes, o fator Rigidez das

Fibras se constitui numa variável importante na avaliação das árvores.

A análise multivariada dos sítios Lageado e Jararaca também foram realizadas isoladamente e encontram-se disponíveis nos anexos 1 e 2.

### 5.3.2. Inter-relações entre as Variáveis Estudadas para a Área Experimental II: Espaçamento

Para relacionar as propriedades da madeira, é necessário que todas as variáveis sejam correspondentes a uma mesma região do tronco. Portanto, para estas análises utilizou-se a média ponderada para cada propriedade avaliada.

Na tabela 23 são apresentadas as relações existentes entre as variáveis 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.

TABELA 23 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - ESPAÇAMENTO

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	Ca <sup>4*</sup>	Mg <sup>5*</sup>
Altura Total	-0,27	0,15	0,27	-0,25	-0,31
Altura Comercial	-0,31	0,35	0,19	<b>-0,61</b>	<b>-0,60</b>
Diâmetro à Altura do Peito	0,09	0,20	<b>0,62</b>	-0,04	0,10
Massa Específica Básica	0,08	-0,09	-0,25	-0,02	-0,26
Comprimento de Fibra	<b>-0,57</b>	<b>0,41</b>	0,02	0,03	0,03
Largura da Fibra	-0,09	0,28	0,01	-0,07	-0,13
Diâmetro do lume	-0,04	0,20	0,05	-0,05	-0,10
Espessura da Parede	-0,12	0,24	-0,13	-0,11	-0,13
Índice de Runkel	-0,11	-0,01	-0,23	-0,10	-0,04
Fração Parede	-0,12	-0,01	-0,24	-0,10	-0,03
Coeficiente de Flexibilidade	0,12	0,01	0,24	0,10	0,03
Índice de Enfeltramento	0,11	-0,28	0,01	0,10	0,09

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

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais;

<sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas

transversais; <sup>4</sup>cálcio; <sup>5</sup>magnésio.

O comprimento de fibras apresentou correlação negativa com o tempo e positiva com a velocidade de propagação das ondas de tensão no sentido longitudinal. Este resultado era esperado, pois neste sentido a onda percorre a parede da fibra, ao longo de seu comprimento, e ao final apresentam leve queda entre uma fibra e outra, quando então retomam a direção do percurso. Dessa forma, quanto maior o comprimento da fibra, maior o caminho contínuo da parede a ser

percorrido, propiciando maior velocidade e menor tempo de propagação da onda, resultados também observados por POELGE (1984) e SHIMOYAMA (2005).

O diâmetro à altura do peito, apresentou correlação positiva com o tempo de propagação de ondas transversais, resultado já esperado, pela direção de propagação da onda de tensão.

Já, os teores foliares de Ca e Mg apresentaram correlações negativas com a altura comercial, contrariando o descrito na literatura, uma vez que, vários estudos observaram correlações positivas entre estes nutrientes e o crescimento em altura desta espécie (LASO GARICOITS, 1990; MENEGOL, 1991; KIM; HAN, 1997).

As componentes principais obtidas apresentaram autovalores que variaram de zero a 4,34. Verifica-se que as oito primeiras componentes apresentaram autovalores superiores a 1 e, ao mesmo tempo, explicam 85,96% da variação total (Tabela 24). Isso significa que as 26 variáveis estudadas para as árvores podem ser substituídas por estas oito componentes, com perda de, apenas, 14,04% de informação. Conforme critérios de seleção das componentes, esta pesquisa adotou a retenção das componentes com autovalores superiores a 1 e que explicam mais de 70% da variação total. Desta forma, estas oito componentes foram retidas para análise de fatores.

TABELA 24 - AUTOVALORES DAS OITO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - ESPAÇAMENTO

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	4,34943	18,12	18,12
2	4,02251	16,76	34,88
3	3,20944	13,37	48,26
4	2,99469	12,48	60,73
5	2,07126	8,63	69,36
6	1,73995	7,25	76,61
7	1,22515	5,10	81,72
8	1,01710	4,24	85,96

A análise de fatores rotacionados, obtidos através do método Varimax, permite observar a importância das variáveis dentro de cada fator (Tabela 25).

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

TABELA 25 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - ESPAÇAMENTO

PROPRIEDADE	CM <sup>4</sup>	FATOR							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Largura da Fibra	0,98880	<b>0,98031</b>	-0,05970	0,04164	-0,02663	0,07353	-0,04768	-0,07361	0,09315
Diâmetro do lume	0,93632	<b>0,91364</b>	-0,30117	0,00534	-0,01215	0,05528	-0,02106	-0,03687	0,07647
Espessura da Parede	0,92720	<b>0,85321</b>	0,37480	0,00622	-0,11879	0,04900	-0,06734	-0,11871	0,13867
Índice de Enfeltramento	0,92549	<b>-0,90478</b>	0,00104	-0,07366	0,01752	-0,05373	-0,03132	0,07438	0,30288
Fração Parede	0,98734	-0,02701	<b>0,98083</b>	0,05766	-0,14048	0,01354	-0,00456	0,03642	-0,00130
Índice de Runkel	0,97981	-0,02409	<b>0,97787</b>	0,05541	-0,13468	0,01052	-0,01385	0,03778	0,00846
Coeficiente de Flexibilidade	0,98725	0,02735	<b>-0,98088</b>	-0,05723	0,13980	-0,01314	0,00431	-0,03688	0,00134
Nitrogênio*	0,76285	0,12472	0,10056	<b>0,83676</b>	0,02862	-0,04346	0,17061	-0,07012	-0,01693
Magnésio*	0,83160	-0,06346	0,04273	<b>-0,76921</b>	0,09047	-0,33833	0,28372	-0,17458	-0,02068
Cálcio*	0,71438	-0,04435	-0,06533	<b>-0,80794</b>	-0,07591	-0,09303	0,19526	0,03199	0,04249
Diâmetro à Altura do Peito	0,90213	-0,11597	-0,15492	-0,00922	<b>0,92097</b>	0,03328	0,07968	0,08758	0,03586
TPT <sup>1</sup>	0,86213	0,02670	-0,12895	0,03446	<b>0,79656</b>	-0,26902	-0,34831	-0,10900	-0,05935
VL <sup>2</sup>	0,86670	0,21856	0,03652	0,14355	0,23372	<b>0,85114</b>	0,07198	-0,09415	-0,06220
Massa Específica Básica	0,73277	-0,06436	-0,11327	-0,05897	-0,14801	<b>0,72705</b>	-0,15703	0,36889	0,03261
TPL <sup>3</sup>	0,85168	-0,00951	-0,09372	-0,09838	0,13244	<b>-0,90128</b>	0,00543	0,05107	0,02540
Manganês*	0,83188	-0,02187	-0,11587	-0,09025	0,03946	-0,13557	<b>0,87417</b>	0,15498	-0,04134
Zinco*	0,76131	-0,29371	0,09293	0,30044	0,02370	-0,14474	0,18988	<b>0,71524</b>	0,08375
Fósforo*	0,75914	0,04065	-0,09831	0,35439	-0,23075	-0,22101	-0,09207	<b>-0,70836</b>	0,09944
Comprimento de Fibra	0,97789	0,02253	0,00984	-0,02349	0,03360	-0,05430	-0,03727	-0,00803	<b>0,98550</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>comunalidades.



O fator 1, responsável por 18,12% da variação total, é dominado pelas características anatômicas largura da fibra, diâmetro do lume, espessura da parede e índice de enfiamento. A largura da fibra apresentou o maior coeficiente de correlação (Tabela 25) comparado às outras variáveis, sendo considerada mais importante dentro deste grupo. Estas propriedades, com exceção da espessura da parede, estão relacionadas à flexibilidade da fibra, conforme mencionado na revisão de literatura. Fibras largas e com maiores diâmetros do lume são, em geral, bastante flexíveis. O índice de enfiamento 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 segundo fator é responsável por 16,76% da variação total, estando associado às variáveis fração parede, índice de Runkel 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 o quociente entre o diâmetro do lume e a largura da fibra. As relações entre essas variáveis foram mencionadas na revisão de literatura e tanto o índice de Runkel como 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, sendo diretamente ligado à qualidade dos produtos, principalmente na produção de celulose/pasta e papel.

No fator 3, responsável por 13,37% da variação total, verificou-se a dominância dos teores foliares de N, Mg e Ca, sendo que, o Mg e o Ca continuam contrastando, ou seja, correlacionando-se negativamente, contrariando o descrito na literatura. Sendo assim, pode-se denominar este fator de Estado Nutricional das Plantas.

O fator 4, responsável por 12,48% da variação total, foi dominado pelo diâmetro à altura do peito e o tempo de propagação de ondas transversais, sendo denominado Variáveis de Crescimento e Tempo de Propagação Transversal.

O quinto fator, que compõe 8,63% da variação total, é dominado pela velocidade de propagação de ondas longitudinais, tempo de propagação de ondas longitudinais e massa específica básica, sendo denominado de Propriedades Acústicas e Massa específica Básica. Cabe lembrar, que a velocidade é o quociente entre a distância e o tempo de percurso da onda, sendo propriedades inversamente

proporcionais. E a relação do tempo e velocidade de propagação das ondas com a massa específica pode ser explicada da seguinte forma: 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.

O fator 6, responsável por 7,25% da variação total, é dominado integralmente pela variável teor foliar de Mn e, devido ao domínio de uma única variável foi chamado pela própria variável, Teor Foliar de Manganês. Esta variável se relaciona diretamente com o crescimento desta espécie, principalmente em altura e, conseqüentemente, com a madeira produzida.

No sétimo fator, dominado pelos teores foliares de Zn e P e, responsável por 5,10% da variação total, evidencia-se a correlação antagônica entre estes nutrientes, onde o aumento de absorção de Zn, inibe a de P e, conseqüentemente, afeta o crescimento desta espécie. Diante disto, este fator será denominado Antagonismo Nutricional.

Finalmente, o fator 8 é dominado integralmente pela variável comprimento de fibras. Este fator, responsável por 4,24% da variação total, devido ao domínio de uma única variável foi denominado 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 34,88% da variação total, destacando-se a largura da fibra e a fração parede, dentro dos fatores Flexibilidade e Rigidez das Fibras. Enquanto que, o Estado Nutricional das Plantas, explica 25,72% da variação total. Já, as Variáveis de Crescimento e Tempo de Propagação Transversal, explicam 12,48% da variação total. E a velocidade de propagação de ondas longitudinais, a massa específica básica e o tempo de propagação das ondas longitudinais, explicam 8,63% da variação total, dentro do fator Propriedades Acústicas e Massa Específica Básica. Além destes, o fator Comprimento de Fibras se constitui numa variável importante na avaliação das árvores.

A análise multivariada de cada espaçamento foi realizada e encontra-se disponível nos anexos 3 a 11.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitem as seguintes conclusões:

- De maneira geral, as madeiras provenientes de sítio com taxa de crescimento mais elevada (sítio Jararaca), sítio com textura mais argilosa, mostraram-se com tendência a terem maiores valores para massa específica, largura de fibras e diâmetros do lume, não havendo diferenciação no comprimento e na espessura da parede das fibras;
- O sítio tido como o menos produtivo deste estudo (sítio Esterco), apresentou índices de qualidade de fibras considerados ideais para fabricação de papel, sendo que, a limitação na taxa de crescimento, provocada principalmente pela profundidade efetiva do solo, favoreceu a produção de madeira com uma qualidade de fibra apropriada para a fabricação de papel;
- O aumento do espaçamento entre árvores propiciou menores valores para massa específica, fibras menos largas, com menores diâmetros do lume e menores espessuras da parede e, conseqüentemente, aumento do índice de enfiamento;
- A técnica de aplicação de ondas de tensão pode ser utilizada para determinação das propriedades da madeira, de maneira indireta (não destrutiva), com rapidez e eficiência, uma vez que apresentou fortes correlações entre suas variáveis tempo e velocidade de propagação das ondas e as propriedades estudadas nos grupos árvores em pé e toras;
- Através da análise multivariada, constataram-se as variáveis que explicam em maior grau os objetivos de nosso estudo e que em próximos estudos deve-se focar os estudos na direção destas variáveis.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard methods for specific gravity of wood and wood-base materials** ASTM-D 2395 - 93 Philadelphia, 1995.

BAAS, P. Some functional and adaptative aspects of vessel member morphology. In: Wood structure in biological and technology research. **Leiden Bot. Ser.**, v. 3, p. 157-181, 1976.

BAKER, R. T.; SMITH, H. G. Wood fibres of some Australian timbers. **J. Coun. Sci. Ind. Res.**, v. 14, n. 4, p. 266-280, 1924.

BAKER, G.; SHOTTAFER, J. The effect of tree spacing in a red pine plantation on tree growth and wood quality. Part II - Wood quality. **The Life Sci. Agric. Exp. Sta.**, 685, 1970. 38 p.

BAMBER, R. K. In progress and problems of genetic improvement of tropical forest trees. **Nature**, v. 191, p. 409-410, 1980.

BAMBER, R. K.; BURLEY, J. **The wood properties of radiata pine**. Commonwealth Agricultural Bureaux, 1983. 84 p.

BARRICHELO, L. E. G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf. Para a produção de celulose kraft**. Piracicaba, 1979. 167 f. Tese (Livre-Docência em Ciências Florestais) - Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BARRICHELO, L. E.G.; FOELKEL, C. E. F. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 732-733, jan./fev. 1983.

BARTZ, H. R. et al. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo. SBCS - Núcleo Regional Sul, 1995. 224 p.

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

BIERMANN, C. J. **Handbook of Pulping and Papermaking**. San Diego. Academic Press. E. 2, 754 p. 1996.

BIRKLAND, R. Efficient process for quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., 1990, (S.I.). **Proceedings...**, [S.I.: s.n.], 1990. p. 139-147.

