

KARINNE PEREIRA DE SIQUEIRA

**VARIABILIDADE DA MASSA ESPECÍFICA DE *Pinus taeda* L. EM DIFERENTES
CLASSES DE SÍTIO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais

Orientador: Prof^a. Dr.^a Ghislaine Bonduelle

Co-Orientador: Dr. Washington Magalhães

CURITIBA

2004



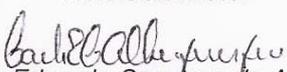
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

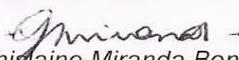
PARECER

Defesa nº. 581

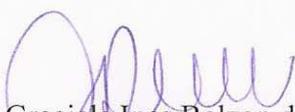
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando (a) *Karinne Pereira de Siqueira* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.


Dr. José Carlos Duarte Pereira
Embrapa Florestas
Primeiro examinador


Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Ghislaine Miranda Bonduelle
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 14 de dezembro de 2004.


Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-Coodenador do Curso

Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III - CEP 80210-170 - Curitiba - Paraná
Tel: (41) 360-4212 - Fax: (41) 360-4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>



À memória de minha mãe, pela afeição, pela vida, pela aposta amorosa que me permitiu, um dia, escrever esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir vencer mais uma etapa.

Ao meu Pai, aos meus irmãos, Alessandro (in memorian), Erik e Jakson, aos meus sobrinhos, Henrique e Beatriz e à minha cunhada Carol pelo apoio.

À Dorinha por estar sempre presente.

Aos amigos do curso de pós-graduação, em especial à Ana Raquel, Assis Brasil, Gina, Rodrigo, Charles, Franciele e Leopoldo, pela agradável convivência e amizade. Sem eles, certamente, tudo seria mais difícil.

À amiga Iana pelo auxílio e paciência na correção deste trabalho, e à Kátia pela ajuda nas traduções.

Ao Claudemiro pelo apoio e correções durante a fase mais difícil.

À professora Ghislaine Miranda Bonduelle pela orientação.

Ao Washington Magalhães pela co-orientação e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

À professora Graciela Inês Bolzon de Muniz, pela amizade e disponibilidade sempre que precisei.

Ao professor Camargo e ao José Carlos Duarte Pereira, pelas sugestões apresentadas.

Ao Professor Júlio Arce por ter cedido o material objeto deste estudo.

À Universidade Federal do Paraná e ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES pelo suporte financeiro.

À EMBRAPA Florestas pelo apoio técnico.

Aos técnicos de laboratório da EMBRAPA Florestas, em especial ao Sidney.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma participaram desta etapa da minha vida.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo Geral.....	2
1.2. Objetivos Específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Massa específica.....	3
2.1.1. Variação da massa específica na madeira sentido radial e axial.....	4
2.1.2. Lenho juvenil e adulto.....	6
2.1.3. Variação da massa específica entre árvores e sítios.....	7
2.2. Princípios da densitometria de raios-X.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Local de estudo	11
3.2. Amostragem.....	11
3.3. Determinação da massa específica básica.....	14
3.4. Obtenção das radiografias de raios-X.....	14
3.5. Utilização do software DendroScan.....	16
3.6. Determinação da idade de transição entre os lenhos juvenil e adulto.....	17
3.7. Análise estatística.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1. Metodologias de determinação de massa específica.....	21
4.2. Variação da massa específica básica em diferentes sítios.....	23

4.3. Variação da massa específica básica no sentido radial.....	25
4.4. Variação da massa específica básica com a altura da árvore.....	29
4.5. Determinação da idade de transição entre o lenho juvenil e adulto.....	31
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	DISPOSIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DO TRONCO.....	6
FIGURA 2.	ESQUEMA ILUSTRATIVO DA COLETA DOS DISCOS EM DIFERENTES ALTURAS.....	12
FIGURA 3.	REPRESENTAÇÃO DOS CORTES DOS CORPOS DE PROVA. 1- CORPO DE PROVA UTILIZADO PARA RADIOGRAFIA; 2- CORPO DE PROVA UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO DE IMERSÃO.....	13
FIGURA 4.	EXEMPLO DE IMAGEM POSITIVA DE RADIOGRAFIA DE UMA AMOSTRA DE MADEIRA NO SENTIDO RADIAL. 1-CUNHA DE CALIBRAÇÃO; 2-CORPO DE PROVA; 3- LINHA ONDE O SOFTWARE DENDROSCAN FAZ A LEITURA.....	16
FIGURA 5.	LIMITES DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DETERMINADO PELO SOFTWARE DENDROSCAN.....	17
FIGURA 6.	VARIAÇÃO RADIAL DA MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DOS ANÉIS DA ÁRVORE 2, SÍTIO I, COM 24 ANOS E IDADE DE TRANSIÇÃO DO LENHO JUVENIL PARA O ADULTO DE 14 ANOS.....	18
FIGURA 7.	VARIAÇÃO RADIAL DA MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DOS ANÉIS DA ÁRVORE 2, SÍTIO II, COM IDADE DE TRANSIÇÃO DO LENHO JUVENIL PARA O ADULTO DE 12,7 ANOS.....	18
FIGURA 8.	VARIAÇÃO RADIAL DA MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DOS ANÉIS DA ÁRVORE 1, SÍTIO III, COM IDADE DE TRANSIÇÃO DO LENHO JUVENIL PARA O ADULTO DE 11,3 ANOS.....	19
FIGURA 9.	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA DETERMINADA EM DIFERENTES AMOSTRAS, ATRAVÉS DA TOMOGRAFIA DE RAIOS-X E DO MÉTODO DE IMERSÃO.....	21

FIGURA 10.	ANÁLISE DE REGRESSÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA ENTRE AS METODOLOGIAS DE DENSITOMETRIA DE RAIOS-X E O MÉTODO DE IMERSÃO.....	22
FIGURA 11.	VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA EM DIFERENTES SÍTIOS FLORESTAIS.....	24
FIGURA 12.	VARIAÇÃO RADIAL DA MASSA ESPECÍFICA NO SENTIDO DA MEDULA PARA A CASCA.....	26
FIGURA 13.	VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO.....	28
FIGURA 14.	TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO AXIAL DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA DA MADEIRA NO SENTIDO BASE-TOPO.....	30
FIGURA 15.	TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO NA MADEIRA NO SENTIDO BASE-TOPO.....	31
FIGURA 16.	TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO, PARA A ÁRVORE 2 DO SÍTIO I.....	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	VALORES DE IDADE, DAP E ALTURA TOTAL DAS ÁRVORES UTILIZADAS NO ESTUDO.....	12
TABELA 2.	DELINEAMENTO DA FASE EXPERIMENTAL.....	13
TABELA 3.	PARÂMETROS DETERMINADOS PARA OBTENÇÃO DAS IMAGENS RADIOGRÁFICAS.....	15
TABELA 4.	TESTE “t” PARA AS VARIÁVEIS DENDROSCAN E PAQUÍMETRO.....	22
TABELA 5.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIAÇÃO MASSA ESPECÍFICA BÁSICA EM DIFERENTES SÍTIOS.....	23
TABELA 6.	RESUMO DAS ANÁLISES DE REGRESSÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (Y) EM FUNÇÃO DA IDADE (X).....	27
TABELA 7.	RESUMO DAS ANÁLISES DE REGRESSÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA (Y) EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO (X).....	29
TABELA 8.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA EM DIFERENTES ALTURAS.....	30
TABELA 9.	IDADE DE TRANSIÇÃO MÉDIA ENTRE AS MADEIRAS JUVENIL E ADULTA NOS TRÊS DIFERENTES SÍTIOS E ANEL DE CRESCIMENTO MÉDIO CORRESPONDENTE Á IDADE.....	32
TABELA 10.	VARIAÇÃO PERCENTUAL DA MASSA ESPECÍFICA ENTRE AS MADEIRAS JUVENIL E ADULTA, VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E DESVIOS.....	33

RESUMO

Fatores ambientais e tratos silviculturais podem influenciar na qualidade final da madeira, por meio de sua interferência no crescimento de sítios florestais. Entre as diversas propriedades da madeira, a que melhor permite tirar conclusões sobre a adaptabilidade da madeira para diversos fins é a massa específica. Por isso existe a necessidade de se procurar técnicas mais ágeis e precisas para determinação dessa propriedade. Entre as tecnologias existentes, a densitometria de raios-X vêm sendo difundida na área florestal, porém, no Brasil, poucos pesquisadores utilizam essa técnica. O conhecimento das características da madeira associada a essa técnica é de grande importância para o conhecimento das aptidões tecnológicas da madeira, permitindo o desenvolvimento de mecanismos de melhoramento da qualidade. Dessa forma, esse trabalho objetivou estudar a variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes sítios florestais, por meio da técnica da densitometria de raios-X. Como resultados dessa pesquisa, obteve-se um coeficiente de correlação baixo entre a metodologia densitometria de raios-X e o método de imersão, e bons resultados para determinação da proporção de lenho inicial e tardio; as árvores plantadas em sítios de menor produtividade apresentam tendência a ter valores de massa específica básica superiores aos sítios de maior produtividade; a tendência de variação de massa específica na madeira confirmou o padrão de variação no sentido radial do fuste, aumentando da medula para a casca; os valores médios de massa específica básica ao longo do fuste apresentaram uma tendência de decréscimo com a altura das árvores; a idade de transição do lenho juvenil para o adulto situou-se entre o 11º e 12º anéis, sendo a massa específica no lenho adulto superior ao do lenho juvenil e a proporção de lenho tardio aumentou no sentido da medula para a casca e diminuiu da base para o topo.

Palavras-chave: massa específica, *Pinus taeda*, raios-X, sítios florestais.

ABSTRACT

Environmental factors and silvicultural treatments can influence the wood's final quality, by means of its interference in the growth rate of the forestal sites. Considering the various wood properties, density is the best way to draw conclusions about adaptability of the wood for different purposes. So, there is a search for accurate and practical techniques to determinate its property. Among the current technologies, the use of X-rays method is raising in creasing in forestal areas. In Brasil, however, only a few researchers uses this method. The knowledge of wood characteristics, associated with this method, is very important to the knowledge of wood's technologic properties, allowing the development of quality improvement mechanisms. Therefore, the objective of this paper is based on the X-rays densitometry method, is the study of *Pinus taeda* L. density variability in three different forestall sites. This paper presented the following results: A low correlation coefficient between the X-rays and the immersion methods; efficiency for determination of proportion between initial and delayed wood; the trees from the sites of low productivity show the tendency to have greater basic density average values than the trees from sites of greater productivity; the variation tendency of the wood basic density found stayed according to the standard radial direction variation, increasing from the pith to the bark; the average values of the basic density were according to the standards, as higher the stem, lower the density; the transition age from the juvenile to the mature wood stayed between the 11° and 12 ° rings; the relation between the mature wood raised from the pith to the bark and reduced from the base to the top of the stem.

Key-words: density, *Pinus taeda*, X-rays, forestal sites.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, plantios em larga escala surgiram com os incentivos fiscais concedidos a partir de 1967. Estes visavam à criação de uma base florestal para suprir a indústria de celulose e papel com espécies exóticas (duas espécies principais, *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda*) e para tirar a pressão sobre as florestas nativas.

Embora esses reflorestamentos tenham por finalidade a produção de celulose e papel, a indústria de transformação mecânica do Sul do país iniciou o processo de utilização da madeira de reflorestamento na produção de serrados e lâminas já a partir da década de 70, devido à escassez da Araucária e menor custo da madeira de *Pinus* sp.

Esse consumo de madeira de *Pinus* sp. contribuiu para a evolução da pesquisa florestal nas últimas décadas. Desenvolvendo as mais diversas tecnologias para determinar a qualidade da madeira e seus diversos usos. A determinação da qualidade da madeira é a maior dificuldade encontrada para avaliar economicamente uma floresta. Os fatores envolvidos dependem de muitas características dentre elas as propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas, que conferem a aptidão da madeira para determinado uso final. Dessas diversas propriedades, a massa específica é a de maior importância como indicadora da qualidade da madeira.

Sabe-se que a qualidade da madeira pode ser influenciada geneticamente, porém, além dessa influência, fatores ambientais e tratos silviculturais interferem no aumento ou na diminuição da velocidade de crescimento das árvores. Isso provoca variações em suas propriedades, a saber: percentual de lenho inicial e tardio, massa específica, comprimento de traqueóides, entre outras.

Por meio da massa específica da madeira, pode-se tirar conclusões sobre a adaptabilidade da madeira para diversos fins. Por isso, há a necessidade de busca de metodologias mais ágeis e precisas para determinação dessa propriedade. Dentre as diversas metodologias utilizadas, os raios-X são difundidos há algum tempo na área florestal, porém, no Brasil, poucos pesquisadores os utilizam. O conhecimento das características da madeira, por meio dessa metodologia de raios-X, é de grande importância para o conhecimento de suas aptidões tecnológicas.

Portanto, contribui para o desenvolvimento de mecanismos de melhoramento da qualidade da madeira.

A utilização da metodologia de densitometria de raios-X em madeira resulta em maior agilidade e precisão dos resultados, dando subsídios para outros estudos. Essa técnica seria um aliado fundamental para a indústria na determinação da qualidade da madeira devido à grande quantidade de amostras utilizadas. Isso resulta em maior eficiência.

1.1. Objetivo geral

Estudar a variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes sítios florestais por meio da técnica da densitometria de raios-X.

1.2. Objetivos específicos

- Utilizar a densitometria de raios-X para predição da massa específica da madeira e compará-la com o método de imersão;
- Determinar a idade de transição entre o lenho juvenil e adulto da madeira de *Pinus taeda* L.;
- Determinar o percentual de lenho tardio e sua correlação com a massa específica da madeira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Massa específica

A qualidade da madeira é uma condição dependente de fatores genéticos, ambientais e de manejo. O direcionamento de suas propriedades tende a aumentar os ganhos na qualidade desejada dos produtos finais (ASSIS, 2000; KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; COWN & KIBBLEWHITE, 1980).

Na madeira, alterações geralmente associam-se às variações nas suas propriedades físicas e mecânicas que, por sua vez, podem ser decorrentes de diferenças na massa específica (BRAZIER, 1997 e LARSON, 1967, citados por VITAL & DELLA LUCIA, 1987). Assim, a massa específica é uma das propriedades mais importantes da madeira, pois é a que melhor expressa sua qualidade para fins tecnológicos e industriais, determinando o uso mais adequado para cada espécie. (NOGUEIRA & VALE, 1997; TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN, 1956, apud KLOCK, 2000).

A madeira, por ser um material heterogêneo, sofre influências de diversos fatores que atuam na organização da sua estrutura interna e determinam variações na sua massa específica (MUÑIZ, 1993 e KLOCK, 2000). Dentro do tronco, são formadas regiões de massas específicas diferentes. Isso se deve à formação de lenho de reação ou outros fatores ligados às condições de crescimento da árvore (ALBINO & TOMAZELLO FILHO, 1985).

As variações na massa específica da madeira ocorrem, principalmente, devido à variação na espessura da parede celular e às alterações no volume de espaços vazios existentes no interior da madeira (DINWOODIE, 1981; PANSHIN & ZEEUW, 1980). Essas variações são comumente ocasionadas por tratamentos silviculturais, fatores genéticos, condições ambientais e a própria idade da árvore (DELLA LUCIA *et al.*;1980; DINWOODIE, 1981; VITAL *et al.*, 1980; WANGAARD, 1950; LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000; NOGUEIRA & VALE,1997). MITCHELL (1960) afirma que a massa específica é talvez o parâmetro mais simples e útil para a aceitabilidade da madeira em diversos usos.

A definição de massa específica de um corpo pode ser dada como a relação entre sua massa e seu volume respectivo. Assim, pode ser determinada de diversas

formas e identificada por denominações diferentes (MUÑIZ, 1993). A relação entre o peso do material e o seu volume, desconsiderando os espaços vazios da madeira, ou seja, a quantidade de matéria prima lenhosa (parede celular), apresenta uma variabilidade muito pequena. Portanto, é-lhe atribuído um valor constante de $1,53 \text{ g/cm}^3$ (SMITH, 1954; STAM, 1964; ELLIOTT, 1970) ou de $1,50 \text{ g/cm}^3$ (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; PANSIN & ZEEUW, 1970) Estes são similares para todas as espécies e denominam-se chamada de massa específica real (GURFINKEL, 1973; DESCH, 1982).

O peso por unidade de volume aparente da madeira em um determinado teor de umidade é chamado de massa específica aparente (PETRUCCI, 1980). Esta pode ser determinada em diversos teores de umidade, utilizando-se normalmente 0% ou 12%.

Em laboratório, a forma mais utilizada para se determinar a massa específica da madeira é por meio da massa específica aparente básica, que é a massa da madeira completamente seca, relacionada com seu volume saturado (MUÑIZ, 1993). O uso constante da massa específica aparente básica se dá devido à influência das diferenças de contração entre as espécies e à dificuldade de medição do volume, tanto para 0% como para 12% de umidade.

2.1.1. Variação da massa específica no sentido radial e axial

A variação das condições climáticas influencia na velocidade de crescimento das árvores. Em períodos com maior disponibilidade de luz, calor e água no solo, as plantas apresentam intenso crescimento vegetativo. Desenvolvem pois, células de paredes finas, lume grande, coloração mais clara e menor massa específica. Já em períodos com menor disponibilidade de luz, a planta reduz suas atividades cambiais. Isso resulta em células espessas, lume pequeno, aspecto mais escuro e maior massa específica. Essa distinção evidencia-se em madeiras de coníferas ou espécies de clima temperado (CORE *et al.*, 1979; PANSIN & ZEEUW, 1970), produzindo anéis de crescimento bem marcados, o que permite conhecer a idade aproximada do indivíduo (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999). Essa variabilidade na massa específica das coníferas vai depender muito da variação da

porcentagem de lenho tardio nesses anéis. Portanto, ocorrem diferenciações entre indivíduos e dentro dos indivíduos nos sentidos longitudinal e radial. Já em folhosas, essa distinção dos anéis é menos evidente (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

Segundo PANSHIN & ZEEUW (1970), a massa específica média da madeira varia de acordo com a altura do tronco, com a idade fisiológica e com a distância da medula. Essa variação segue alguns modelos, a saber:

1. A massa específica aumenta da medula para o câmbio;
2. A massa específica é mais elevada junto à medula, decresce nos anéis seguintes, para depois aumentar até atingir um valor máximo próximo do câmbio;
3. A massa específica aumenta nos primeiros anéis próximos da medula para depois estabilizar, podendo, em alguns casos, decrescer nos anéis próximos do câmbio;
4. A massa específica diminui da medula para o câmbio.

O primeiro e segundo modelos representam a tendência geral indicada para as coníferas, com idade não muito avançada. Já o terceiro modelo é observado em árvores de idade avançada, com lenho senescente (ELLIOTT, 1970) e o quarto ocorre em algumas folhosas (PANSHIN & ZEEUW, 1970).

Essa variabilidade da massa específica vai ocorrer também com a altura da árvore. Para tanto, são três as tendências de variação (PANSHIN & ZEEUW, 1970):

1. Diminui uniformemente com a elevação da altura no tronco;
2. Diminui na parte inferior do tronco e depois há um acréscimo regular para a parte superior;
3. Aumenta da base para o topo de forma não uniforme.

Em coníferas, o primeiro modelo, geralmente, é o mais observado (ELLIOTT, 1970). Além deste, o segundo modelo também ocorre, porém com menor frequência apenas em algumas espécies de *Pinus*. Já o terceiro modelo é mais freqüente em folhosas.

2.1.2. Lenho juvenil e Adulto

A idade da madeira influi consideravelmente em suas características, entre elas a massa específica. Numa árvore jovem, todo o lenho ainda se encontra na fase juvenil. Em árvores adultas, tanto o lenho juvenil como o adulto, são produzidos simultaneamente.

Indiferentemente à idade da árvore, o lenho juvenil estende-se da base ao topo, englobando os anéis produzidos pelo câmbio jovem, assemelhando-se a um cilindro na parte central do fuste, formado pelos anéis próximos da medula, enquanto o lenho adulto é produzido pelo câmbio adulto, abrangendo os anéis de crescimento periféricos aos do lenho juvenil (Figura 1).