BODIG, J. **The process of NDE research for wood and wood composites**. 12<sup>th</sup> International Symposium on Nondestructive Testing of Wood March, 2001, v. 6, n. 3, NDT.net - <http://www.ndt.net/article/v06n03/bodig/bodig.htm> (em 15/06/2006).

BRITO, J. O. **Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *P. caribaea* var. *bahamensis***. Piracicaba, 1983. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BROWN, W. H. **Timbers of the world**. 9 - Central America and the Caribbean. Londres: Timber Research and Development Association, 1979. 86 p.

BROW, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology - II**. New York: McGraw-Hill, 1952, 783 p.

BUCUR, V. Ultrasonic, hardness and x-ray densitometric analysis of wood. **Ultrasonics**, p. 269-275, 1985.

BUCUR, V. Varieties of Resonance wood and their Elastic Constants. **Journal of the Catgut Acoustical Society**, [S.I.], n. 47, p. 42-48, 1987.

BUCUR, V. Wood structure anisotropy estimated by acoustic invariants. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 9, n. 1, p. 67-74, 1988.

BUCUR, V. **Les proprietes acoustiques du bois pour violons**. AEL - European Association of Violin and Bow Makers – Congress, Siena, Italia, p. 9-12, 1999.

BURESHI, R. J.; TIAN, G. Soil improvement by agroforestry In sub-Saharan Africa. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, n.13, p. 51-76, 1997.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Livraria Nobel S.A. 154 p. 1991.

CARDOSO, D. J. **Avaliação da influência dos fatores sítio, idade, densidade e posição sociológica na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas Regiões Central e Sudoeste do Estado do Paraná**. Curitiba: 1989. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259 p.

CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. **Amer. J. Bot.**, v. 64, n. 7, p. 887-896, 1977.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 2005. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CHIMELO, J. P. Anatomia da Madeira. In: LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. 2 ed. São Paulo: IPT. 1989, v. 1, p. 41-67.

CHOONG, E.T.; FOGG, P. J. Effect of cultural treatment and wood-type on some physical properties of longleaf and slash pine wood. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 21, n. 2, p. 193-206, 1989.

COCHRAN, P. H. Soils and productivity of *Pinus taeda*. In: BAUMGARTNER, D. M. (Ed.), **Proceedings... SYMPOSIUM ON *Pinus taeda*: Management**, may 1984, Spokane: [s.n.], 1984, p. 52-54.

COILE, T. S. Soil and the growth of forest. **Advances in Agronomy**, New York, v. 4, p. 329-398, 1952.

CORREIA, J. R. et al. Estudo do relacionamento entre características físicas e químicas do solo e a produtividade do gênero *Pinus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 161-169, 1996.

CORSON, S. R. Wood characteristics influence pine TMP quality. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 74, p. 135-140, nov. 1991.

COWN, D. J. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 19, p. 84-94, 1974.

COWN, D. J. Variation in tracheid dimensions in the stem of a 26-year-old radiata pine tree. **Appita**, Carlton, v. 28, n. 4, p. 237-245, 1975.

COWN, D. J. Radiata pine: Wood age and wood properties concepts. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 10, n. 3, p. 504-507, 1980.

COWN, D. J.; McCONCHIE, D. L. Wood properties variation in old-crop stand of radiate pine. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 10, n. 3, p. 508-520, out. 1980.

COWN, D. J. Corewood (juvenile wood) in *Pinus radiata* should be concerned. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 22, n. 1, p. 87-95, 1992.

CURI, N. et al. Vocabulário de ciência do solo. Campinas: [s.n.], 1993. 90 p.

DADSWELL, H. E. The role of wood anatomy in forest botany. **Journal Council Science and Indt. Res.**, v. 12, n. 2, p. 137-143, 1939.

DADSWELL, H. E.; NICHOLLS, J. W. P. Assessment of wood qualities for tree breeding. I. *Pinus elliottii* var. *elliottii* from Queensland. **Division Forestry Products Technol.**, v. 4, 16 p. 1960.

DINWOODIE, J. M. The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 48, n. 8, p. 440-446, ago. 1965.

DUEÑAS, R. S. **Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel**. Guadalajara. Universidad de Guadalajara. Ed. 1, 293 p. 1997.

DUFFIELD, J. W. Genetic improvement of wood quality. **Forest Products Journal**, Atlanta, v. 11, n. 5, p. 211-213, 1961.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ERICKSON, H. D.; HARRINSON, A. T. Douglas-fir wood quality studies. Part 1 - Effects of age and stimulate growth on wood density and anatomy. **Wood Science Technology**, v. 8, p. 225-265, 1974.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultraestructure, reactions**. Walter de Gruyter. Berlin, 1989.

FERREIRA, C. A. et al. Nutrição de *Pinus* no Sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 60, 23 p., 2001.

FOELKEL, C. E. B. Celulose kraft de *Pinus* spp. **O Papel**. ABCP, São Paulo, p. 49-67, jan. 1976.

FUJIWARA, S.; YANG, K. C. The relationship between cell length and ring width and circumferential growth rate in five Canadian species. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 21, n. 3, p. 335-345, 2000.

GABRIEL, M. S. C. **O uso de ondas de tensão na qualificação mecânica da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Botucatu: 2000. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

GENT, J. A. et al. Impact of site preparation on physical properties of Piedmont forest soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 48, p. 173-177, 1984.

GONÇALVES, J. L. M.; COUTO, H. T. Z.; KAGEYAMA, P. Y; DEMATTÊ, J. L. I. Interações genótipo-solo em sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns solos do baixo potencial produtivo do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 40-49, 1990.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Forest nutrition and fertilization. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, 421 p., 2000.

GORNIK, E.; MATOS, J. L. M. Métodos não destrutivos para determinação e avaliação de propriedades da madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7. 2000, São Carlos. **Anais...**, São Carlos: UFSC, 2000. p. 121-131.

GÖRLACHER, R. Ein neues meßverfahren zur bestimmung des elastizitätsmodulus von Holz. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 42, n. 6, p. 219-222, 1984.

GURFINKEL, G. **Wood engineering**. New Orleans: Southern Forest Products Association, 1973. 573 p.

HARRIS, J. M. The influence of environment on the wood density of radiate pine grown in New Zealand. In: World Consultation on Forest Genetics and Tree Improvement, 1. 1963, Stockholm. **Proceedings...**, Rome FAO. Cap 7/3. 1963.

HARRIS, J. M. Note on wood density of *Pinus radiata* grown under temperature, sub tropical conditions. In: IUFRO WORKSHOP, 1977, Brisbane. **Proceedings...**, Brisbane: [s.n.], 1977, p. 112-115.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul.** Curitiba, 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.



HEGHER, L. Longitudinal variation of specific gravity in items of black spruce, balsam fir and lodgepole pine. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 4, n. 30, p. 321-326, 1974.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var *elliottii* e *Pinus taeda*. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, v. 7, n. 70, p. 78-89, 1973.

HUGHES, J. F. The wood structure of *Pinus caribea* Morelet in relation to use characteristics, growth conditions and tree improvement. In: BURLEY, J.; NIKKLES, D. G. **Selection and breeding to improve some tropical conifers**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1973. p. 13-22.

JOHNSTONE, W. D. Some variation in specific gravity and moisture content of 100-year-old lodgepole pine trees. **Information Report - Forest Research Laboratory**, 1970.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, n.41/42, p. 83-93, 1989.

KARTH, S. W. Factors affecting wood quality and quantity and consequently pulp manufacture. *Southern Africa Forest Journal*, Pretoria, v. 63, p. 17-24, 1967.

KELLINSON, R. C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17., 1981, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto, 1981, p. 77-87.

KIBBLEWHITE, R.P.; LLOYD, J. A. Interrelations between the wood, fiber, and kraft pulp properties of new-crop radiata pine corewood and slabwood. **FRI Bulletin**, Rotorua, n. 45, 1983, 26 p.

KIM, K. S.; HAN, Y. C. Variation in growth characteristics of *Pinus densiflora* S. et Z. at eight experimental plantations in Korea. **Journal of Korean Forestry Society**, Seoul, v. 86, n. 2, p. 119-127, 1997.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Curitiba, 2000. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. **Growndise der Forestbenutzung**. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin. 1966. 584 p.

- KOCH, P. Utilization of the southern pines. **USDA**. Forest Service. Washington, v. 2, 1972. 734 p.
- KOLLMANN, F. F. P. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones**. Graficas Reunidas AS, Hermosilla 110, Madrid, Espanha, 1950.
- KOLLMANN, F. F. P. **Tecnologia de la Madera y sus aplicaciones**. Madrid. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 647 p. 1959.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JÚNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer, v. 2, 1968. 674 p.
- LAL, R. The role of physical properties in maintaining productivity of soils in the tropics. In: LAL, R.; Greenland, D. J. (Ed.). **Soil physical properties and crop production in the tropics**. Chichester: J. Wiley & Sons, 1979. p. 3-6.
- LANTZ, C. W.; HOFMANN, J. G. Geographic variation in growth and wood quality of loblolly pine in North Carolina. **Proceedings, 10<sup>th</sup> Southern forest tree improvement conference**. Houston. p. 175-188, 1969.
- LARSON, P. R. **Wood formation and the concept of wood quality**. New Haven: Yale Univ. Sch. For. Bull., n. 74, 1969. 45 p.
- LARSON, P. R.; NICHOLS, J. W. P.; DADSWELL, H. E. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis**. Madison: USDA, 2001. 42 p.
- LASO GARICOITS, L. S. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba**. Curitiba, 1990. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- LA TORRACA, S. M. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em latossolo vermelho escuro, na região de Agudos, SP. **Boletim Técnico do IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, 1984.
- MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1997. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- MATOS, J. L. M. Métodos não destrutivos para avaliação da qualidade da madeira. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 76-84.

MEAD, D. J. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. In: BOWEN, G. D.; NAMBIAR, E. K. S. (Eds). **Nutrition of plantations forests**. London: Academic, 1984. p. 259-291.

MEAD, D. J.; PRITCHETT, W. L. Variation of N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn and Al in slash pine foliage. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 5, p. 291-301, 1974.

MEAD, D. J.; WILL, G. M. Seasonal and between-tree variation in the nutrient levels in *Pinus radiata* foliage. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 6, p. 3-13, 1976.

MEGRAW, R. A. Wood quality factors in loblolly pine. **Tappi Press Atlanta**, Georgia, 1985, 89 p.

MELLO, F. A .F. et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MENDONÇA, M. A. **Características da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel**. Curitiba, 1982. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense**. Curitiba, 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

METRIGUARD INC. Metriguard Model 239A Stress Wave Timer. **Manual care and instructions, theory and data reduction**. Pullmann, 1997.

MONTAGNA, R.G. et al. Peso de matéria seca, densidade básica e dimensões de fibras de *Pinus caribea* Mor. var. *hondurensis* Bar. Et Golf.. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, 13/14: 23-32, 1979/1980.

MORESCHI, J. C. **Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do Sul do Brasil**. Curitiba, 1975. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MORESCHI, J. C. Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos Estados do Sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 38-46, 1977.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *P. elliotii* Engelm e *P. taeda* L.** Curitiba, 1993. 253 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NICHOLLS, J. W. P. The effect of environmental factors on wood characteristics 2 - The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 20, n. 1, p. 67-73, 1971.

NIELSEN, I. R. **Avaliação da madeira comercial do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* na confecção de vigas laminadas coladas.** Curitiba: 1998, 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

OTHA, S. The observation of tree ring structure by soft x-ray densitometry (III). The influence of fertilization on ring structure of *Pinus pinaster*. **Moduzai Gakaishi**, [S.I.], v. 27, p. 157-162, 1981.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 705 p.

PATINHO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com o espaçamento.** Piracicaba, 1986. 192 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PAYN, T.W.; CLOUGH, M. E. Seasonal variation of foliar concentrations in *Pinus radiata* in the Southern Cape. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 143, p. 37-41, 1987.

PEARSON, N. C.; GILMORE, R. C. Characterization of the strength of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Forest Products Journal**. Madison, v. 21, n. 1, p. 23-31, 1971.

PEARSON, N. C.; GILMORE, R. C. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine. **Forest Products Journal**. Madison, v. 30, n. 5, p. 47-54, 1980.

PELLERIN, R. F. A vibrational approach to nondestructive testing of structural lumber. **Forest Products Journal**, Madison, v. 15, n. 3, p. 93-101, 1965.

POELGE, H. Essais de caractérisation de la veine verte du merisier. **Annals Science Forestry**. Paris, v. 41, p. 45-58, 1984.

PONCE, R. M. **Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico**. In: I Seminário sobre Processamento e Utilização de Madeiras de reflorestamento. Curitiba, SBD, p. 9-13, 1983.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: UFPR, 1996. 446 p.

PUEHRINGER, C. A. Caracterização de propriedades de madeira pelo uso de emissão de ondas acústicas. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - UFPR, 7., 1999, Curitiba. **Anais...**, Curitiba: UFPR, 1999. p. 579.

PUEHRINGER, C. A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 2002. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

QUINTEROS DOLDAN, M. E. **Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa**. Curitiba, 1987. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; SOUZA, M. L. de P. **Classificação de sítio para *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* no Segundo Planalto do Paraná**: Subprojeto I. Nutrição. Curitiba: UFPR/FUNPAR/FINEP, 1990, p. 1-286.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-166.

RIGATTO, P. A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft**. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ROSS, R. J.; BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 14-19, 1998.

ROSS, R. J.; WILLIS, S. W.; SEGEN, W. V.; BLACK, T.; BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. A stress wave based approach to NDE of logs for assessing potential veneer quality. Part 1. Small diameter Ponderosa pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 49, n. 11/12, p. 60-62, nov./dez. 1999.

RUDMAN, P.; MCKINNEL, F. H. Effects of fertilizers on wood density of young radiata pine. **Australian Forestry**, Canberra, v. 34, p. 170-178, 1970.