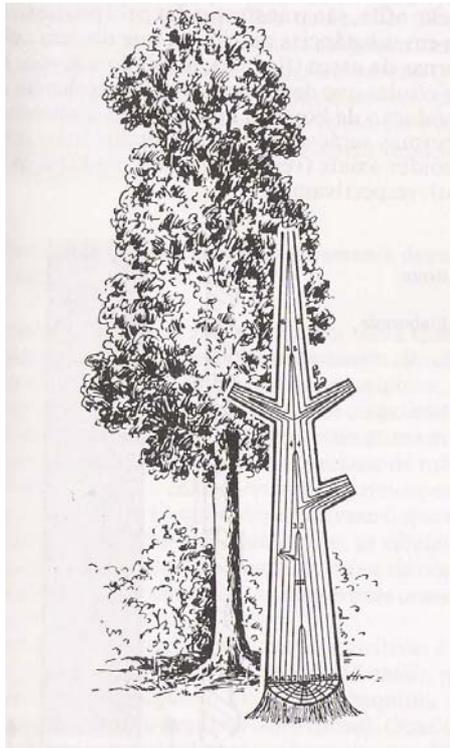


FIGURA 1. DISPOSIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DO TRONCO.
FONTE: KOZLOWSKI (1971).

Nas coníferas o lenho juvenil é caracterizado por apresentar uma massa específica inferior ao lenho adulto, apresentando menor porcentagem de lenho tardio, traqueóides mais curtos, quantidades desproporcionais de lenho de

compressão, grã distorcida e bolsas de resina (BENDTSEN, 1978).

Já o lenho adulto possui uma massa específica mais alta, traqueóides longos, paredes celulares espessas, alta porcentagem de lenho tardio, baixa porcentagem de grã espiralada, baixa porcentagem de lenho de compressão, maior contração transversal, maior porcentagem de celulose, baixa porcentagem de nós e maior resistência mecânica (BENDTSEN, 1978). Essas propriedades, que estão mais estáveis no lenho adulto, conferem uma melhor utilização dessa madeira, garantindo qualidades estruturais melhores.

Estima-se que a madeira juvenil está compreendida em uma faixa entre o quinto e o vigésimo anel anual de crescimento (PANSWIN & ZWEEUW, 1970). Sendo que a transição entre o lenho juvenil e adulto não se dá de forma brusca, de modo que a idade de transição não é muito precisa, variando com a espécie e suas condições de crescimento (BENDTSEN & SENFT, 1986). FOELKEL *et al.* (1975), trabalhando com *Pinus elliottii*, encontrou idade de transição entre sete e nove anos enquanto BENDTSEN & SENFT (1986), encontrou para *Pinus taeda*, idade de transição variando de 12 a 13 anos.

2.1.3. Variação da massa específica entre árvores e sítios

A variação da massa específica entre árvores é uma característica de crescimento intrínseca à própria espécie e pelas condições ambientais. Havendo uma diferenciação genética entre indivíduos da mesma espécie e entre espécies diferentes. (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; ELLIOTT, 1970; PEREIRA, 1982; MEGRAW, 1985).

O conjunto dessas condições ambientais pode influenciar a qualidade final da madeira produzida, através de sua interferência na taxa de crescimento dos sítios florestais.

A taxa de crescimento ou produtividade de um recurso florestal está diretamente vinculada aos tratamentos silviculturais dispensados ao sítio, cuja qualidade é a resposta da espécie às condições ambientais, biológicas e climáticas disponíveis. Segundo SCOLFARO (1993), essa qualidade pode ser medida como o resultado da totalidade dessas condições.

Nos modelos de crescimento, é importante acompanhar as classes de mesma produtividade, assim, não só a espécie responde pela produtividade do sítio, mas também o ambiente. Embora, o ideal seja a integração ambiente/espécie. Em áreas adjacentes variações pequenas podem provocar alterações significativas no desenvolvimento das árvores (SCOLFORO, 1993).

BALLONI (1984) verificou que o *Pinus*, apesar de ser pouco exigente quanto à fertilidade do solo, responde a níveis de produção diferenciados entre condições edáficas distintas.

Devido ao incremento diferenciado nos sítios, as propriedades da madeira modificam-se, sendo importante a obtenção de informações sobre as mesmas. O que se deve observar é se essa diferenciação na taxa de crescimento resulta em madeira de baixa qualidade (RIGATTO *et al.*, 2004)

2.2. Princípios da densitometria de raios-X

Por meio do princípio da densitometria de raios-X, é possível investigar estruturas de materiais, entre eles a madeira. Essa técnica consiste em adquirir resposta para irradiação transmitida em várias direções de uma amostra de madeira.

Os raios-X são uma radiação eletromagnética penetrante e invisível a olho nu e sempre que a madeira é atravessada por eles, há uma interação entre esta forma de radiação e a madeira. Parte dos fótons de raios-X são removidos do feixe incidente numa quantidade proporcional à massa específica da madeira, da espessura da amostra e do número de fótons incidentes.

A técnica dos raios-X utiliza o princípio da atenuação da radiação pela matéria. Segundo a lei de Beer Lambert, quando um feixe de radiação incide sobre uma amostra, pode ter sua intensidade ou número de fótons atenuado (WALTER & SLONE, 1994).

Ao se colocar um corpo entre o tubo de raios-X e a emulsão fotográfica, ele absorve parte da radiação em função de sua espessura, de sua massa específica e de seu número atômico. Os raios enfraquecidos produzem menor enegrecimento da emulsão fotográfica, assim, a sombra provocada pelo corpo demonstra uma área mais clara que seu contorno. (HOXTER, 1977).

Os raios-X fazem fluorescer sais metálicos de sulfato de zinco-cádmio que são usados em écrans fluoroscópicos. Ao incidir a radiação sobre o écran, este se ilumina, sensibilizando e enegrecendo a emulsão fotográfica (de bromo e prata), isto é, a radiação provoca uma modificação dos grãos de bromo e prata, que são imperceptíveis ao olho humano. Após um processo químico de revelação (redução de bromo e da prata), a emulsão fotográfica mostra-se enegrecida, tanto mais intensamente quanto maior a corrente aplicada ao tubo de raios-X e quanto maior o tempo de exposição. (HOXTER, 1977).

Dependendo do comprimento de onda, os raios-X podem ser classificados em raios moles ou duros. Os raios moles são obtidos quando se empregam baixas voltagens. Eles possuem um comprimento de onda maior e são absorvidos facilmente, produzindo imagens mais contrastadas que os de alta energia. Os raios duros, ao contrário, são obtidos quando se emprega alta voltagem e se caracterizam por apresentar um comprimento de onda mais curto, mais energia e serem muito

mais penetrantes. Esses vão produzir imagens com um contraste menor. (HOXTER, 1977).

A utilização dessa técnica de atenuação de raios-X em madeira foi proposta por LENZ (1957) e desenvolvida por POLGE (1963), tendo um avanço significativo na análise de anéis de crescimento e medida de massa específica da madeira, permitindo realizar medições em pequenas áreas e, em particular, as variações dentro dos anéis de crescimento. Além disso, pode-se medir a largura dos lenhos inicial e tardio, a largura do anel de crescimento, o percentual de lenho tardio e inicial, a massa específica do anel e a massa específica dos lenhos inicial e tardio (POLGE, 1965, 1973, 1977, 1978, 1985; PARKER & MELESKIE, 1970; WORBES, 1995).

Segundo POLGE (1978), esses fatores que afetam a massa específica têm sido utilizados com sucesso nos estudos anatômicos, fisiológicos e tecnológicos, apontando a densitometria de raios-X como um poderoso instrumento para avaliação de efeitos externos na madeira.

A técnica consiste basicamente na obtenção de radiografias de madeira por meio de um filme radiográfico, no qual a revelação mostra contrastes entre as zonas de diferentes massas específicas (FERRAZ & TOMAZELLO FILHO, 1978). A maior dificuldade desse procedimento é a obtenção de radiografias bem definidas da madeira.

Os limites dos anéis de crescimento devem estar orientados paralelamente aos raios e os raios emitidos também devem estar paralelos as amostras de madeira, caso contrário, serão formadas imagens borradas na radiografia. Este problema pode ser minimizado trabalhando com amostras de madeira mais finas, pois a definição da imagem radiográfica será melhor (AMARAL, 1994).

O teor de umidade das amostras de madeira afeta a precisão das medições de massa específica na radiografia (THOMAS, 1972; THOMAS & WOOTEN, 1973). Dessa forma, as amostras de madeira devem ser acondicionadas num determinado teor de umidade antes de serem radiografadas (McGRAW & NEARN, 1972; SCHWEINGRUBE *et al.*, 1978).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de estudo

O material utilizado nesse estudo foi originário de povoamentos de *Pinus taeda* localizados nos municípios de Castro, Campo Largo e Guarapuava, voltados à produção de chapas de madeira, madeira serrada e energia.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região estudada é do tipo Cfb, Clima Subtropical Úmido Mesotérmico, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano, com verões frescos e invernos com ocorrência de geadas severas e freqüentes. A temperatura média nos meses mais quentes fica abaixo de 22° C e, nos meses mais frios, abaixo de 18° C. A média anual de precipitação é 1.410mm, apresentando, ainda, valores de umidade relativa do ar em torno de 80-85%.

O inventário Florestal realizado na região estudada dividiu os plantios em três classes de sítio de acordo com a altura dominante. Desse modo, os sítios podem ser descritos da seguinte forma:

- Classe I: sítio com potencial excelente. O melhor entre os existentes em termos de produtividade florestal;
- Classe II: sítio com potencial intermediário dentro dos padrões médios da região;
- Classe III: sítio com péssimo potencial muito aquém da produtividade média da região.

3.2. Amostragem

As árvores coletadas foram as de DAP (diâmetro a altura do peito) médio dos três diferentes sítios de produtividade florestal. Em cada sítio florestal, foram amostradas quatro árvores com diferentes alturas e idades (Tabela 1).

TABELA 1. VALORES DE IDADE, DAP E ALTURA TOTAL DAS ÁRVORES UTILIZADAS NO ESTUDO.

Sítio	Árvore	Idade (anos)	Altura (m)	DAP (cm)
I	1	18	25,5	30,6
	2	24	33,9	42,0
	3	19	26,7	47,7
	4	17	23,9	39,8
II	5	18	27,5	47,7
	6	24	33,5	37,9
	7	22	27,0	27,7
	8	14	23,5	43,0
III	9	19	21,3	23,9
	10	19	26,2	21,0
	11	16	25,1	32,5
	12	13	15,5	17,8

Das árvores amostradas foram retirados discos ao longo do fuste nas posições de 20%, 30%, 50% e 70% da altura total (Figura 2). Essa amostragem possibilitou a determinação da variação da massa específica dentro de cada árvore e entre árvores. Na Tabela 2, pode ser visto o delineamento experimental utilizado.

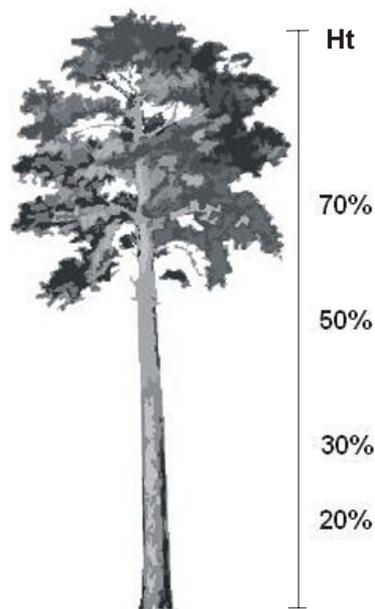


FIGURA 2. ESQUEMA ILUSTRATIVO DA COLETA DOS DISCOS EM DIFERENTES ALTURAS.

TABELA 2. DELINEAMENTO DA FASE EXPERIMENTAL.

Sítios	Altura relativa na árvore	Repetições	Tratamentos
I	20%	4	T1
	30%	4	T2
	50%	4	T3
	70%	4	T4
II	20%	4	T1
	30%	4	T2
	50%	4	T3
	70%	4	T4
III	20%	4	T1
	30%	4	T2
	50%	4	T3
	70%	4	T4

Nos discos coletados, com o auxílio de uma serra circular, foram retiradas amostras com cerca de dois centímetros de espessura, no sentido radial, abrangendo da medula à casca. Dessas amostras, foram retirados corpos de prova com três milímetros de espessura, que foram utilizados para confecção das radiografias de raios-X. O restante foi utilizado na determinação da massa específica básica da madeira (Figura 3).

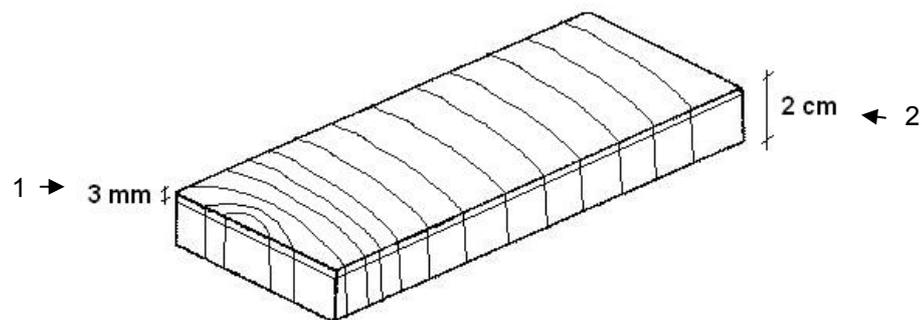


FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO DOS CORTES DOS CORPOS DE PROVA. 1- CORPO DE PROVA UTILIZADO PARA RADIOGRAFIA; 2- CORPO DE PROVA UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO DE IMERSÃO.

Durante a confecção dos corpos de prova radiografados, tomou-se o cuidado de manter sua espessura (o mais homogênea possível) e seus anéis de crescimento de forma que ficassem paralelos ao feixe dos raios-X, a fim de evitar a formação de sombras nas radiografias. Depois de secos, os corpos de prova foram mantidos em câmara climatizada, mantendo-se umidade relativa do ar de 65% e temperatura constante a 20° C.

3.3. Determinação da massa específica básica

As amostras foram pesadas em balança eletrônica com precisão de 0,01g. Os corpos de prova preparados foram mantidos em água e sob vácuo até saturarem. A secagem das amostras foi realizada utilizando-se estufa com circulação de ar forçado à temperatura de $103 \pm 2^\circ \text{C}$ até peso constante.

A massa específica foi determinada em cada anel de crescimento pelo método de imersão. Este é baseado na variação do peso do líquido, no qual a perda aparente de peso de um corpo imerso em um líquido é igual ao peso do líquido deslocado (princípio de Arquimedes). Sendo calculada utilizando-se a expressão:

$$\rho_b = M_s/V_u$$

Onde:

ρ_b = massa específica básica (g/cm^3)

M_s = massa seca em estufa (g)

V_u = volume saturado (cm^3)

3.4. Obtenção das radiografias de raios-X

O procedimento de obtenção das imagens foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Embrapa Florestas utilizando o equipamento de raios-X da SIEMENS UNIMAX 2B.

Para determinação da imagem radiográfica com melhor qualidade em termos de nitidez, foram feitos testes, utilizando os seguintes parâmetros: tipo de filme,

tempo de exposição aos raios-X, tensão do tubo, espessura da amostra de madeira, distância do objeto à fonte de radiação, tempo que a amostra permaneceu nas soluções reveladora e fixadora, tipo de revelador e fixador utilizados. Na variação de cada um desses parâmetros, os outros eram mantidos constantes até ser encontrada a combinação ideal (Tabela 3).

TABELA 3. PARÂMETROS DETERMINADOS PARA OBTENÇÃO DAS IMAGENS RADIOGRÁFICAS.

Parâmetros	Resultados encontrados
Tipo de filme	Kodak Diagnostic Film X-Omat XK1 – 24 x 18cm
Tempo de exposição aos raios-x	2 segundos
Tensão do tubo	33 Kv
Espessura da amostra de madeira	3mm
Distância do objeto à fonte de radiação	160cm
Tempo no revelador	60 segundos
Tempo no fixador	60 segundos
Tipo de fixador	GBX-Kodak
Tipo de revelador	GBX-Kodak

Baseado nesses resultados encontrados, confeccionou-se, então, as radiografias utilizadas no estudo. Os filmes escolhidos foram colocados dentro do chassi apropriado com as amostras de madeira a serem radiografadas dispostas sobre o mesmo. Após exposição aos raios-X, os filmes foram levados à câmara escura para revelação. Cada radiografia foi colocada em uma solução de revelador, lavada em água corrente, em seguida, em uma outra solução de fixador e, então, lavada novamente em água corrente.

Após esse processo, as radiografias foram secas ao ar livre e, em seguida, digitalizadas com o equipamento SCANÍON EXPRESS A3 da Íon Indústria Ltda e salvas no formato “TIFF” (Tagged Image File Format) que, segundo MARQUES FILHO & VIEIRA NETO (1999), é um dos formatos mais versáteis e universais, adequado para vários tipos de aplicações e suportado por diversas plataformas de software.

3.5. Utilização do software DendroScan

Digitalizadas as imagens, com o uso do software Adobe Photoshop versão 6.0, converteu-se as imagens de negativas em positivas. Em seguida foi utilizado o software DendroScan (University of British Columbia, Vancouver, Canadá) para converter as imagens escaneizadas de raios-X em valores de massa específica, identificar os limites, medir e contar os anéis de crescimento. Essa “leitura” é feita pelo DendroScan por meio de raios digitais marcados em cor preta sobre as imagens, que estavam em uma escala de cinza (Figura 4).

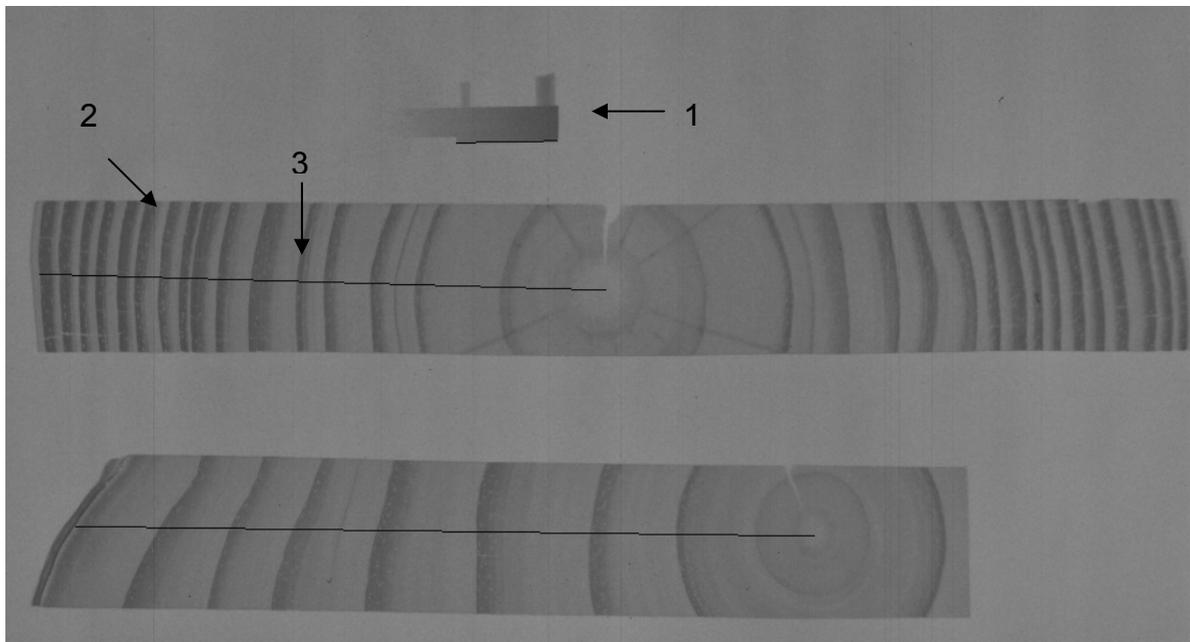


FIGURA 4. EXEMPLO DE IMAGEM POSITIVA DE RADIOGRAFIA DE UMA AMOSTRA DE MADEIRA NO SENTIDO RADIAL. 1-CUNHA DE CALIBRAÇÃO; 2-CORPO DE PROVA; 3- LINHA ONDE O SOFTWARE DENDROSCAN FAZ A LEITURA.