SAHLBERG, U. Influence of knot fibers on TMP properties. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 78, n. 5, p. 162-168, mai. 1995.

SANDS, R.; MULLIGAN, D. R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 91-111, 1990.

SÂNIO, K. Verber die Grosse der Holzzellenbei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). **Jahrb. Wiss. Bot.**, v. 8, p. 401-420, 1872.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Floresta**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.

SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. da. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda*, no segundo planalto paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, p. 107-111, 1987.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56 p.

SCHAD, K. C.; SCHMOLDT, D. L.; ROSS, R. J. **Nondestructive methods for detecting defects in softwoods logs**. US Forest Laboratory. Research Paper FPL n. 546, Madison, fev. 1996.

SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASELEIN, C. R.; FINGER, C. A. G. Influência de diferentes intensidades de desrama sobre a porcentagem de lenho tardio e quantidade de nós da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelman. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 115-127, 1998.

SCHULTZ, R. P. Utilization needs as a driving force in timber management research. In: **FOREST PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE** (1986 : Madison).

SCHULTZ, R. P. **Loblolly pine - The ecology and culture of loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. USDA Forest Service. Agricultural handbook. 514 p. 1997.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Universidade Federal de Lavras - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão. Lavras, 1997. 433 p.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** Piracicaba, 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado.** Curitiba, 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry.** New York: Academic Press, 1981. 223 p.

SMITH, D. M. Wood quality of loblolly pine after thinning U.S. **For. Serv. Res. Pap. FPL - 89**, 1968. 12 p.

SO, C.; LEBOW, S. T.; GROOM, L. H.; RIALS, T. G. The application of near infrared (NIR) spectroscopy to inorganic preservative-treated wood. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 36, n. 4, p. 329-336, 2004.

THOMAS, R. J. Wood: formation and morphology. In: LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I. S. **Wood structure and composition.** New York: Marcel Dekker Inc. 1991. p. 7-47.

THUNELL, B. Sortierungs und sicherheitsfragen bei der vervundung von holz fur tragewerke und geruste. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 16, p. 127-131, 1958.

TOMASELLI, I. Qualidade da madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* e sua correlação com as propriedades do papel. Relatório final. Convênio FINEP, UFPR. N. 18/79, Curitiba, (157-161). 1979.

TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia* e *Pinus* spp. produzida em reflorestamento. In: PESQUISAS em recursos florestais do Estado do Paraná. **Relatório Final.** Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.

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

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood.** New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

TSOUMIS, G.; PANAGIOTIDIS, N. Effect of growth condition on quality characteristics of Black Pine (*Pinus nigra* Arn.). **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 14, p. 301-310, 1980.

VETTORAZZO, S. C. **Intensidade e local de amostragem para avaliação nutricional de povoamentos de *Pinus taeda* L.** Piracicaba, 1994. 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

YAO, J. Influence of grown rate on specific gravity and other selected properties for Loblolly pine. **Wood Science Technology**, v. 4, p. 163-175, 1970.

WARDROP, A. B. Cell wall organization and properties of the xylem. I. Cell wall organization and the variation of breaking load in tension of the xylem in conifer stems. **Australian Journal Science Research**, [S.l], p. 391-414, 1951.

WELLS, C. G.; METZ, L. J. Variation in nutrient content of loblolly pine needles with season, age, soil, and position on the crown. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 27, p. 90-93, 1963.

ZOBEL, B. J.; WEBB, C.; HENSON, F. Core or juvenile wood of loblolly and slash pine trees. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 42, n. 5, p. 345-356, 1959.

ZOBEL, B. J.; THORBJORNSEN, E.; HENSON, F. Geographic, site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. **Silvae Genetica**, n. 9, p. 149-158, 1960.

ZOBEL, B. J. Inheritance of wood properties in conifers. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 10, p. 65-70, 1961.

ZOBEL, B. J.; KELLISON, R. C.; MATTHIAS, M. F.; HATCHER, A. V. Wood density of the southern pines. **Tech. Bull. 208**. North Carolina Agricultural Experiment Station. 56 p. 1972.



## ANEXOS

ANEXO 1 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL I: SÍTIO LAGEADO .....	116
ANEXO 2 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL I: SÍTIO JARARACA.....	118
ANEXO 3 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 1 .....	120
ANEXO 4 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 2 .....	122
ANEXO 5 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 3 .....	124
ANEXO 6 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 4 .....	126
ANEXO 7 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 5 .....	128
ANEXO 8 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 6 .....	130
ANEXO 9 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 7 .....	132
ANEXO 10 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 8 .....	134
ANEXO 11 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 9 .....	136

## ANEXO 1 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL I: SÍTIO LAGEADO

## ANEXO 1.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO LAGEADO

VARIÁVEIS	TPT <sup>1</sup>	VT <sup>2</sup>	TPL <sup>3</sup>	VL <sup>4</sup>	P <sup>5*</sup>	K <sup>6*</sup>	Mg <sup>7*</sup>	Cu <sup>8*</sup>	Fe <sup>9*</sup>	Mn <sup>10*</sup>	Zn <sup>11*</sup>	pH <sup>12</sup>	K <sup>6**</sup>	CaMg <sup>13**</sup>	CTC <sup>14</sup>
Altura Total	<b>0,45</b>	-0,06	0,36	-0,25	<b>-0,50</b>	0,30	-0,27	-0,18	<b>0,46</b>	<b>-0,75</b>	<b>0,89</b>	<b>0,50</b>	-0,16	<b>0,53</b>	<b>-0,58</b>
Altura Comercial	0,38	0,03	0,33	-0,20	<b>-0,42</b>	0,38	-0,18	-0,16	0,36	<b>-0,70</b>	<b>0,88</b>	0,39	-0,26	<b>0,43</b>	<b>-0,51</b>
Diâmetro à Altura do Peito	0,01	0,24	-0,14	0,21	<b>-0,70</b>	<b>0,51</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,72</b>	0,22	<b>-0,71</b>	<b>0,48</b>	<b>0,57</b>	0,08	<b>0,47</b>	-0,39
Massa Específica Básica	-0,39	0,38	<b>-0,73</b>	<b>0,72</b>	0,06	<b>0,49</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,80</b>	-0,15	<b>-0,56</b>	-0,13	0,23	<b>-0,41</b>	0,19	<b>0,45</b>
Comprimento de Fibra	0,24	-0,15	-0,07	0,04	-0,33	0,06	<b>-0,58</b>	<b>-0,44</b>	<b>0,41</b>	<b>-0,72</b>	0,32	<b>0,57</b>	0,01	<b>0,58</b>	-0,18
Largura da Fibra	-0,04	-0,16	0,02	-0,11	-0,12	-0,32	0,04	0,08	-0,00	0,34	-0,36	-0,01	<b>0,49</b>	-0,07	-0,05
Diâmetro do lume	-0,09	<b>-0,42</b>	-0,27	0,11	-0,29	-0,12	0,17	0,16	0,07	0,21	0,07	0,02	0,37	-0,03	-0,34
Espessura da Parede	-0,16	-0,08	0,19	-0,23	0,21	<b>-0,40</b>	-0,17	-0,08	-0,10	0,31	<b>-0,73</b>	-0,05	0,33	-0,08	0,39
Índice de Runkel	0,03	0,21	0,30	-0,24	0,36	-0,10	-0,12	-0,11	-0,17	0,10	<b>-0,45</b>	-0,12	-0,12	-0,11	<b>0,47</b>
Fração Parede	-0,08	0,13	0,27	-0,22	0,35	-0,25	-0,18	-0,09	-0,13	0,15	<b>-0,58</b>	-0,09	0,03	-0,08	<b>0,48</b>
Coefic. de Flexibilidade	0,08	-0,13	-0,26	0,22	-0,34	0,26	0,18	0,09	0,12	-0,15	<b>0,58</b>	0,08	-0,03	0,07	<b>-0,48</b>
Índice de Enfeltramento	-0,03	<b>0,54</b>	0,12	0,14	-0,09	0,15	<b>-0,42</b>	-0,33	0,24	<b>-0,60</b>	0,29	0,35	-0,23	0,39	-0,01
VARIÁVEIS	MO <sup>15</sup>	P <sup>5**</sup>	SA <sup>16</sup>	Fe <sup>9**</sup>	Mn <sup>10**</sup>	Cu <sup>8**</sup>	Zn <sup>11**</sup>	AR <sup>17</sup>	ST <sup>18</sup>	AG <sup>19</sup>	DG <sup>20</sup>	AD <sup>21</sup>	PT <sup>22</sup>	MC <sup>23</sup>	PE <sup>24</sup>
Altura Total	<b>-0,88</b>	<b>-0,94</b>	<b>0,60</b>	0,27	<b>0,67</b>	<b>0,58</b>	<b>-0,61</b>	0,26	<b>0,47</b>	-0,38	<b>-0,49</b>	0,33	<b>0,72</b>	-0,03	<b>0,52</b>
Altura Comercial	<b>-0,84</b>	<b>-0,91</b>	<b>0,50</b>	0,30	<b>0,59</b>	<b>0,67</b>	<b>-0,55</b>	0,22	<b>0,46</b>	-0,34	<b>-0,42</b>	0,23	<b>0,69</b>	0,06	<b>0,55</b>
Diâmetro à Altura do Peito	<b>-0,73</b>	<b>-0,61</b>	<b>0,50</b>	<b>0,73</b>	<b>0,86</b>	<b>0,53</b>	-0,34	0,22	<b>0,78</b>	<b>-0,42</b>	-0,14	0,32	<b>0,48</b>	-0,09	-0,00
Massa Específica Básica	0,00	-0,25	0,05	<b>0,45</b>	<b>0,49</b>	<b>0,53</b>	<b>-0,42</b>	<b>0,66</b>	<b>0,96</b>	<b>0,49</b>	0,03	0,33	<b>0,58</b>	<b>0,56</b>	0,27
Comprimento de Fibra	<b>-0,46</b>	<b>-0,58</b>	<b>0,53</b>	0,15	<b>0,66</b>	0,22	<b>-0,61</b>	-0,12	<b>0,59</b>	-0,01	<b>-0,44</b>	<b>0,56</b>	<b>0,65</b>	-0,01	0,30
Largura da Fibra	0,22	<b>0,44</b>	-0,05	-0,10	-0,16	<b>-0,54</b>	0,35	0,24	-0,36	-0,18	0,14	-0,05	<b>-0,48</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,53</b>
Diâmetro do lume	-0,14	0,12	0,06	0,05	-0,04	-0,23	0,29	<b>0,49</b>	-0,32	<b>-0,45</b>	0,07	-0,14	-0,34	<b>-0,41</b>	-0,36
Espessura da Parede	<b>0,59</b>	<b>0,62</b>	-0,18	-0,24	-0,22	<b>-0,62</b>	0,22	-0,26	-0,17	0,31	0,16	0,11	-0,35	-0,13	<b>-0,43</b>
Índice de Runkel	<b>0,45</b>	0,30	-0,21	-0,15	-0,16	-0,15	0,01	<b>-0,46</b>	0,09	<b>0,48</b>	0,10	0,07	-0,02	0,25	0,00
Fração Parede	<b>0,54</b>	<b>0,41</b>	-0,19	-0,24	-0,19	-0,34	0,03	<b>-0,45</b>	0,00	<b>0,49</b>	0,08	0,13	-0,10	0,14	-0,11
Coefic. de Flexibilidade	<b>-0,53</b>	<b>-0,41</b>	0,19	0,24	0,19	0,35	-0,03	<b>0,45</b>	0,00	<b>-0,48</b>	-0,08	-0,13	0,10	-0,13	0,11
Índice de Enfeltramento	-0,31	<b>-0,52</b>	0,33	0,10	<b>0,46</b>	0,34	<b>-0,56</b>	-0,27	<b>0,54</b>	0,17	-0,34	<b>0,40</b>	<b>0,64</b>	0,22	<b>0,44</b>

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; \*\*nutrientes no solo; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>5</sup>fósforo; <sup>6</sup>potássio; <sup>7</sup>magnésio; <sup>8</sup>cobre; <sup>9</sup>ferro; <sup>10</sup>manganês; <sup>11</sup>zinco; <sup>12</sup>acidez do solo; <sup>13</sup>cálcio + magnésio; <sup>14</sup>capacidade de troca de cátions; <sup>15</sup>matéria orgânica; <sup>16</sup>saturação por alumínio; <sup>17</sup>areia; <sup>18</sup>silte; <sup>19</sup>argila; <sup>20</sup>densidade global; <sup>21</sup>água disponível; <sup>22</sup>porosidade total; <sup>23</sup>macroporosidade; <sup>24</sup>profundidade efetiva do solo.