As medidas de massa específica média das amostras de madeira, obtidas a partir do software DendroScan, foram comparadas com os resultados obtidos através do método de imersão.

Os limites dos anéis de crescimento foram determinados pelo DendroScan como o ponto de inflexão entre a massa específica máxima (encontrada no lenho tardio de um determinado ano) e a massa específica mínima (encontrada no lenho inicial do ano seguinte) (Figura 5).

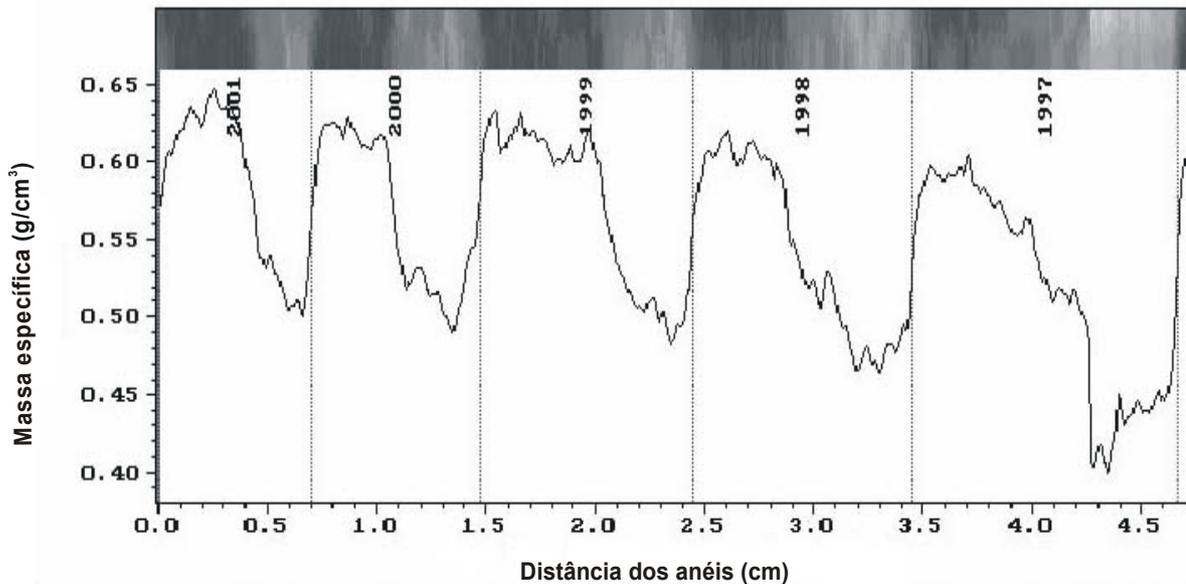


FIGURA 5. LIMITES DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DETERMINADO PELO SOFTWARE DENDROSCAN. FONTE: VAREM-SANDERS & CAMPBELL (1996) (Adaptado).

3.6. Determinação da idade de transição entre os lenhos juvenil e adulto

A idade de transição entre o lenho juvenil e adulto foi determinada através de gráficos de variação radial da massa específica da madeira, considerando como lenho adulto, a idade a partir da qual a massa específica tende a ficar estável. Em seguida, foi feito o cálculo da massa específica média do lenho adulto e traçada uma linha paralela ao eixo dos X onde o valor médio foi chamado de Y.

Conforme a variação da massa específica em cada anel de crescimento do lenho juvenil, foi estimado um modelo linear simples ($Y = b_0 + b_1X \pm \epsilon$, onde b_0 é o ponto de intersecção nas ordenadas e b_1 a declividade da reta) obtido através de uma análise de regressão. No ponto de intersecção entre a reta de regressão e a reta correspondente à média do lenho adulto, foi determinada a idade de transição dos lenhos ($X = (Y - b_0)/b_1$) (LOUSADA, 2000).

Nas figuras 6, 7 e 8, exemplifica-se o método utilizado na determinação da idade de transição do lenho juvenil para o adulto em cada árvore amostrada.

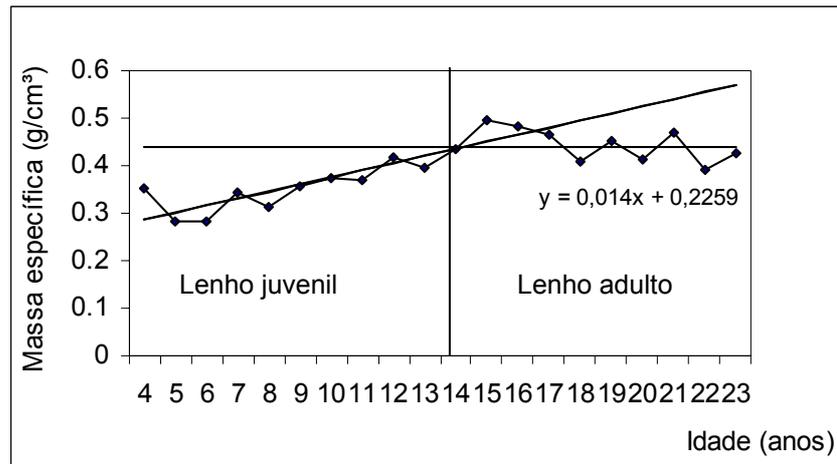


FIGURA 6. VARIAÇÃO RADIAL DA MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DOS ANÉIS DA ÁRVORE 2, SÍTIO I, COM 24 ANOS E IDADE DE TRANSIÇÃO DO LENHO JUVENIL PARA O ADULTO DE 14 ANOS.

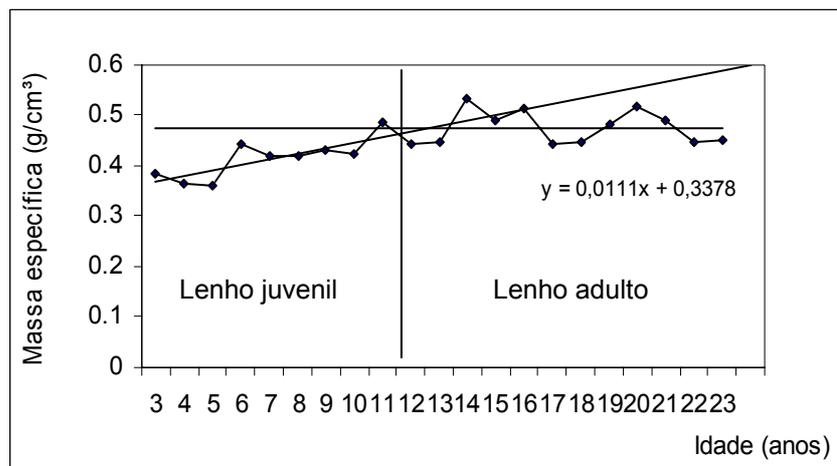


FIGURA 7. VARIAÇÃO RADIAL DA MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DOS ANÉIS DA ÁRVORE 2, SÍTIO II, COM IDADE DE TRANSIÇÃO DO LENHO JUVENIL PARA O ADULTO DE 12,7 ANOS.

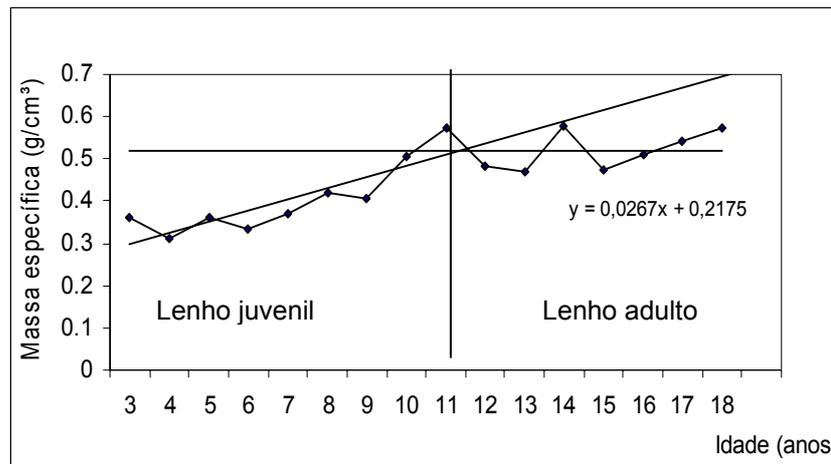


FIGURA 8. VARIAÇÃO RADIAL DA MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DOS ANÉIS DA ÁRVORE 1, SÍTIO III, COM IDADE DE TRANSIÇÃO DO LENHO JUVENIL PARA O ADULTO DE 11,3 ANOS.

3.7. Análise estatística

O delineamento utilizado no experimento foi inteiramente casualizado, no qual os tratamentos foram os sítios e as idades e as árvores foram as repetições (Blocos). Foi realizado o teste de Bartlett para verificar homogeneidade de variâncias. Os resultados foram interpretados estatisticamente por meio de análise de variância, sendo que a comparação entre os tratamentos, foi analisada através do teste F, a 5% de significância. Nas propriedades em que a hipótese nula foi rejeitada, as médias foram comparadas também a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Para comparações entre medidas do tamanho do anel obtida através de duas metodologias diferentes (DendroScan e um paquímetro digital), utilizou-se o teste “t” de *Student*. Testando a hipótese H_0 de igualdade entre as médias e aceitando a hipótese no caso de não ocorrerem diferenças significativas em nível de 95% de probabilidade.

A análise de variância para determinação da variação da massa específica, em diferentes sítios, foi feita utilizando matrizes de dados ortogonais, para que o número de anéis fosse o mesmo em todos os discos. Para isso, utilizou-se apenas os primeiros dez anéis de crescimento, permitindo comparar as árvores de diferentes locais, independente da idade da mesma. Homogeneizou-se, com isso, os dados e

anulou-se o efeito da idade nas árvores pelo fato de os anéis apresentarem a mesma idade cronológica. Nessa análise, foram incluídos apenas os anéis das fatias correspondentes a 20% da altura total das árvores, excluindo a medula e o primeiro anel, para evitar a interferência da mesma.

Além dos testes mencionados, foi feita análise de regressão para avaliar a intensidade e a forma das relações existentes entre as metodologias de determinação de massa específica testadas e alguns fatores que afetam essa propriedade da madeira. Foram calculados, também, as médias ponderadas e os erros sistemáticos (erro padrão e instrumental), sendo que o erro do DendroScan, segundo VAREM-SANDERS & CAMPBELL (1996), é de $0,0093 \text{ g/cm}^3$.

Para todas essas análises, foi utilizado o software *STATGRAPHICS*® versão 5.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Metodologias de determinação de massa específica

As radiografias das amostras de madeira permitiam a distinção de todos os anéis de crescimento e obtenção da massa específica básica média através da utilização das radiografias digitalizadas e posterior leitura da imagem com o software DendroScan.

Na figura 9, observa-se a variação da massa específica básica média determinada através do método de imersão e da densitometria de raios-X.

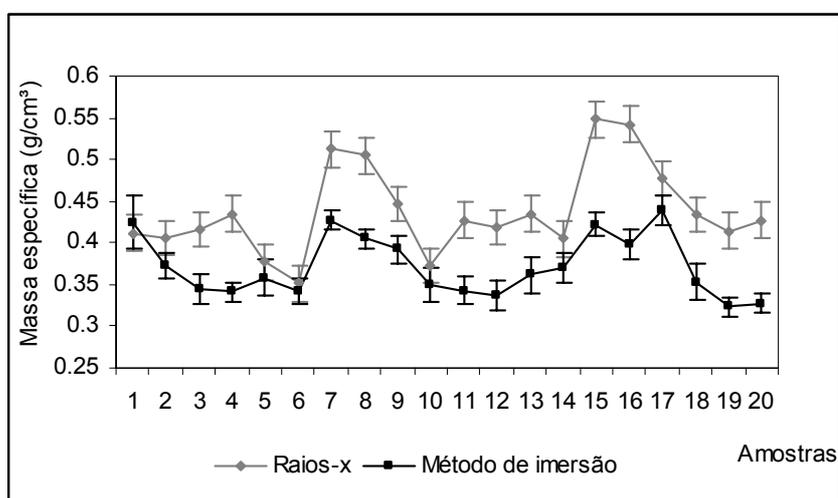


FIGURA 9. MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA DETERMINADA EM DIFERENTES AMOSTRAS, ATRAVÉS DA TOMOGRAFIA DE RAIOS-X E DO MÉTODO DE IMERSÃO.

*As barras verticais indicam o erro sistemático (erro padrão e o erro instrumental) das amostras.

O coeficiente de correlação linear encontrado entre essas metodologias foi de 0,65, com um coeficiente de determinação de 0,43 (Figura 10), o que não permitiu a precisão desejada, pois o percentual de amostras que estavam dentro da margem de erro calculado (erro sistemático), foi de apenas 35% do total das amostras.

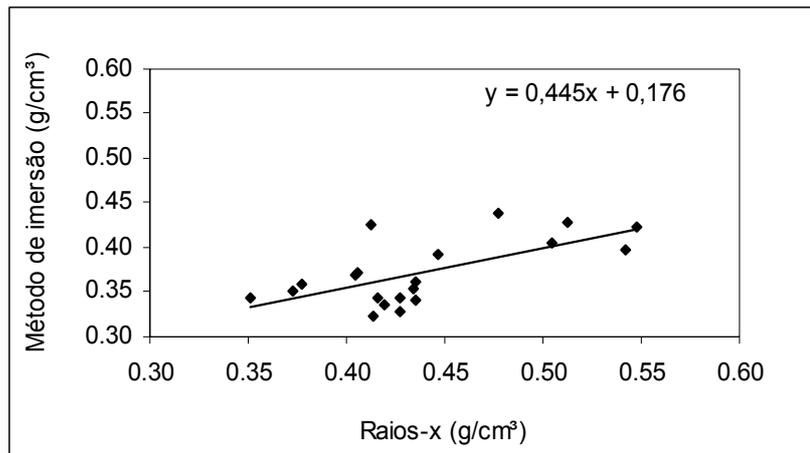


FIGURA 10. ANÁLISE DE REGRESSÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA ENTRE AS METODOLOGIAS DE DENSITOMETRIA DE RAIOS-X E O MÉTODO DE IMERSÃO.

Essa baixa precisão encontrada deve-se, provavelmente, ao aparelho utilizado para confecção das radiografias serem de raios duros, ou seja, com alta voltagem e com comprimento de onda curto. O ideal seria um equipamento com raios moles, com voltagem mais baixa e comprimento de onda maior, pois eles são mais facilmente absorvidos que os raios duros. Isso resultaria em imagens mais contrastadas.

Apesar da baixa precisão encontrada, essa técnica permitiu identificar e delimitar os anéis de crescimento, sendo possível determinar o percentual de lenho inicial e tardio com precisão e agilidade. Para isso, foram realizados testes prévios visando a determinar a acuracidade dessa metodologia. Em alguns anéis, com o auxílio de um paquímetro digital, foram medidos o tamanho do lenho tardio e, em seguida, comparadas com as saídas do software DendroScan, o que revelou não haver diferenças significativas entre os dois métodos (Tabela 4).

TABELA 4. TESTE “t” PARA AS VARIÁVEIS DENDROSCAN E PAQUÍMETRO.

Significância estatística	Hipótese	Hipótese
n.s.	$H_0: \mu_1 = \mu_2$	$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$
	$H_0: \mu_1 = \mu_2$	

n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

μ_1 = DendroScan

μ_2 = Paquímetro

A delimitação entre os anéis de crescimento foi observada como sendo o ponto de inflexão entre a massa específica máxima (encontrada no lenho tardio) e a massa específica mínima (encontrada no lenho inicial). Caracterizou-se por apresentar-se de forma abrupta devido à forte inclinação da reta ligando esses dois pontos (Item 3.5 – Figura 5). Esse perfil foi observado por AMARAL (1994), em seu trabalho de implantação da metodologia de densitometria de raios-X em madeira, trabalhando com árvores de *Pinus taeda* e também por LOUSADA (1990) para *Pinus pinaster*, porém com uma inclinação mais suave dessa reta.

Essas diferenças nos perfis dos anéis de crescimento são resultados da morfologia dos traqueóides que apresentam, no lenho inicial, maior diâmetro do lume e parede delgada e, no lenho tardio, menor diâmetro do lume e parede mais espessa (PANSWIN & ZEEUW, 1970).

A importância da determinação desse perfil densitométrico da madeira segundo POLGE, (1966), DUPONT (1978), MOSCHLER *et al.* (1989) e AMARAL (1994) é essencial para a definição dos métodos de manejo de povoamentos florestais, de análise da produtividade, da qualidade da madeira, além de outros fatores que afetam o crescimento das árvores como ataque de pragas, poluição, fogo, dentre outros.

4.2. Variação da massa específica básica em diferentes sítios

A análise de variância (Tabela 5) utilizando matrizes de dados ortogonais permitiu comparar árvores de diferentes locais, independente da idade da mesma. Com isso homogeneizando os dados e anulando o efeito da idade nas árvores, pelo fato dos anéis apresentarem a mesma idade fisiológica.

TABELA 5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIAÇÃO MASSA ESPECÍFICA BÁSICA EM DIFERENTES SÍTIOS.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P
Entre grupos	0,0060	2	0,00304	2,8800	0,1079
Dentro dos grupos	0,0095	9	0,00105		
Total	0,0155	11			

Essa análise de variância para os diferentes sítios não apresentou diferenças significativas a 95% de probabilidade. O que se observou foi uma tendência de aumento da massa específica no sítio de menor produtividade florestal, com valores médios variando de $0,34 \text{ g/cm}^3$, no sítio I, a $0,40 \text{ g/cm}^3$ no sítio III (Figura 11).

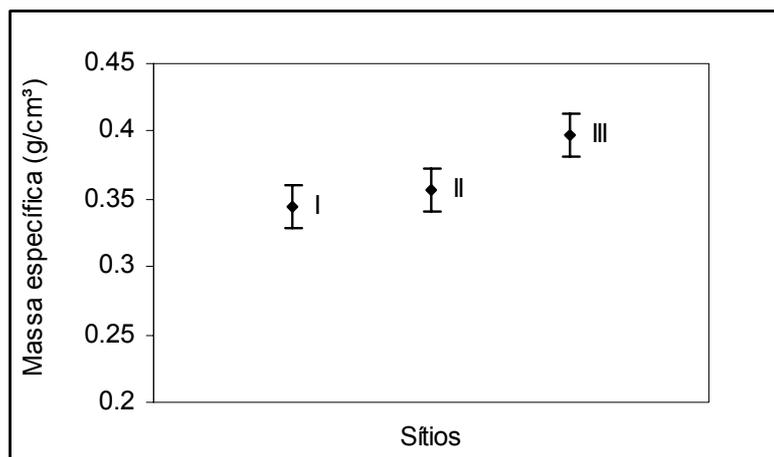


FIGURA 11. VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA EM DIFERENTES SÍTIOS FLORESTAIS.

*As barras verticais indicam o erro padrão.

Esses valores médios de massa específica básica encontrados para árvores de *Pinus taeda* estão próximos da faixa de variação de $0,37$ a $0,44 \text{ g/cm}^3$ encontrada por KLOCK (2000) em seu estudo sobre a qualidade da madeira com essa mesma espécie.

AMARAL (1994), em seu trabalho utilizando densitometria de raios-X em árvores de *Pinus taeda*, encontrou menor massa específica em classes de maiores diâmetros, ou seja, em árvores com maiores taxas de crescimento com valores variando de $0,46$ a $0,61 \text{ g/cm}^3$. Esses valores são considerados altos, porém precisamos levar em conta que suas análises foram feitas com os discos da base das árvores e os valores referem-se à massa específica aparente, a 12% de umidade, que é maior que o valor da massa específica básica.