ANEXO 1.2 - AUTOVALORES DAS SEIS PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO LAGEADO

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	17,68926	39,31	39,31
2	10,31062	22,91	62,22
3	7,88517	17,52	79,74
4	5,87727	13,06	92,81
5	1,89458	4,21	97,02
6	1,02457	2,28	99,29

ANEXO 1.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO LAGEADO

VARIÁVEIS	CM <sup>36</sup>	FATOR					
		1	2	3	4	5	6
AD <sup>1</sup>	0,99952	<b>0,97927</b>	-0,02458	0,16667	0,01848	0,09199	-0,05805
Ca+Mg <sup>2**</sup>	0,99977	<b>0,92856</b>	-0,27858	0,14228	0,19274	-0,01996	-0,04619
Fe <sup>3*</sup>	0,99995	<b>0,88672</b>	-0,33829	-0,22028	0,21811	-0,05428	-0,01363
Ca <sup>4*</sup>	0,99975	<b>0,86401</b>	-0,48001	-0,08517	-0,10165	0,02659	0,06733
pH <sup>5</sup>	0,99969	<b>0,86314</b>	-0,39382	0,29028	0,12058	-0,02022	-0,01915
SA <sup>6</sup>	0,99990	<b>0,85112</b>	-0,43361	0,07567	0,27152	-0,08526	-0,02747
N <sup>7*</sup>	0,99994	<b>0,77682</b>	0,39721	-0,46073	0,07389	0,11558	-0,08732
TPT <sup>8</sup>	0,99998	<b>0,70511</b>	-0,29382	-0,52843	0,35104	-0,11697	-0,01795
PT <sup>9</sup>	0,99994	<b>0,70250</b>	0,32480	0,19864	0,55871	-0,04786	-0,21689
Mn <sup>10*</sup>	0,99984	<b>-0,77217</b>	0,01636	-0,40852	-0,45589	0,06559	0,15590
VT <sup>11</sup>	0,99994	<b>-0,82131</b>	0,19507	0,52761	0,06550	-0,05184	-0,04464
Zn <sup>12**</sup>	0,99960	<b>-0,85375</b>	-0,24503	-0,05106	-0,42264	0,00689	0,17233
DG <sup>13</sup>	0,99997	<b>-0,89637</b>	0,06003	0,28371	-0,32376	0,03733	0,07860
Mg <sup>14*</sup>	0,99932	<b>-0,91813</b>	0,00574	-0,36451	0,07058	-0,12468	0,05412
AG <sup>15</sup>	0,99989	0,03009	<b>0,93467</b>	0,01504	-0,21728	0,25330	-0,11741
P <sup>16*</sup>	0,99997	-0,34476	<b>0,86629</b>	-0,35422	-0,15475	0,16576	-0,06949
MC <sup>17</sup>	0,99996	-0,43336	<b>0,83556</b>	0,19866	0,20087	0,05440	-0,17671
CTC <sup>18</sup>	0,99991	-0,33218	<b>0,79420</b>	0,19202	-0,39334	0,25387	-0,05274
UA <sup>19</sup>	0,99997	0,65114	<b>-0,73141</b>	-0,07789	0,12531	-0,11770	0,07349
K <sup>20**</sup>	0,99978	0,43026	<b>-0,76560</b>	-0,01904	-0,43211	0,04054	0,19947
AR <sup>21</sup>	0,99983	-0,07445	<b>-0,92165</b>	-0,20688	0,15450	-0,23989	0,14365
ST <sup>22</sup>	0,99974	0,21781	0,23454	<b>0,90564</b>	0,22605	0,01716	-0,16036
Fe <sup>3**</sup>	0,99999	-0,45430	-0,29139	<b>0,82354</b>	0,12667	-0,11944	-0,01261
MEB <sup>23</sup>	0,99972	0,18750	0,49128	<b>0,81131</b>	0,15797	0,08285	-0,18211
DAP <sup>24</sup>	0,99996	0,18519	-0,32085	<b>0,76858</b>	0,47814	-0,17935	-0,10595
VL <sup>25</sup>	0,99985	-0,41054	0,44759	<b>0,73722</b>	-0,24953	0,14793	-0,05775
TPL <sup>26</sup>	0,99962	0,23277	-0,44977	<b>-0,72595</b>	0,40889	-0,21876	0,03328
Cu <sup>27*</sup>	0,99951	-0,14042	0,02665	<b>-0,97863</b>	0,11585	-0,07542	0,04753
HC <sup>28</sup>	0,99981	0,19196	-0,11471	0,25022	<b>0,87756</b>	-0,28697	-0,18637
HT <sup>29</sup>	0,99987	0,28664	-0,17095	0,25588	<b>0,84577</b>	-0,27746	-0,17521
Zn <sup>12*</sup>	0,99960	0,21837	-0,31325	-0,17764	<b>0,83981</b>	-0,32175	-0,11592
P <sup>16**</sup>	0,99994	-0,54755	0,09197	-0,06281	<b>-0,78035</b>	0,22011	0,17414
IR <sup>30</sup>	0,99353	-0,02375	0,20826	0,02927	-0,10301	<b>0,95760</b>	-0,14536
FP <sup>31</sup>	0,99659	0,05243	0,18789	-0,01611	-0,29374	<b>0,93061</b>	-0,07731
CF <sup>32</sup>	0,99650	-0,05479	-0,18186	0,01880	0,29308	<b>-0,93185</b>	0,07644
LF <sup>33</sup>	0,96723	0,01378	-0,18458	-0,09622	-0,37818	0,06148	<b>0,88143</b>
DL <sup>34</sup>	0,98264	-0,04487	-0,27259	-0,09654	-0,07336	-0,41831	<b>0,86654</b>
IE <sup>35</sup>	0,80214	0,33011	0,14177	0,30061	0,25883	-0,02041	<b>-0,71784</b>

NOTAS: nutrientes nas acículas das árvores; nutrientes no solo; <sup>1</sup>água Disponível; <sup>2</sup>cálcio + magnésio; <sup>3</sup>ferro; <sup>4</sup>cálcio; <sup>5</sup>acidez do solo; <sup>6</sup>satuação por alumínio; <sup>7</sup>nitrogênio; <sup>8</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>9</sup>porosidade total; <sup>10</sup>manganes; <sup>11</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>12</sup>zinco; <sup>13</sup>densidade global; <sup>14</sup>magnésio; <sup>15</sup>argila; <sup>16</sup>fósforo; <sup>17</sup>macroporosidade; <sup>18</sup>capacidade de troca de cátions; <sup>19</sup>umidade atual; <sup>20</sup>potássio; <sup>21</sup>areia; <sup>22</sup>silte; <sup>23</sup>massa específica básica; <sup>24</sup>diâmetro à altura do peito; <sup>25</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>26</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>27</sup>cobre; <sup>28</sup>altura comercial; <sup>29</sup>altura total; <sup>30</sup>índice de runkel; <sup>31</sup>fração parede; <sup>32</sup>coeficiente de flexibilidade; <sup>33</sup>largura da fibra; <sup>34</sup>diâmetro do lume; <sup>35</sup>índice de enfiletramento; <sup>36</sup>comunalidades.

## ANEXO 2 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL I: SÍTIO JARARACA

## ANEXO 2.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO JARARACA

VARIÁVEIS	TPT <sup>1</sup>	VT <sup>2</sup>	TPL <sup>3</sup>	VL <sup>4</sup>	P <sup>5*</sup>	Ca <sup>6*</sup>	Cu <sup>7*</sup>	Fe <sup>8*</sup>	Zn <sup>9*</sup>	pH <sup>10*</sup>	K <sup>11**</sup>	CaMg <sup>12**</sup>	CTC <sup>13</sup>	MO <sup>14</sup>
Altura Total	<b>0,54</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,63</b>	<b>0,76</b>	<b>-0,50</b>	0,25	<b>0,59</b>	<b>0,86</b>	<b>0,73</b>	<b>0,56</b>	<b>0,76</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,81</b>	<b>-0,56</b>
Altura Comercial	0,28	-0,39	<b>-0,70</b>	<b>0,76</b>	-0,29	-0,10	<b>0,66</b>	<b>0,71</b>	<b>0,55</b>	0,24	<b>0,94</b>	0,33	<b>-0,64</b>	<b>-0,46</b>
Diâmetro à Altura do Peito	<b>0,94</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,64</b>	<b>0,73</b>	-0,03	<b>0,43</b>	<b>0,68</b>	0,33	<b>0,96</b>	<b>0,78</b>	0,10	<b>0,96</b>	<b>-0,91</b>	<b>-0,94</b>
Massa Específica Básica	-0,32	0,07	<b>-0,42</b>	0,37	0,07	<b>-0,51</b>	<b>0,52</b>	0,26	0,08	-0,29	<b>0,92</b>	-0,24	-0,18	-0,04
Comprimento de Fibra	<b>0,60</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,49</b>	<b>0,64</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,43</b>	<b>0,54</b>	<b>0,75</b>	<b>0,78</b>	<b>0,70</b>	<b>0,56</b>	<b>0,68</b>	<b>-0,85</b>	<b>-0,56</b>
Largura da Fibra	0,24	-0,29	-0,21	0,24	-0,20	0,02	-0,01	0,26	0,08	0,08	0,06	0,16	-0,07	-0,14
Diâmetro do lume	0,12	-0,10	-0,02	0,05	-0,22	0,08	-0,16	0,19	-0,04	0,04	-0,04	0,06	0,04	0,02
Espessura da Parede	0,38	<b>-0,51</b>	<b>-0,46</b>	<b>0,48</b>	-0,14	-0,06	0,20	0,33	0,24	0,10	0,21	0,28	-0,23	-0,36
Índice de Runkel	<b>0,49</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,68</b>	-0,13	-0,04	<b>0,46</b>	<b>0,44</b>	<b>0,47</b>	0,23	<b>0,41</b>	<b>0,44</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,56</b>
Fração Parede	<b>0,43</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,66</b>	-0,05	-0,14	<b>0,46</b>	0,36	<b>0,41</b>	0,13	<b>0,41</b>	0,36	-0,39	<b>-0,53</b>
Coefic. de Flexibilidade	<b>-0,43</b>	<b>0,62</b>	<b>0,65</b>	<b>-0,66</b>	0,05	0,14	<b>-0,46</b>	-0,36	<b>-0,41</b>	-0,13	<b>-0,41</b>	-0,36	0,39	<b>0,53</b>
Índice de Enfeltramento	0,39	-0,22	-0,32	<b>0,43</b>	-0,28	0,37	<b>0,53</b>	<b>0,50</b>	<b>0,67</b>	<b>0,59</b>	<b>0,48</b>	<b>0,52</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,43</b>
VARIÁVEIS	P <sup>9**</sup>	SA <sup>15</sup>	Fe <sup>8**</sup>	Mn <sup>16**</sup>	Cu <sup>7**</sup>	AR <sup>17</sup>	ST <sup>18</sup>	AG <sup>19</sup>	DG <sup>20</sup>	UA <sup>21</sup>	AD <sup>22</sup>	PT <sup>23</sup>	MC <sup>24</sup>	PE <sup>25</sup>
Altura Total	-0,39	<b>0,64</b>	<b>0,55</b>	<b>0,71</b>	<b>0,62</b>	<b>0,43</b>	<b>0,92</b>	<b>-0,71</b>	0,39	<b>0,71</b>	<b>0,43</b>	<b>0,45</b>	<b>-0,75</b>	<b>-0,45</b>
Altura Comercial	-0,12	0,37	<b>0,67</b>	<b>0,49</b>	<b>0,82</b>	0,11	<b>0,95</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,62</b>	<b>0,64</b>	<b>0,54</b>	<b>0,57</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,42</b>
Diâmetro à Altura do Peito	<b>-0,94</b>	<b>0,95</b>	0,21	<b>0,86</b>	0,34	<b>0,89</b>	0,35	<b>-0,91</b>	<b>0,52</b>	-0,07	-0,37	<b>-0,45</b>	-0,30	<b>-0,68</b>
Massa Específica Básica	0,34	-0,21	<b>0,44</b>	0,07	<b>0,78</b>	<b>-0,43</b>	<b>0,63</b>	0,14	<b>-0,85</b>	<b>0,43</b>	<b>0,48</b>	<b>0,73</b>	-0,08	0,00
Comprimento de Fibra	<b>-0,55</b>	<b>0,71</b>	0,30	<b>0,82</b>	<b>0,45</b>	<b>0,58</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,77</b>	-0,17	<b>0,60</b>	0,17	0,34	<b>-0,65</b>	-0,33
Largura da Fibra	-0,02	0,16	0,35	-0,03	0,06	0,10	0,24	-0,17	0,01	0,11	0,27	-0,11	-0,30	-0,36
Diâmetro do lume	0,04	0,06	0,18	-0,09	-0,09	0,04	0,10	-0,07	0,01	0,12	0,21	-0,06	-0,24	-0,16
Espessura da Parede	-0,11	0,29	<b>0,56</b>	0,06	0,28	0,16	<b>0,41</b>	-0,29	0,00	0,09	0,30	-0,18	-0,35	<b>-0,59</b>
Índice de Runkel	-0,26	<b>0,44</b>	<b>0,63</b>	0,29	<b>0,49</b>	0,28	<b>0,59</b>	<b>-0,46</b>	-0,06	0,17	0,28	-0,10	<b>-0,41</b>	<b>-0,68</b>
Fração Parede	-0,20	0,37	<b>0,65</b>	0,21	<b>0,51</b>	0,19	<b>0,55</b>	-0,37	-0,07	0,10	0,28	-0,12	-0,33	<b>-0,68</b>
Coefic. de Flexibilidade	0,20	-0,36	<b>-0,65</b>	0,21	<b>-0,51</b>	-0,19	<b>-0,55</b>	0,37	0,07	-0,10	-0,28	0,12	0,33	<b>0,68</b>
Índice de Enfeltramento	<b>-0,49</b>	<b>0,55</b>	0,04	<b>0,78</b>	0,39	<b>0,47</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,59</b>	-0,17	<b>0,47</b>	-0,03	0,39	-0,38	-0,07

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; \*\*nutrientes no solo; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>5</sup>fósforo; <sup>6</sup>cálcio; <sup>7</sup>cobre; <sup>8</sup>ferro; <sup>9</sup>zinco; <sup>10</sup>acidez do solo; <sup>11</sup>potássio; <sup>12</sup>cálcio + magnésio; <sup>13</sup>capacidade de troca de cátions; <sup>14</sup>matéria orgânica; <sup>15</sup>satuação por alumínio; <sup>16</sup>manganês; <sup>17</sup>areia; <sup>18</sup>silte; <sup>19</sup>argila; <sup>20</sup>densidade global; <sup>21</sup>umidade atual; <sup>22</sup>água disponível; <sup>23</sup>porosidade total; <sup>24</sup>macroporosidade; <sup>25</sup>profundidade efetiva do solo.

ANEXO 2.2 - AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO JARARACA

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	19,03269	41,38	41,38
2	10,14904	22,06	63,44
3	8,51652	18,51	81,95
4	4,97857	10,82	92,78
5	2,17723	4,73	97,51

ANEXO 2.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL I - SÍTIO JARARACA

VARIÁVEIS	CM <sup>4</sup>	FATOR				
		1	2	3	4	5
Manganês**	0,98603	<b>0,95651</b>	0,19945	-0,12504	-0,05187	-0,11406
Cálcio + Magnésio**	0,99918	<b>0,95222</b>	-0,11755	-0,13826	0,23637	0,06046
Saturação por Alumínio	0,99921	<b>0,94784</b>	-0,09012	-0,19297	0,22816	0,05823
Zinco*	0,99904	<b>0,94728</b>	0,20186	0,00770	0,24669	0,00660
Diâmetro à Altura do Peito	0,99930	<b>0,94277</b>	-0,02759	0,11791	0,30457	0,05529
Areia	0,99924	<b>0,93966</b>	-0,30353	-0,14946	0,01237	0,00295
pH <sup>1</sup>	0,99581	<b>0,90031</b>	-0,17401	-0,38336	-0,07771	-0,0441
TPT <sup>2</sup>	0,99290	<b>0,88114</b>	-0,21139	-0,14587	0,36326	0,13629
Comprimento de Fibra	0,93552	<b>0,71437</b>	0,49987	-0,38584	0,02118	0,16124
Matéria Orgânica	0,99542	<b>0,80740</b>	-0,14914	-0,27214	-0,48561	-0,10680
CTC <sup>3</sup>	0,99800	<b>-0,92516</b>	-0,29835	0,10219	-0,20605	0,01346
Argila	0,99914	<b>-0,92630</b>	0,02623	0,29661	-0,22171	-0,05736
Fósforo**	0,99695	<b>-0,96960</b>	0,21012	-0,09901	-0,03894	0,03681
Massa Específica Básica	0,99500	-0,14809	<b>0,97887</b>	-0,02551	0,07576	-0,09217
Potássio**	0,99871	0,04102	<b>0,92187</b>	-0,15801	0,34793	0,03405
Manganês*	0,97944	-0,24745	<b>0,91787</b>	0,11823	-0,15741	-0,19225
Altura Comercial	0,99889	0,32089	<b>0,83192</b>	-0,31310	0,32400	0,02873
Cobre**	0,99630	0,18372	<b>0,79963</b>	0,24323	0,50868	0,07527
Densidade Global	0,99981	0,49832	<b>-0,78062</b>	0,37351	-0,04811	0,01739
Nitrogênio*	0,99872	0,23356	<b>-0,80089</b>	-0,51324	-0,18939	0,05884
Fósforo*	0,99872	-0,16703	0,06028	<b>0,97983</b>	0,06185	-0,05743
Potássio*	0,99470	-0,02309	0,20431	<b>0,97003</b>	0,02745	-0,10346
Magnésio*	0,97778	0,02826	0,10095	<b>0,93809</b>	-0,21770	-0,19848
Macroporosidade	0,98892	-0,34025	-0,11143	<b>0,87860</b>	-0,25659	-0,15152
Zinco**	0,97388	-0,02290	-0,09420	<b>0,77738</b>	0,56725	0,19593
Ferro*	0,99380	0,37155	0,29679	<b>-0,83195</b>	0,24947	0,11528
Umidade Atual	0,99919	0,06663	0,43207	<b>-0,89726</b>	-0,05393	-0,00898
Fração Parede	0,82359	0,17657	0,10597	-0,09457	<b>0,87814</b>	-0,03343
Índice de Runkel	0,86944	0,25325	0,09725	-0,16915	<b>0,86321</b>	-0,14868
Ferro**	0,94054	-0,02439	0,42492	-0,15867	<b>0,79885</b>	0,30993
Profundidade Efetiva do Solo	0,94498	-0,42250	-0,04827	-0,09961	<b>-0,81091</b>	-0,31088
Coefficiente de Flexibilidade	0,82359	-0,17657	-0,10597	0,09457	<b>-0,87814</b>	0,03343
Diâmetro do lume	0,98755	-0,00135	-0,06458	-0,16158	-0,12622	<b>0,97023</b>
Largura de Fibra	0,95973	0,05237	-0,03890	-0,15402	0,12251	<b>0,95747</b>
Espessura da Parede	0,88138	0,12356	0,00742	-0,11863	0,47008	<b>0,79436</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; \*\*nutrientes no solo; <sup>1</sup>acidez do solo; <sup>2</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>capacidade de troca de cátions; <sup>4</sup>comunalidades.

## ANEXO 3 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 1

## ANEXO 3.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 1

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	<b>0,99</b>	-0,07	<b>0,82</b>	-0,13	<b>-0,47</b>	-0,14	<b>-0,99</b>	-0,35	<b>0,58</b>	<b>0,99</b>	<b>0,86</b>	<b>-0,43</b>	<b>0,90</b>
Altura Comercial	<b>0,75</b>	<b>0,58</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,73</b>	0,20	<b>0,53</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,86</b>	-0,07	<b>0,67</b>	0,35	<b>-0,91</b>	<b>0,41</b>
Diâmetro à Altura do Peito	<b>0,94</b>	0,26	<b>0,96</b>	<b>-0,45</b>	-0,16	0,19	<b>-0,91</b>	<b>-0,63</b>	0,29	<b>0,89</b>	<b>0,66</b>	<b>-0,70</b>	<b>0,71</b>
Massa Específica Básica	<b>0,66</b>	<b>-0,82</b>	0,07	<b>0,69</b>	<b>-0,98</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,70</b>	<b>0,51</b>	<b>0,99</b>	<b>0,74</b>	<b>0,93</b>	<b>0,43</b>	<b>0,91</b>
Comprimento de Fibra	0,03	<b>-0,45</b>	-0,24	<b>0,44</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,45</b>	-0,06	<b>0,42</b>	0,37	0,08	0,24	<b>0,40</b>	0,21
Largura da Fibra	0,01	<b>0,71</b>	<b>0,44</b>	<b>-0,72</b>	<b>0,62</b>	<b>0,71</b>	0,03	<b>-0,69</b>	<b>-0,56</b>	-0,07	-0,33	<b>-0,67</b>	-0,28
Diâmetro do lume	0,38	0,39	<b>0,56</b>	<b>-0,47</b>	0,18	0,36	-0,35	<b>-0,53</b>	-0,11	0,33	0,13	<b>-0,55</b>	0,17
Espessura da Parede	<b>-0,50</b>	<b>0,85</b>	0,07	<b>-0,75</b>	<b>0,95</b>	<b>0,88</b>	<b>0,56</b>	<b>-0,60</b>	<b>-0,94</b>	<b>-0,60</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,79</b>
Índice de Runkel	<b>-0,75</b>	<b>0,52</b>	-0,33	-0,37	<b>0,76</b>	<b>0,57</b>	<b>0,78</b>	-0,19	<b>-0,81</b>	<b>-0,80</b>	<b>-0,87</b>	-0,11	<b>-0,87</b>
Fração Parede	<b>-0,76</b>	<b>0,53</b>	-0,34	-0,38	<b>0,78</b>	<b>0,58</b>	<b>0,79</b>	-0,20	<b>-0,83</b>	<b>-0,81</b>	<b>-0,88</b>	-0,12	<b>-0,88</b>
Coefficiente de Flexibilidade	<b>0,76</b>	<b>-0,53</b>	0,34	0,38	<b>-0,78</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,79</b>	0,20	<b>0,83</b>	<b>0,81</b>	<b>0,88</b>	0,12	<b>0,88</b>
Índice de Enfeltramento	-0,00	<b>-0,70</b>	<b>-0,42</b>	<b>0,70</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,69</b>	-0,04	<b>0,67</b>	<b>0,55</b>	0,08	0,33	<b>0,64</b>	0,28

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.

ANEXO 3.2 - AUTOVALORES DAS TRÊS PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 1

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	13,08926	50,34	50,34
2	10,04016	38,62	88,96
3	1,88521	7,25	96,21

ANEXO 3.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 1

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR		
		1	2	3
Altura Total	0,99828	<b>0,99692</b>	-0,03197	0,05838
TPL <sup>1</sup>	0,99812	<b>0,99558</b>	-0,06521	0,05180
Cobre*	0,99750	<b>0,98195</b>	-0,18015	0,02847
Diâmetro à Altura do Peito	0,99930	<b>0,95107</b>	0,28463	0,11723
Zinco*	0,99573	<b>0,88546</b>	-0,45897	-0,03223
Ferro*	0,99532	<b>0,85025</b>	-0,51985	-0,04640
TPT <sup>2</sup>	0,99924	<b>0,83283</b>	0,52994	0,15747
Altura Comercial	0,99904	<b>0,78361</b>	0,59745	0,16746
Coefficiente de Flexibilidade	0,97514	<b>0,71191</b>	-0,58815	0,34986
Fração Parede	0,97513	<b>-0,71191</b>	0,58815	-0,34986
Potássio*	0,99778	<b>-0,98968</b>	0,12961	-0,03884
VL <sup>3</sup>	0,99425	-0,04486	<b>0,97819</b>	0,18811
Fósforo*	0,99399	-0,11255	<b>0,97360</b>	0,18283
Nitrogênio*	0,99345	-0,44782	<b>0,87896</b>	0,14261
Espessura da Parede	0,95881	-0,47863	<b>0,80091</b>	0,29711
Massa Específica Básica	0,99375	0,60901	<b>-0,78108</b>	-0,11305
Magnésio*	0,99362	0,56308	<b>-0,81338</b>	-0,12234
Manganês*	0,99704	-0,44979	<b>-0,86901</b>	-0,19885
Cálcio*	0,99650	-0,36725	<b>-0,90626</b>	-0,20078
VT <sup>4</sup>	0,99522	-0,15663	<b>-0,96501</b>	-0,19860
Diâmetro do lume	0,99455	0,35158	0,23983	<b>0,90190</b>
Largura da Fibra	0,97846	0,00485	0,58406	<b>0,79832</b>
Índice de Enfeltramento	0,99045	0,00434	-0,55905	<b>-0,82334</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais.

## ANEXO 4 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 2

## ANEXO 4.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 2

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	<b>-0,81</b>	<b>0,91</b>	<b>0,58</b>	0,35	-0,18	<b>-0,83</b>	<b>-0,90</b>	<b>-0,92</b>	<b>-0,99</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,97</b>	-0,26	<b>-0,70</b>
Altura Comercial	<b>-0,95</b>	<b>0,88</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,54</b>	<b>0,68</b>	-0,04	<b>-0,89</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,51</b>	0,35	<b>-0,76</b>	<b>-0,93</b>	0,15
Diâmetro à Altura do Peito	<b>-0,63</b>	<b>0,77</b>	0,35	<b>0,58</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,95</b>	<b>-0,76</b>	<b>-0,79</b>	<b>-0,99</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,89</b>	-0,00	<b>-0,86</b>
Massa Específica Básica	<b>-0,66</b>	<b>0,79</b>	0,38	<b>0,55</b>	-0,39	<b>-0,93</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,99</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,90</b>	-0,04	<b>-0,84</b>
Comprimento de Fibra	0,07	-0,09	-0,02	-0,11	0,09	0,14	0,09	0,09	0,14	0,13	0,11	-0,03	0,14
Largura da Fibra	0,27	-0,23	-0,31	0,23	-0,26	-0,06	0,24	0,22	0,09	-0,18	0,18	0,31	-0,12
Diâmetro do lume	<b>0,45</b>	-0,37	<b>-0,54</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,52</b>	-0,19	0,38	0,35	0,09	-0,39	0,27	<b>0,58</b>	-0,29
Espessura da Parede	-0,02	-0,01	0,06	-0,14	0,13	0,12	0,00	0,01	0,08	0,14	0,04	-0,10	0,13
Índice de Runkel	<b>-0,51</b>	0,39	<b>0,67</b>	<b>-0,69</b>	<b>0,74</b>	0,37	<b>-0,40</b>	-0,36	0,01	<b>0,60</b>	-0,24	<b>-0,76</b>	<b>0,49</b>
Fração Parede	<b>-0,49</b>	0,37	<b>0,66</b>	<b>-0,71</b>	<b>0,76</b>	0,39	-0,38	-0,34	0,04	<b>0,63</b>	-0,22	<b>-0,76</b>	<b>0,52</b>
Coefficiente de Flexibilidade	<b>0,49</b>	-0,37	<b>-0,66</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,76</b>	-0,39	0,38	0,34	-0,04	<b>-0,63</b>	0,22	<b>0,76</b>	<b>-0,52</b>
Índice de Enfeltramento	-0,25	0,22	0,28	-0,21	0,24	0,05	-0,22	-0,21	-0,09	0,16	-0,17	-0,29	0,10

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.