RIGATTO (2002), ao trabalhar com árvores de *Pinus taeda* no Sul do Brasil, estudou a influência de diferentes sítios nas propriedades da madeira e, apesar de não encontrar diferenças significativas em seu trabalho, mostrou uma tendência de

diminuição dos valores de massa específica em árvores provenientes de sítios com maior ritmo de crescimento e textura do solo mais argilosa. Essa variação na massa específica provavelmente deve-se aos tratamentos culturais do povoamento, superioridade genética e melhores características do solo.

Árvores alocadas em sítios com maior incremento anual tendem a ter parede celular delgada, menor comprimento de traqueóides, menor quantidade de lenho adulto e menor proporção de lenho tardio.

Segundo TSOUMIS (1991), entre árvores da mesma espécie, a variação da massa específica é causada pela combinação de fatores ambientais, expressa pela qualidade do sítio e hereditariedade. Quando esses fatores induzem ao rápido crescimento das árvores, aumenta-se a quantidade de lenho juvenil e de anéis largos. Isso diminuirá a massa específica.

Nessa análise, o que se observou foi que, em idades juvenis, as condições edafo-climáticas diversas não estão influenciando a madeira. Sendo assim, comprova-se que a maior variabilidade da massa específica nas árvores é de origem genética.

4.3. Variação da massa específica básica no sentido radial

A figura 12 representa graficamente as relações encontradas entre a massa específica básica e as idades por meio de análise de regressão. Os resultados das análises são apresentados resumidamente na tabela 6.

Os modelos testados apresentaram valores muito próximos tanto para o coeficiente de determinação quanto para o coeficiente de correlação, porém o modelo 2 foi escolhido para explicar essa relação por ter o menor erro padrão da estimativa.

Os valores encontrados para o coeficiente de correlação (r) de 0,70 e 0,49 para o coeficiente de determinação (R^2) são bons, sendo a diferenciação dos anéis de crescimento, ou seja, o ritmo de crescimento das árvores um fator de influência no aumento da massa específica da madeira no sentido radial.

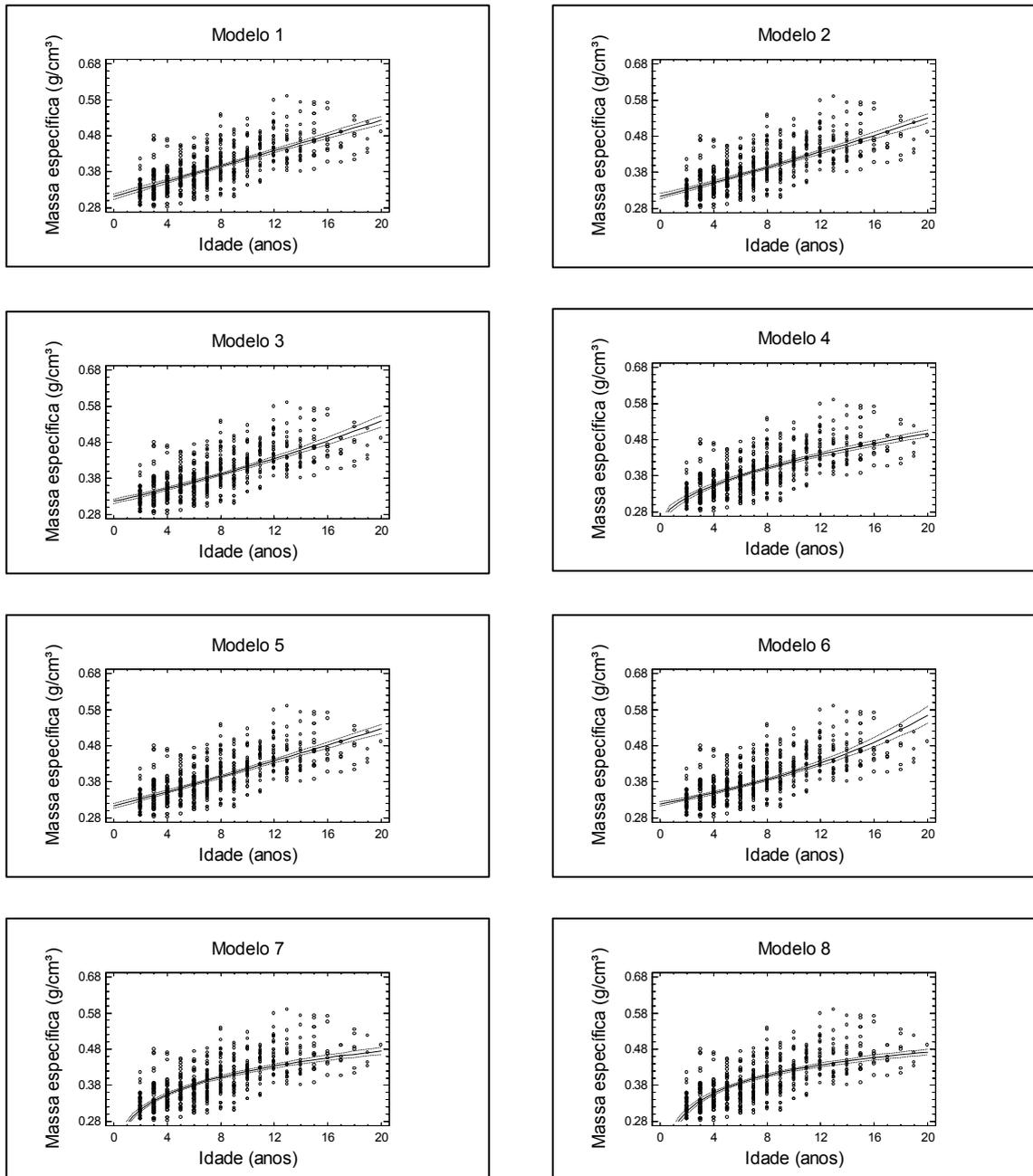


FIGURA 12. VARIAÇÃO RADIAL DA MASSA ESPECÍFICA NO SENTIDO DA MEDULA PARA A CASCA.

TABELA 6. RESUMO DAS ANÁLISES DE REGRESSÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (Y) EM FUNÇÃO DA IDADE (X).

Modelo	Coef. Cor.(r)	Coef. Det. (R ²)	Erro padrão da estimativa (%)
1. $Y = (0,311607 + 0,0105685 \cdot X)$	0,703 **	0,495	14,066
2. $Y = (0,560552 + 0,00836221 \cdot X)^2$	0,705 **	0,497	8,914
3. $Y = \exp(-1,15106 + 0,0265841 \cdot X)$	0,705 **	0,497	28,430
4. $Y = 0,238621 + (0,0578446 \cdot \sqrt{X})$	0,704 **	0,496	11,277
5. $Y = \exp(-0,784236 + 0,0445005 \cdot X) / (1 + \exp(-0,784236 + 0,0445005 \cdot X))$	0,704 **	0,495	47,558
6. $Y = 1 / (3,13184 - 0,0680569 \cdot X)$	0,700 **	0,490	74,244
7. $Y = (0,27678 \cdot (X^{0,180213}))$	0,696 **	0,485	28,813
8. $Y = 0,26025 + 0,0707276 \cdot \ln(X)$	0,686 **	0,470	11,564

** Significativo a 99% de probabilidade.

São vários os estudos demonstrando a relação da variação da massa específica com o lenho tardio. Entre eles, podemos citar o de BARRICHELO (1979) que encontrou um valor de coeficiente de determinação de 0,78, o de GILMORE (1970) de 0,36 e o de BARRICHELO & BRITO (s/d), citado por PEREIRA (1982) com valores de 0,87 e 0,94.

KOLLMANN & CÔTÉ (1968), PEREIRA (1982), TSOUMIS (1991), MUÑIZ (1993) e AMARAL (1994) observaram em seus estudos, essa tendência de aumento da massa específica no sentido da medula para a casca no gênero *Pinus*.

Os valores médios dos anéis de crescimento variaram de 0,33 g/cm³ a 0,49 g/cm³ devido a fatores como aumento do percentual de lenho tardio favorecendo o aumento da massa específica.

Para mostrar essa influência do lenho tardio no aumento da massa específica da madeira, foi feita análise de regressão utilizando a massa específica da madeira em função do percentual de lenho tardio nos diferentes anéis de crescimento. Os modelos testados podem ser vistos na figura 13 e, na tabela 7, pode ser visto o resumo das análises.