ANEXO 4.2 - AUTOVALORES DAS QUATRO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 2

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	11,50693	44,26	44,26
2	9,03619	34,75	79,01
3	3,99329	15,36	94,37
4	1,13321	4,36	98,73

ANEXO 4.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 2

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR			
		1	2	3	4
Magnésio*	0,99996	<b>0,99340</b>	0,10845	0,01698	0,03270
Ferro*	0,99906	<b>0,97245</b>	-0,20761	0,09929	0,02100
Cálcio*	0,99765	<b>0,92073</b>	-0,36167	0,13751	0,01409
Potássio*	0,99700	<b>0,89467</b>	-0,41677	0,15083	0,01140
Fósforo*	0,99663	<b>0,83144</b>	0,54091	-0,10437	0,04316
TPL <sup>1</sup>	0,99498	<b>0,80546</b>	-0,55882	0,18416	0,00382
Zinco*	0,99423	<b>0,70652</b>	0,68633	-0,14841	0,04463
VL <sup>2</sup>	0,99720	<b>-0,90264</b>	0,40084	-0,14700	-0,01219
Diâmetro à Altura do Peito	0,99946	<b>-0,96642</b>	-0,25226	0,02214	-0,03696
Massa Específica Básica	0,99962	<b>-0,97464</b>	-0,21959	0,01315	-0,03606
Altura Total	0,99997	<b>-0,99856</b>	-0,00661	-0,04405	-0,02928
Nitrogênio*	0,98794	0,18583	<b>0,94554</b>	-0,24058	0,03858
Fração Parede	0,95023	-0,06634	<b>0,91983</b>	0,31508	-0,02146
Índice de Runkel	0,93920	-0,09520	<b>0,91145</b>	0,31507	0,01133
Cobre*	0,99169	0,55058	<b>0,80714</b>	-0,18739	0,04433
TPT <sup>3</sup>	0,99094	-0,57493	<b>0,77889</b>	-0,23156	0,01060
Altura Comercial	0,99115	-0,58938	<b>0,76875</b>	-0,22956	0,00983
VT <sup>4</sup>	0,98929	-0,35541	<b>-0,90128</b>	0,22114	-0,04196
Coefficiente de Flexibilidade	0,95023	0,06634	<b>-0,91983</b>	-0,31508	0,02146
Manganês*	0,98782	0,25337	<b>-0,92610</b>	0,25560	-0,02512
Largura da Fibra	0,98387	0,07688	-0,06355	<b>0,97951</b>	0,12033
Espessura da Parede	0,99868	0,01959	0,37184	<b>0,92473</b>	0,07004
Diâmetro do lume	0,95723	0,10916	-0,38132	<b>0,88317</b>	0,14114
Índice de Enfeltramento	0,97812	-0,08789	0,03479	<b>-0,92452</b>	0,33830
Comprimento de Fibra	0,99801	0,09862	0,04429	0,03224	<b>0,99261</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais.

## ANEXO 5 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 3

## ANEXO 5.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 3

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	<b>-0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>-0,74</b>	<b>0,77</b>	<b>0,82</b>	<b>0,72</b>	<b>0,70</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,82</b>	<b>-0,98</b>	0,28	<b>-0,81</b>	<b>-0,59</b>
Altura Comercial	<b>-0,90</b>	<b>0,90</b>	<b>-0,92</b>	<b>0,94</b>	<b>0,97</b>	<b>0,91</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,97</b>	<b>0,96</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,58</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,83</b>
Diâmetro à Altura do Peito	<b>0,79</b>	<b>-0,79</b>	<b>0,82</b>	<b>-0,85</b>	<b>-0,89</b>	<b>-0,81</b>	<b>-0,60</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,89</b>	<b>0,99</b>	-0,39	<b>0,72</b>	<b>0,70</b>
Massa Específica Básica	<b>-0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>	-0,14	<b>-0,68</b>	<b>0,95</b>	<b>-0,75</b>	<b>0,93</b>	-0,03	<b>-0,99</b>
Comprimento de Fibra	0,37	-0,37	0,36	-0,36	-0,36	-0,36	0,02	0,27	-0,36	0,29	-0,33	0,04	0,36
Largura da Fibra	<b>-0,66</b>	<b>0,66</b>	<b>-0,66</b>	<b>0,67</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	0,14	<b>-0,60</b>	<b>0,67</b>	<b>-0,63</b>	<b>0,50</b>	-0,25	<b>-0,63</b>
Diâmetro do lume	<b>-0,72</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	0,09	<b>-0,62</b>	<b>0,72</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,58</b>	-0,21	<b>-0,69</b>
Espessura da Parede	<b>-0,56</b>	<b>0,56</b>	<b>-0,57</b>	<b>0,58</b>	<b>0,59</b>	<b>0,57</b>	0,19	<b>-0,56</b>	<b>0,59</b>	<b>-0,58</b>	0,39	-0,28	<b>-0,53</b>
Índice de Runkel	-0,18	0,17	-0,19	0,21	0,24	0,19	0,34	-0,35	0,24	-0,34	-0,01	-0,37	-0,12
Fração Parede	-0,22	0,22	-0,23	0,25	0,27	0,23	0,30	-0,36	0,27	-0,35	0,04	-0,33	-0,17
Coefficiente de Flexibilidade	0,22	-0,22	0,23	-0,25	-0,27	-0,23	-0,30	0,36	-0,27	0,35	-0,04	0,33	0,17
Índice de Enfeltramento	<b>0,76</b>	<b>-0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,76</b>	-0,14	<b>0,68</b>	<b>-0,77</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,59</b>	0,26	<b>0,73</b>

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.

ANEXO 5.2 - AUTOVALORES DAS TRÊS PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 3

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	16,94804	65,18	65,18
2	4,90027	18,85	84,03
3	3,29584	12,68	96,71

ANEXO 5.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 3

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR		
		1	2	3
Massa Específica Básica	0,99525	<b>0,99195</b>	0,09203	-0,05309
VL <sup>1</sup>	0,99572	<b>0,97789</b>	0,11034	-0,16517
Fósforo*	0,99591	<b>0,97016</b>	0,11626	-0,20295
VT <sup>2</sup>	0,99626	<b>0,95124</b>	0,12708	-0,27432
Ferro*	0,99433	<b>0,94548</b>	0,02402	0,31593
Magnésio*	0,99665	<b>0,92564</b>	0,13769	-0,34767
Nitrogênio*	0,99667	<b>0,92416</b>	0,13822	-0,35140
Altura Comercial	0,99791	<b>0,79703</b>	0,16708	-0,57856
TPT <sup>3</sup>	0,99600	<b>-0,96567</b>	-0,11919	0,22197
TPL <sup>4</sup>	0,99577	<b>-0,97660</b>	-0,11143	0,17206
Zinco*	0,99518	<b>-0,99307</b>	-0,08870	0,03336
Fração Parede	0,95368	0,07185	<b>0,95604</b>	-0,18574
Índice de Runkel	0,93006	0,02132	<b>0,93794</b>	-0,22333
Espessura da Parede	0,97704	0,46257	<b>0,85942</b>	-0,15642
Largura da Fibra	0,92372	0,57939	<b>0,75390</b>	-0,14020
Comprimento de Fibra	0,73429	-0,44449	<b>0,70947</b>	0,18267
Coeficiente de Flexibilidade	0,95368	-0,07185	<b>-0,95604</b>	0,18574
Manganês*	0,99835	0,04007	-0,16769	<b>0,98418</b>
Cálcio*	0,99879	-0,63006	-0,18358	<b>0,75373</b>
Diâmetro à Altura do Peito	0,99868	-0,65720	-0,18182	<b>0,73055</b>
Altura Total	0,99901	0,55326	0,18714	<b>-0,81111</b>
Potássio*	0,99763	-0,20828	0,15035	<b>-0,96522</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais.

## ANEXO 6 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 4

## ANEXO 6.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 4

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	<b>-0,93</b>	<b>0,87</b>	<b>-0,90</b>	<b>0,70</b>	<b>0,66</b>	0,26	<b>-0,61</b>	<b>0,47</b>	<b>0,80</b>	0,28	<b>-0,97</b>	<b>-0,91</b>	<b>0,96</b>
Altura Comercial	<b>-0,41</b>	<b>0,52</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,74</b>	<b>0,78</b>	<b>0,98</b>	<b>0,77</b>	<b>-0,86</b>	<b>0,64</b>	<b>0,97</b>	-0,30	<b>-0,45</b>	0,33
Diâmetro à Altura do Peito	<b>-0,56</b>	<b>0,66</b>	<b>-0,61</b>	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>	<b>0,99</b>	<b>0,65</b>	<b>-0,76</b>	<b>0,76</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,60</b>	<b>0,49</b>
Massa Específica Básica	<b>-0,71</b>	<b>0,62</b>	<b>-0,67</b>	0,37	0,32	-0,13	<b>-0,87</b>	<b>0,77</b>	<b>0,50</b>	-0,11	<b>-0,79</b>	<b>-0,68</b>	<b>0,77</b>
Comprimento de Fibra	-0,06	0,07	-0,06	0,08	0,08	0,09	0,05	-0,06	0,07	0,09	-0,05	-0,06	0,05
Largura da Fibra	0,27	-0,30	0,28	-0,34	-0,34	-0,34	-0,14	0,19	-0,32	-0,34	0,24	0,28	-0,25
Diâmetro do lume	0,19	-0,21	0,20	-0,23	-0,23	-0,22	-0,07	0,11	-0,22	-0,22	0,18	0,20	-0,18
Espessura da Parede	0,32	-0,35	0,34	<b>-0,41</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,42</b>	-0,19	0,25	-0,38	<b>-0,42</b>	0,28	0,33	-0,29
Índice de Runkel	0,35	-0,38	0,36	<b>-0,44</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,45</b>	-0,20	0,27	<b>-0,41</b>	<b>-0,45</b>	0,30	0,36	-0,32
Fração Parede	0,34	-0,38	0,36	<b>-0,44</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,47</b>	-0,26	0,30	<b>-0,41</b>	<b>-0,47</b>	0,29	0,35	-0,31
Coefficiente de Flexibilidade	-0,34	0,38	-0,36	<b>0,44</b>	<b>0,45</b>	<b>0,47</b>	0,24	-0,30	<b>0,41</b>	<b>0,47</b>	-0,29	-0,35	0,31
Índice de Enfeltramento	-0,29	0,31	-0,30	0,34	0,34	0,33	0,11	-0,16	0,33	0,33	-0,26	-0,30	0,27

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.

ANEXO 6.2 - AUTOVALORES DAS QUATRO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 4

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	13,75819	55,03	55,03
2	6,04698	24,19	79,22
3	3,72454	14,90	94,12
4	1,35802	5,43	99,55

ANEXO 6.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 4

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR			
		1	2	3	4
Zinco*	0,99999	<b>0,98722</b>	0,06943	-0,11590	-0,08453
Altura Total	0,99999	<b>0,97098</b>	-0,22194	-0,06719	-0,05849
VL <sup>1</sup>	0,99999	<b>0,94597</b>	0,27311	-0,14437	-0,09854
Magnésio*	0,99999	<b>0,89571</b>	0,40135	-0,15972	-0,10543
VT <sup>2</sup>	0,99999	<b>0,82292</b>	0,52985	-0,17272	-0,11055
Massa Específica Básica	0,99999	<b>0,81885</b>	-0,57373	0,00567	-0,01649
Nitrogênio*	0,99999	<b>0,79398</b>	0,57099	-0,17629	-0,11174
TPT <sup>3</sup>	0,99999	<b>-0,96295</b>	-0,21249	0,13640	0,09475
Manganês*	0,99999	<b>-0,96768</b>	-0,19237	0,13365	0,09341
TPL <sup>4</sup>	0,99999	<b>-0,97591</b>	-0,15167	0,12796	0,09061
Ferro*	0,99999	<b>-0,99017</b>	-0,02969	0,10981	0,08139
Altura Comercial	0,99998	0,24176	<b>0,94851</b>	-0,17860	-0,09982
Potássio*	0,99998	-0,42808	<b>0,89727</b>	-0,09929	-0,04211
Diâmetro à Altura do Peito	0,99998	0,40524	<b>0,88852</b>	-0,18626	-0,10774
Fósforo*	0,99998	0,44464	<b>0,86906</b>	-0,18730	-0,10923
Cobre*	0,99998	0,46158	<b>0,86004</b>	-0,18764	-0,10981
Cálcio*	0,99998	0,27583	<b>-0,95133</b>	0,12416	0,05883
Índice de Runkel	0,99661	-0,18184	-0,20018	<b>0,94300</b>	0,18499
Fração Parede	0,99779	-0,16548	-0,22789	<b>0,92926</b>	0,23444
Coeficiente de Flexibilidade	0,99779	0,16548	0,22789	<b>-0,92926</b>	-0,23444
Diâmetro do lume	0,99308	-0,08979	-0,07496	0,04134	<b>0,98879</b>
Largura da Fibra	0,99405	-0,12573	-0,13258	0,34824	<b>0,91618</b>
Espessura da Parede	0,99464	-0,14857	-0,17707	0,63293	<b>0,73527</b>
Índice de Enfeltramento	0,91386	0,13875	0,08562	-0,57473	<b>-0,74629</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais.

## ANEXO 7 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 5

## ANEXO 7.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 5

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	<b>-0,87</b>	<b>0,77</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,79</b>	0,37	0,13	<b>-0,73</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,88</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,91</b>	<b>-0,86</b>	<b>0,91</b>
Altura Comercial	<b>-0,79</b>	<b>0,68</b>	<b>-1,00</b>	<b>0,71</b>	<b>0,49</b>	0,26	<b>-0,64</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,81</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,95</b>	<b>-0,92</b>	<b>0,85</b>
Diâmetro à Altura do Peito	0,13	0,02	<b>0,70</b>	-0,01	<b>-0,96</b>	<b>-0,86</b>	-0,08	<b>0,99</b>	0,17	-0,11	<b>0,88</b>	<b>0,92</b>	-0,23
Massa Específica Básica	<b>-0,72</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,63</b>	<b>0,57</b>	0,35	<b>-0,56</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,75</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,98</b>	<b>-0,95</b>	<b>0,79</b>
Comprimento de Fibra	0,08	-0,06	0,13	-0,06	-0,09	-0,06	0,05	0,10	0,08	0,05	0,13	0,13	-0,09
Largura da Fibra	-0,35	0,28	<b>-0,52</b>	0,29	0,35	0,24	-0,25	<b>-0,42</b>	-0,36	-0,24	<b>-0,53</b>	<b>-0,52</b>	0,39
Diâmetro do lume	-0,18	0,12	-0,37	0,13	0,35	0,28	-0,09	-0,39	-0,19	-0,08	<b>-0,41</b>	<b>-0,42</b>	0,22
Espessura da Parede	<b>-0,51</b>	<b>0,44</b>	<b>-0,62</b>	<b>0,46</b>	0,28	0,13	<b>-0,42</b>	-0,38	<b>-0,52</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,59</b>	<b>-0,57</b>	<b>0,54</b>
Índice de Runkel	<b>-0,57</b>	<b>0,54</b>	<b>-0,51</b>	<b>0,55</b>	0,02	-0,12	<b>-0,53</b>	-0,13	<b>-0,57</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,41</b>	-0,37	<b>0,58</b>
Fração Parede	<b>-0,56</b>	<b>0,53</b>	<b>-0,54</b>	<b>0,54</b>	0,06	-0,07	<b>-0,52</b>	-0,17	<b>-0,57</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,41</b>	<b>0,58</b>
Coefficiente de Flexibilidade	<b>0,56</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,54</b>	<b>-0,54</b>	-0,06	0,07	<b>0,52</b>	0,17	<b>0,57</b>	<b>0,51</b>	<b>0,45</b>	<b>0,41</b>	<b>-0,58</b>
Índice de Enfeltramento	0,26	-0,19	<b>0,43</b>	-0,21	-0,33	-0,25	0,17	0,39	0,27	0,16	<b>0,46</b>	<b>0,45</b>	-0,30

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.

ANEXO 7.2 - AUTOVALORES DAS QUATRO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 5

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	13,76600	55,06	55,06
2	6,93142	27,73	82,79
3	2,51482	10,06	92,85
4	1,68099	6,72	99,57

ANEXO 7.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA DA ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 5

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR			
		1	2	3	4
Potássio*	0,99997	<b>0,97716</b>	-0,13228	-0,20501	-0,07107
TPL <sup>1</sup>	0,99997	<b>0,96587</b>	0,08219	-0,21989	-0,10938
Cobre*	0,99997	<b>0,96409</b>	-0,15857	-0,20247	-0,06605
Magnésio*	0,99997	<b>0,96120</b>	0,11743	-0,22135	-0,11524
TPT <sup>2</sup>	0,99998	<b>0,70255</b>	0,65634	-0,20214	-0,18648
Altura Total	0,99998	<b>-0,78086</b>	-0,56010	0,21269	0,17690
Zinco*	0,99997	<b>-0,94856</b>	-0,18547	0,22336	0,12619
VL <sup>3</sup>	0,99997	<b>-0,97132</b>	0,07615	0,20990	0,08153
VT <sup>4</sup>	0,99997	<b>-0,97227</b>	0,04372	0,21240	0,08744
Cálcio*	0,99999	-0,06251	<b>0,98191</b>	-0,05559	-0,16986
Diâmetro à Altura do Peito	0,99999	0,01941	<b>0,98112</b>	-0,07369	-0,17774
Manganês	0,99999	0,38861	<b>0,88765</b>	-0,14892	-0,19717
Ferro*	0,99999	0,47371	<b>0,84234</b>	-0,16457	-0,19739
Massa Específica Básica	0,99998	-0,62721	<b>-0,73024</b>	0,19067	0,19234
Fósforo*	0,99999	0,46927	<b>-0,87506</b>	-0,04212	0,11084
Nitrogênio*	0,99999	0,24288	<b>0,95860</b>	0,01397	0,14800
Fração Parede	0,99832	-0,35400	-0,12691	<b>0,91489</b>	0,14098
Índice de Runkel	0,99377	-0,36119	-0,07828	<b>0,91391</b>	0,14821
Coefficiente de Flexibilidade	0,99832	0,35400	0,12691	<b>-0,91489</b>	-0,14098
Diâmetro do lume	0,99153	-0,09120	-0,24840	-0,12760	<b>0,95144</b>
Largura da Fibra	0,99123	-0,19593	-0,27364	0,18407	<b>0,91874</b>
Espessura da Parede	0,99022	-0,30126	-0,25769	0,56497	<b>0,71685</b>
Índice de Enfeltramento	0,93009	0,07551	0,23390	-0,33629	<b>-0,86983</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais.

## ANEXO 8 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 6

## ANEXO 8.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 6

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	0,13	<b>0,88</b>	<b>0,83</b>	<b>-0,87</b>	0,05	-0,34	-0,32	<b>0,92</b>	<b>0,98</b>	<b>-0,81</b>	<b>0,52</b>	<b>0,98</b>	<b>-0,79</b>
Altura Comercial	<b>-0,53</b>	<b>-0,60</b>	<b>-0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,46</b>	-0,07	-0,09	<b>-0,68</b>	<b>-0,83</b>	<b>0,49</b>	<b>-0,83</b>	<b>-0,96</b>	<b>0,46</b>
Diâmetro à Altura do Peito	<b>0,65</b>	<b>0,48</b>	<b>1,00</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,59</b>	0,22	0,24	<b>0,56</b>	<b>0,74</b>	-0,36	<b>0,90</b>	<b>0,91</b>	-0,32
Massa Específica Básica	<b>-0,64</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,57</b>	-0,20	-0,22	<b>-0,58</b>	<b>-0,75</b>	0,38	<b>-0,89</b>	<b>-0,91</b>	0,34
Comprimento de Fibra	0,08	-0,15	-0,04	0,05	0,09	0,13	0,13	-0,15	-0,13	0,15	0,02	-0,10	0,15
Largura da Fibra	-0,04	<b>0,81</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,65</b>	-0,11	<b>-0,44</b>	<b>-0,42</b>	<b>0,83</b>	<b>0,85</b>	<b>-0,77</b>	0,30	<b>0,80</b>	<b>-0,76</b>
Diâmetro do lume	-0,07	<b>0,84</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,65</b>	-0,14	<b>-0,47</b>	<b>-0,46</b>	<b>0,86</b>	<b>0,87</b>	<b>-0,80</b>	0,28	<b>0,81</b>	<b>-0,79</b>
Espessura da Parede	0,07	<b>0,54</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,52</b>	0,02	-0,21	-0,21	<b>0,56</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,50</b>	0,31	<b>0,60</b>	<b>-0,48</b>
Índice de Runkel	0,11	<b>-0,77</b>	<b>-0,50</b>	<b>0,55</b>	0,18	<b>0,47</b>	<b>0,45</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,78</b>	<b>0,74</b>	-0,20	<b>-0,71</b>	<b>0,73</b>
Fração Parede	0,15	<b>-0,81</b>	<b>-0,50</b>	<b>0,54</b>	0,22	<b>0,51</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,81</b>	<b>0,78</b>	-0,18	<b>-0,72</b>	<b>0,77</b>
Coefficiente de Flexibilidade	-0,15	<b>0,81</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,54</b>	-0,22	<b>-0,51</b>	<b>-0,50</b>	<b>0,82</b>	<b>0,81</b>	<b>-0,78</b>	0,18	<b>0,72</b>	<b>-0,77</b>
Índice de Enfeltramento	0,01	<b>-0,76</b>	<b>-0,59</b>	<b>0,63</b>	0,08	0,39	0,38	<b>-0,78</b>	<b>-0,80</b>	<b>0,71</b>	-0,30	<b>-0,76</b>	<b>0,70</b>

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.



ANEXO 8.2 - AUTOVALORES DAS QUATRO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 6

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	15,44526	59,40	59,40
2	7,52917	28,96	88,36
3	1,17227	4,51	92,87
4	1,06365	4,09	96,96

ANEXO 8.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 6

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR			
		1	2	3	4
Zinco*	0,98201	<b>0,95621</b>	0,04033	-0,25560	-0,02671
Cobre*	0,98172	<b>0,95617</b>	0,00275	-0,25846	-0,02545
Fração Parede	0,93925	<b>0,89259</b>	-0,25756	0,09778	0,25814
Índice de Runkel	0,93335	<b>0,86658</b>	-0,28411	0,15648	0,27783
Fósforo*	0,99055	<b>0,80055</b>	0,56386	-0,17357	-0,04016
Potássio*	0,99088	<b>0,79147</b>	0,57784	-0,17004	-0,04039
Largura da Fibra	0,92171	<b>-0,71984</b>	0,33386	0,50231	-0,19940
Altura Total	0,98438	<b>-0,76743</b>	0,57632	0,25156	0,00100
Diâmetro do lume	0,91940	<b>-0,78626</b>	0,32714	0,38421	-0,21577
Magnésio*	0,98245	<b>-0,84767</b>	0,44123	0,26297	0,00766
Coeficiente de Flexibilidade	0,93925	<b>-0,89259</b>	0,25756	-0,09778	-0,25814
Cálcio*	0,98110	<b>-0,92591</b>	0,22752	0,26783	0,01691
VL <sup>1</sup>	0,98112	<b>-0,94530</b>	0,12878	0,26555	0,02074
Ferro*	0,99973	0,08480	<b>0,99422</b>	0,05288	-0,03563
TPT <sup>2</sup>	0,99478	-0,32363	<b>0,92974</b>	0,15845	-0,02264
Diâmetro à Altura do Peito	0,99466	-0,32968	<b>0,92731</b>	0,15991	-0,02239
TPL <sup>3</sup>	0,99840	0,46096	<b>0,88367</b>	-0,05731	-0,04189
Nitrogênio*	0,99742	0,52866	<b>0,84258</b>	-0,07876	-0,04231
Altura Comercial	0,99200	0,45868	<b>-0,86328</b>	-0,18992	0,01682
VT <sup>4</sup>	0,99342	0,39223	<b>-0,89926</b>	-0,17469	0,01979
Massa Específica Básica	0,99435	0,34593	<b>-0,92054</b>	-0,16378	0,02174
Espessura da Parede	0,95322	-0,32493	0,29437	<b>0,86701</b>	-0,09637
Comprimento de Fibra	0,79594	0,10496	0,05474	-0,07522	<b>0,88106</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais.

## ANEXO 9 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 7

## ANEXO 9.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 7

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	<b>-0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,54</b>	<b>0,54</b>	<b>0,89</b>	<b>-0,98</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,59</b>	<b>0,86</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,45</b>
Altura Comercial	<b>-0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>-0,98</b>	<b>0,76</b>	0,27	<b>0,72</b>	<b>-0,98</b>	<b>-0,98</b>	<b>0,80</b>	<b>0,97</b>	<b>-0,97</b>	-0,16
Diâmetro à Altura do Peito	<b>-0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,54</b>	<b>0,54</b>	<b>0,89</b>	<b>-0,98</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,59</b>	<b>0,86</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,44</b>
Massa Específica Básica	<b>-0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>	<b>-0,97</b>	<b>0,77</b>	0,26	<b>0,71</b>	<b>-0,98</b>	<b>-0,97</b>	<b>0,81</b>	<b>0,97</b>	<b>-0,97</b>	-0,15
Comprimento de Fibra	-0,14	0,14	0,15	-0,13	-0,03	0,19	0,19	-0,13	-0,13	-0,01	0,06	-0,06	-0,18
Largura da Fibra	-0,07	0,08	0,09	-0,05	-0,23	0,34	0,23	-0,04	-0,06	-0,22	-0,09	0,09	-0,35
Diâmetro do lume	-0,18	0,19	0,19	-0,17	-0,05	0,26	0,26	-0,16	-0,17	-0,03	0,07	-0,07	-0,26
Espessura da Parede	0,16	-0,14	-0,14	0,19	<b>-0,56</b>	<b>0,41</b>	0,13	0,22	0,19	<b>-0,55</b>	<b>-0,41</b>	<b>0,41</b>	<b>-0,46</b>
Índice de Runkel	<b>0,44</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,42</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,63</b>	0,17	-0,16	<b>0,49</b>	<b>0,46</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,61</b>	<b>0,61</b>	-0,24
Fração Parede	<b>0,45</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,43</b>	<b>0,48</b>	<b>-0,63</b>	0,16	-0,17	<b>0,49</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,61</b>	<b>0,61</b>	-0,23
Coefficiente de Flexibilidade	<b>-0,45</b>	<b>0,44</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,48</b>	<b>0,64</b>	-0,16	0,17	<b>-0,49</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,64</b>	<b>0,61</b>	<b>-0,61</b>	0,23
Índice de Enfeltramento	0,07	-0,08	-0,08	0,04	0,29	-0,39	-0,26	0,02	0,05	0,27	0,12	-0,12	<b>0,40</b>

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.

ANEXO 9.2 - AUTOVALORES DAS QUATRO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 7

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	15,42727	59,34	59,34
2	5,48036	21,08	80,41
3	3,29211	12,66	93,08
4	1,50818	5,80	98,88

ANEXO 9.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 7

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR			
		1	2	3	4
VL <sup>1</sup>	0,99995	<b>0,98345</b>	0,05098	-0,12376	-0,12186
TPT <sup>2</sup>	0,99996	<b>0,98275</b>	0,053003	-0,12134	-0,12889
Diâmetro à Altura do Peito	0,99997	<b>0,98180</b>	0,05559	-0,11831	-0,13769
Altura Total	0,99997	<b>0,98178</b>	0,05564	-0,11825	-0,13784
Altura Comercial	0,99901	<b>0,96914</b>	-0,05361	-0,20443	0,13201
Massa Específica Básica	0,99892	<b>0,96607</b>	-0,02780	-0,20855	0,14617
Ferro*	0,99748	<b>0,89793</b>	-0,08575	-0,26075	0,34038
Potássio*	0,99879	<b>0,83091</b>	0,16766	0,03457	-0,52827
Manganês*	0,99753	<b>-0,90063</b>	0,08406	0,25935	-0,33475
TPL <sup>3</sup>	0,99990	<b>-0,98552</b>	-0,04338	0,13263	0,09579
Cálcio*	0,99965	<b>-0,98631</b>	-0,01633	0,16298	0,00342
Magnésio*	0,99979	<b>-0,98718</b>	-0,02996	0,14793	0,04988
VT <sup>4</sup>	0,99977	<b>-0,98721</b>	-0,02790	0,15023	0,04285
Largura da Fibra	0,99678	0,01296	<b>0,98701</b>	-0,07803	-0,12780
Diâmetro do lume	0,99868	0,10312	<b>0,94793</b>	-0,29440	-0,05291
Espessura da Parede	0,98010	-0,17690	<b>0,85133</b>	0,39904	-0,25459
Índice de Enfeltramento	0,95407	0,02556	<b>-0,90971</b>	0,21632	0,28116
Índice de Runkel	0,98293	-0,35047	-0,10246	<b>0,89270</b>	-0,22952
Fração Parede	0,97945	-0,36167	-0,13296	<b>0,87947</b>	-0,23979
Coeficiente de Flexibilidade	0,97935	0,36286	0,13204	<b>-0,87901</b>	0,23997
Zinco*	0,99409	-0,34947	-0,25971	-0,22583	<b>0,86805</b>
Fósforo*	0,99490	0,44945	0,25053	0,19721	<b>-0,83141</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais.

## ANEXO 10 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 8

## ANEXO 10.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 8

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	<b>0,82</b>	<b>-0,77</b>	<b>0,99</b>	-0,01	0,11	<b>-0,47</b>	<b>-0,82</b>	0,13	<b>0,59</b>	0,24	<b>0,90</b>	<b>1,00</b>	-0,08
Altura Comercial	<b>0,64</b>	<b>-0,58</b>	<b>0,98</b>	-0,27	-0,14	<b>-0,68</b>	<b>-0,65</b>	0,38	0,37	-0,00	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	-0,34
Diâmetro à Altura do Peito	<b>0,99</b>	<b>-0,98</b>	<b>0,83</b>	<b>0,47</b>	<b>0,58</b>	0,01	<b>-0,99</b>	-0,36	<b>0,91</b>	<b>0,68</b>	<b>0,58</b>	<b>0,87</b>	<b>0,40</b>
Massa Específica Básica	<b>-0,46</b>	<b>0,52</b>	0,20	<b>-0,99</b>	<b>-0,97</b>	<b>-0,93</b>	<b>0,45</b>	<b>1,00</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,92</b>	<b>0,53</b>	0,12	<b>-0,99</b>
Comprimento de Fibra	0,00	0,00	0,05	-0,07	-0,06	-0,08	-0,00	0,07	-0,02	-0,05	0,07	0,05	-0,07
Largura da Fibra	<b>-0,64</b>	<b>0,65</b>	-0,39	<b>-0,49</b>	<b>-0,54</b>	-0,23	<b>0,63</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,65</b>	<b>-0,59</b>	-0,18	<b>-0,43</b>	<b>-0,45</b>
Diâmetro do lume	<b>-0,62</b>	<b>0,64</b>	-0,33	<b>-0,54</b>	<b>-0,58</b>	-0,30	<b>0,62</b>	<b>0,49</b>	<b>-0,66</b>	<b>-0,62</b>	-0,11	-0,38	<b>-0,51</b>
Espessura da Parede	<b>-0,62</b>	<b>0,61</b>	<b>-0,54</b>	-0,26	-0,33	0,03	<b>0,62</b>	0,19	<b>-0,56</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,57</b>	-0,22
Índice de Runkel	<b>0,44</b>	<b>-0,48</b>	-0,01	<b>0,71</b>	<b>0,71</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,70</b>	<b>0,59</b>	<b>0,70</b>	-0,26	0,04	<b>0,70</b>
Fração Parede	<b>0,44</b>	<b>-0,48</b>	0,01	<b>0,67</b>	<b>0,67</b>	<b>0,55</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,58</b>	<b>0,67</b>	-0,21	0,07	<b>0,66</b>
Coefficiente de Flexibilidade	<b>-0,44</b>	<b>0,48</b>	-0,02	<b>-0,67</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,55</b>	<b>0,44</b>	<b>0,65</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,66</b>	0,21	-0,08	<b>-0,66</b>
Índice de Enfeltramento	<b>0,56</b>	<b>-0,56</b>	0,35	<b>0,41</b>	<b>0,46</b>	0,18	<b>-0,56</b>	-0,36	<b>0,57</b>	<b>0,50</b>	0,17	0,39	0,38

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.

ANEXO 10.2 - AUTOVALORES DAS QUATRO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 8

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	13,88473	53,40	53,40
2	7,98413	30,71	84,11
3	2,34928	9,04	93,15
4	1,27893	4,92	98,07

ANEXO 10.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 8

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR			
		1	2	3	4
Manganês*	0,99783	<b>0,98396</b>	-0,11663	-0,12326	0,02924
Altura Total	0,99780	<b>0,98329</b>	-0,12416	-0,12110	0,02924
TPT <sup>1</sup>	0,99752	<b>0,97285</b>	-0,20139	-0,09837	0,02914
Altura Comercial	0,99698	<b>0,92769</b>	-0,36527	-0,04652	0,02824
Diâmetro à Altura do Peito	0,99948	<b>0,90264</b>	0,35600	-0,23945	0,02561
TPL <sup>2</sup>	0,99971	<b>0,85767</b>	0,44464	-0,25656	0,02406
Ferro*	0,99660	<b>0,85517</b>	-0,51435	0,00560	0,02649
VL <sup>3</sup>	0,99984	<b>-0,81672</b>	-0,51034	0,26804	-0,02268
Potássio*	0,99969	<b>-0,86172</b>	-0,43749	0,25524	-0,02420
Zinco*	0,99828	0,00111	<b>0,96383</b>	-0,26326	-0,00249
VT <sup>4</sup>	0,99898	0,07346	<b>0,95839</b>	-0,27318	-0,00034
Nitrogênio*	0,99898	0,19904	<b>0,93647</b>	-0,28699	0,00341
Fósforo*	0,99695	-0,38940	<b>0,90061</b>	-0,18445	-0,01380
Cobre*	0,99939	0,33061	<b>0,89559</b>	-0,29657	0,00738
Cálcio*	0,99811	0,04472	<b>-0,96459</b>	0,25624	0,00384
Massa Específica Básica	0,99813	0,03839	<b>-0,96461</b>	0,25725	0,00365
Diâmetro do lume	0,99334	-0,31652	-0,28331	<b>0,90134</b>	0,02165
Largura da Fibra	0,97324	-0,36760	-0,22751	<b>0,88674</b>	0,00615
Coefficiente de Flexibilidade	0,92122	-0,02420	-0,47136	<b>0,83315</b>	0,06567
Espessura da Parede	0,81213	-0,51158	-0,01022	<b>0,74026</b>	-0,04826
Índice de Enfeltramento	0,98640	0,32288	0,19536	<b>-0,72600</b>	0,56293
Índice de Runkel	0,93126	-0,00267	0,52405	<b>-0,80718</b>	-0,07136
Fração Parede	0,92244	0,02019	0,47388	<b>-0,83256</b>	-0,06563
Comprimento de Fibra	0,98373	0,02207	-0,04984	0,07262	<b>0,98767</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>2</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais.

## ANEXO 11 - ANÁLISE MULTIVARIADA DA ÁREA EXPERIMENTAL II: TRATAMENTO 9

## ANEXO 11.1 - CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 9

VARIÁVEIS	TPL <sup>1</sup>	VL <sup>2</sup>	TPT <sup>3</sup>	VT <sup>4</sup>	N <sup>5*</sup>	P <sup>6*</sup>	K <sup>7*</sup>	Ca <sup>8*</sup>	Mg <sup>9*</sup>	Cu <sup>10*</sup>	Fe <sup>11*</sup>	Mn <sup>12*</sup>	Zn <sup>13*</sup>
Altura Total	-0,32	<b>0,43</b>	<b>0,92</b>	0,09	0,08	<b>0,50</b>	-0,28	-0,05	0,35	0,24	<b>0,82</b>	<b>-0,72</b>	<b>0,58</b>
Altura Comercial	0,08	0,04	<b>1,00</b>	-0,32	<b>0,47</b>	0,11	0,13	<b>-0,44</b>	-0,05	<b>0,61</b>	<b>0,52</b>	<b>-0,94</b>	0,21
Diâmetro à Altura do Peito	<b>-0,60</b>	<b>0,68</b>	<b>0,75</b>	0,38	-0,23	<b>0,74</b>	<b>-0,56</b>	0,26	<b>0,62</b>	-0,06	<b>0,95</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,80</b>
Massa Específica Básica	<b>-0,89</b>	<b>0,83</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,97</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,78</b>	<b>-0,91</b>	<b>0,99</b>	<b>0,88</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,45</b>	<b>0,79</b>	<b>0,72</b>
Comprimento de Fibra	0,27	-0,28	-0,01	-0,26	0,24	-0,28	0,27	-0,24	-0,27	0,21	-0,24	-0,09	-0,27
Largura da Fibra	<b>0,59</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,53</b>	<b>-0,69</b>	<b>0,73</b>	<b>-0,49</b>	<b>0,61</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,58</b>	<b>0,75</b>	-0,20	<b>-0,68</b>	<b>-0,43</b>
Diâmetro do lume	<b>0,57</b>	<b>-0,50</b>	<b>0,61</b>	<b>-0,69</b>	<b>0,75</b>	<b>-0,45</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,55</b>	<b>0,79</b>	-0,13	<b>-0,76</b>	-0,38
Espessura da Parede	<b>0,51</b>	<b>-0,50</b>	0,07	<b>-0,50</b>	<b>0,48</b>	<b>-0,49</b>	<b>0,51</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,51</b>	<b>0,44</b>	-0,39	-0,24	<b>-0,48</b>
Índice de Runkel	-0,28	0,20	<b>-0,73</b>	<b>0,44</b>	<b>-0,53</b>	0,14	-0,31	<b>0,52</b>	0,26	<b>-0,62</b>	-0,19	<b>0,76</b>	0,07
Fração Parede	-0,34	0,25	<b>-0,78</b>	<b>0,51</b>	<b>-0,61</b>	0,19	-0,37	<b>0,59</b>	0,32	<b>-0,69</b>	-0,16	<b>0,82</b>	0,11
Coefficiente de Flexibilidade	0,34	-0,25	<b>0,78</b>	<b>-0,51</b>	<b>0,61</b>	-0,19	0,37	<b>-0,59</b>	-0,32	<b>0,69</b>	0,16	<b>-0,82</b>	-0,11
Índice de Enfeltramento	-0,30	0,25	<b>-0,48</b>	<b>0,40</b>	<b>-0,46</b>	0,21	-0,33	<b>0,45</b>	0,29	<b>-0,50</b>	-0,02	<b>0,54</b>	0,16

NOTAS: coeficientes de correlação destacados em negrito para p-valor  $\leq 5\%$ .

\*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas transversais; <sup>4</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>5</sup>nitrogênio; <sup>6</sup>fósforo; <sup>7</sup>potássio; <sup>8</sup>cálcio; <sup>9</sup>magnésio; <sup>10</sup>cobre; <sup>11</sup>ferro; <sup>12</sup>manganês; <sup>13</sup>zinco.

ANEXO 11.2 - AUTOVALORES DAS QUATRO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 9

FATOR	AUTOVALOR	VARIAÇÃO TOTAL (%)	VARIAÇÃO ACUMULADA (%)
1	13,88684	53,41	53,41
2	8,53427	32,82	86,24
3	1,52636	5,87	92,11
4	1,28575	4,95	97,05

ANEXO 11.3 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA A ÁREA EXPERIMENTAL II - TRATAMENTO 9

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATOR			
		1	2	3	4
Magnésio*	0,99957	<b>0,98143</b>	-0,00557	-0,19048	0,00794
VL <sup>1</sup>	0,99993	<b>0,97912</b>	0,08366	-0,18482	0,00961
Fósforo*	0,99999	<b>0,97054</b>	0,16128	-0,17862	0,01101
Zinco*	0,99979	<b>0,95289</b>	0,25049	-0,16999	0,01256
VT <sup>2</sup>	0,99697	<b>0,94130</b>	-0,26778	-0,19802	0,00264
Cálcio*	0,99495	<b>0,89516</b>	-0,39377	-0,19644	-0,00013
Massa Específica Básica	0,99334	<b>0,85269</b>	-0,47848	-0,19316	-0,00208
Ferro*	0,99666	<b>0,82063</b>	0,55398	-0,12664	0,01722
Cobre*	0,99154	<b>-0,79877</b>	0,56414	0,18772	0,00415
Nitrogênio*	0,99450	<b>-0,88365</b>	0,41877	0,19567	0,00069
Potássio*	0,99908	<b>-0,97743</b>	0,07790	0,19393	-0,00653
TPL <sup>3</sup>	0,99943	<b>-0,98067</b>	0,02978	0,19175	-0,00747
Altura Comercial	0,98218	-0,03465	<b>0,98818</b>	0,06444	0,01844
TPT <sup>4</sup>	0,98217	-0,03973	<b>0,98791</b>	0,06541	0,01840
Altura Total	0,98627	0,35801	<b>0,92598</b>	-0,01527	0,02048
Coeficiente de Flexibilidade	0,88292	-0,27621	<b>0,80859</b>	0,25754	-0,29407
Diâmetro à Altura do Peito	0,99158	0,61899	<b>0,77620</b>	-0,07459	0,01978
Índice de Runkel	0,81626	0,22708	<b>-0,77567</b>	-0,20710	0,34662
Fração Parede	0,88292	0,27621	<b>-0,80859</b>	-0,25754	0,29407
Manganês*	0,98319	0,37786	<b>-0,90790</b>	-0,12625	-0,01411
Espessura da Parede	0,92210	-0,34422	-0,03956	<b>0,87775</b>	0,17779
Largura da Fibra	0,99970	-0,43532	0,46506	<b>0,76949</b>	-0,04240
Comprimento de Fibra	0,91153	-0,21557	-0,02047	0,39817	<b>0,84030</b>
Índice de Enfeltramento	0,94289	0,19762	-0,42872	-0,44632	<b>0,72169</b>

NOTAS: \*nutrientes nas acículas das árvores; <sup>1</sup>velocidade de propagação de ondas longitudinais; <sup>2</sup>velocidade de propagação de ondas transversais; <sup>3</sup>tempo de propagação de ondas longitudinais; <sup>4</sup>tempo de propagação de ondas transversais.