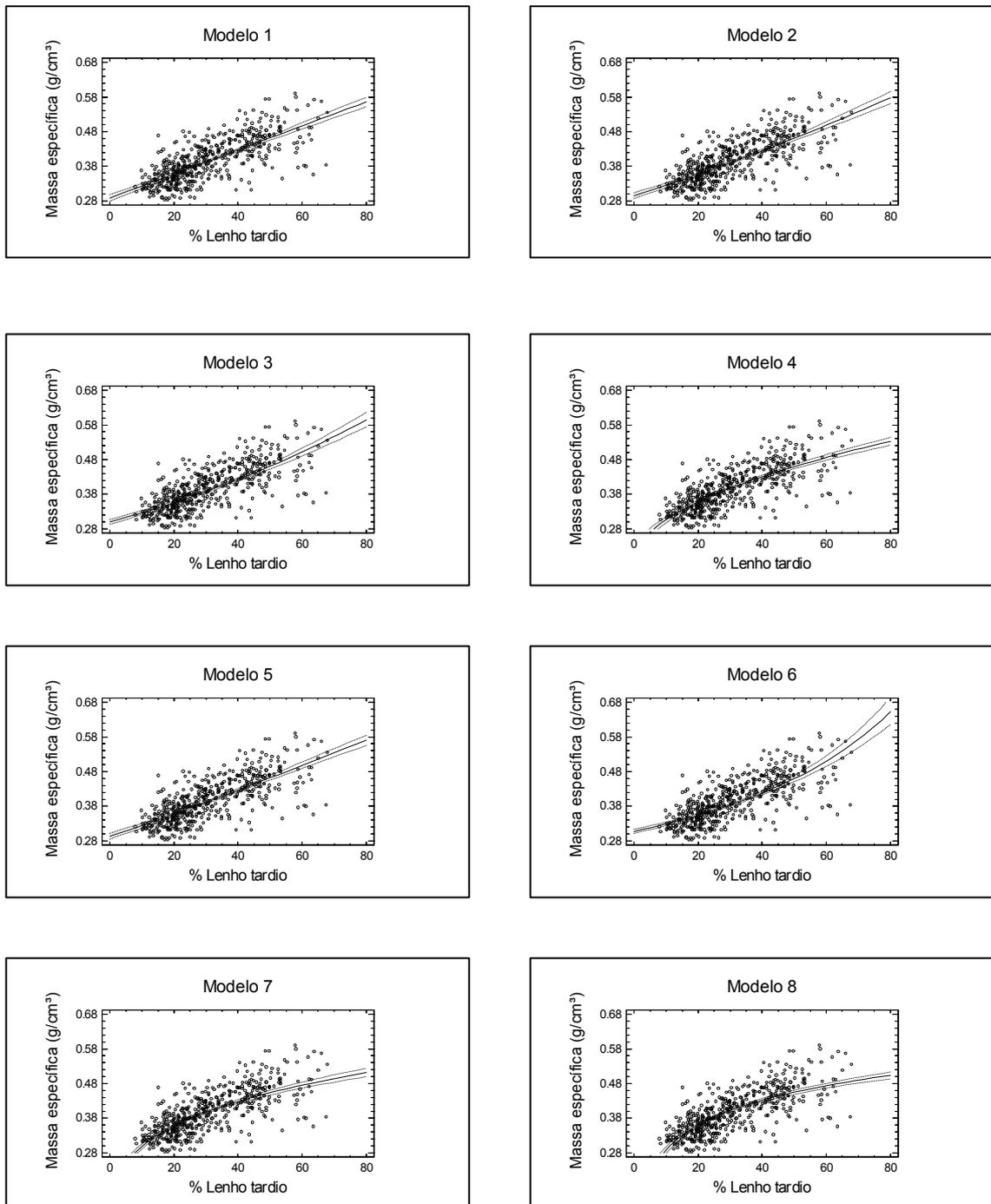


FIGURA 13. VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO.

TABELA 7. RESUMO DAS ANÁLISES DE REGRESSÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA (Y) EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO (X).

Modelo	Coef. Cor.(r)	Coef. Det. (R ²)	Erro padrão da estimativa (%)
1. $Y = 0,18377 + 0,0390287*\sqrt{X}$	0,738 **	0,544	10,643
2. $Y = 0,2888 + 0,00346254*X$	0,734 **	0,539	10,699
3. $Y = \exp(-0,877716 + 0,0145031*X)/(1 + \exp(-0,877716 + 0,0145031*X))$	0,733 **	0,537	45,097
4. $Y = (0,543311 + 0,00271516*X)^2$	0,732 **	0,536	8,4648
5. $Y = 0,165585*(X^{0,257507})$	0,731 **	0,535	26,938
6. $Y = \exp(-1,20335 + 0,00855513*X)$	0,729 **	0,531	27,042
7. $Y = 0,0519824 + 0,103032*\ln(X)$	0,728 **	0,531	10,798
8. $Y = 1/(3,2531 - (0,0215217*X))$	-0,716 **	0,513	70,856

**Significativo a 99% de probabilidade.

O coeficiente de correlação encontrado entre as variáveis massa específica e percentual de lenho tardio foi de aproximadamente 0,72, enquanto MUÑIZ (1993), em seu estudo com *Pinus taeda*, achou um coeficiente de correlação de 0,96 entre essas variáveis.

O valor percentual médio de lenho tardio encontrado foi de 24,4%. Esse é próximo ao encontrado por LOUSADA & FONSECA (2002), de 25,9%, para o mesmo gênero.

4.4. Variação da massa específica básica com a altura da árvore

A análise de variância feita para as diferentes alturas estudadas não mostrou diferenças significativas em nível de 5% de probabilidade. O que ocorre é uma pequena tendência de diminuição da massa específica da base para o topo. Esse comportamento deve-se provavelmente a fatores como presença de lenho de

compressão, maior quantidade de lenho adulto na base das árvores e menor nas alturas superiores ocasionado pelo tipo de crescimento das árvores desse gênero (Tabela 8 e Figura 14).

Pode-se verificar, nesse tipo de crescimento, a influência do lenho adulto, no qual já ocorreu a estabilização das propriedades da madeira e, como consequência, uma maior massa específica e maior percentual de lenho tardio. TSOUMIS (1991), KLOCK (2000), HASSEGAWA (2003) e BITTENCOURT (2004), ao estudar espécies desse gênero, encontraram essa tendência de diminuição da base para o topo.

TABELA 8. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA EM DIFERENTES ALTURAS.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P
Entre grupos	0,0093	3	0,0031	2,13	0,1106
Dentro dos grupos	0,0642	44	0,0014		
Total	0,0735	47			

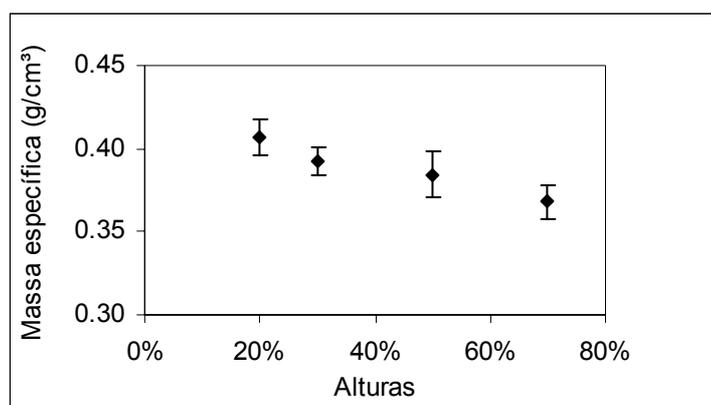


FIGURA 14. TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO AXIAL DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA DA MADEIRA NO SENTIDO BASE-TOPO.

O percentual médio de lenho tardio encontrado nas diferentes alturas foi de 35,2 para 20%, 30,6 para 30%, 26,5 para 50% e 21,6 para 70% da altura total. Na figura 15, são observadas a variação do percentual de lenho tardio no sentido base-topo.

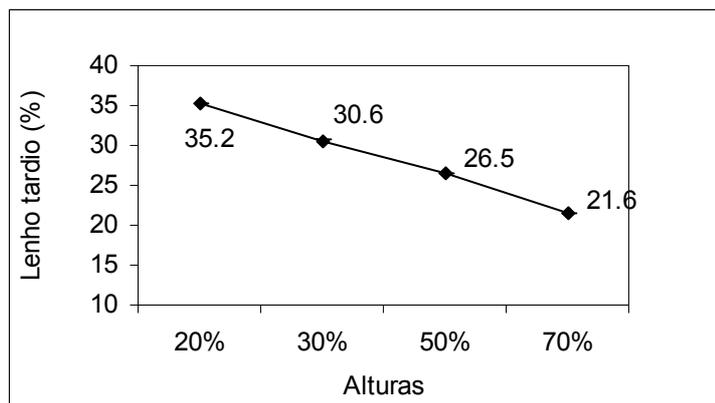


FIGURA 15. TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO NA MADEIRA NO SENTIDO BASE-TOPO.

Essa tendência de redução do percentual de lenho tardio foi de 62,9% da base para o topo. Esse valor está próximo aos valores encontrados por KLOCK (2000) de 61% de redução da porcentagem de lenho tardio da base à altura comercial para *Pinus taeda* plantados na região sul do Brasil.

4.5. Determinação da idade de transição entre o lenho juvenil e adulto

Neste estudo, a idade de transição do lenho juvenil para o adulto foi determinada através de gráficos de variação radial da massa específica em diferentes sítios. A idade média de transição da madeira juvenil para a adulta nos diferentes sítios variou de 12 a 13 anos, o que corresponde ao 11º e 12º anéis de crescimento, não sendo estatisticamente diferentes a 5% de probabilidade (TABELA 9). Não houve igualdade entre a idade de transição e os anéis correspondentes, pois as amostras utilizadas foram coletas a 20% da altura total e não na base das árvores.

Esses resultados de idade de transição entre os lenhos juvenil e adulto estão de acordo com os resultados encontrados por BURLEY (1969) e NICHOLLS (1971), citados por MUÑIZ (1993) e BENDTSEN *et al.* (1986).

FOELKEL *et al.* (1975), ao estudar *Pinus elliottii*, encontrou idade de transição para essa madeira de 7 a 9 anos. LOUSADA (2000), trabalhando com densitometria

de raios-X em madeiras de *Pinus Pinaster*, encontrou idade média de transição do lenho juvenil para o adulto de 11,3 anos estimada através da massa específica média.

ZOBEL *et al.* (1972), citado por FOELKEL *et al.* (1975), relataram para o *Pinus taeda* a idade de transição da madeira juvenil para a adulta variando de 7 a 11 anos e, em *Pinus elliottii*, de 6 a 9 anos.

TABELA 9. IDADE DE TRANSIÇÃO MÉDIA ENTRE AS MADEIRAS JUVENIL E ADULTA NOS TRÊS DIFERENTES SÍTIOS E ANEL DE CRESCIMENTO MÉDIO CORRESPONDENTE À IDADE.

Sítios	Idade de transição	Desvio padrão	Anel de transição
I	13,4 a	1,087	11°
II	13,3 a	0,808	12°
III	11,7 a	0,641	11°

*Em cada coluna, médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O padrão de variação da massa específica em sucessivos anéis de crescimento da medula para a casca, aumenta gradativamente até atingir uma certa estabilidade no lenho adulto, isso foi observado por MUÑIZ (1993) em madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, plantadas no sul do Brasil. Essa variação ocorre, também, para outras características como a proporção de lenho inicial e tardio, comprimento dos traqueóides, espessura da parede celular, ângulo das fibras e resistência.

A massa específica do lenho adulto foi, em média, 15,9% superior ao do lenho juvenil (TABELA 10), concordando com os valores encontrados por PEARSON & GILMORE (1980) para *Pinus taeda*.

Os valores de massa específica básica do lenho juvenil foram em média de 0,38 g/cm³ e do lenho adulto de 0,46 g/cm³ próximos a valores encontrados por FOELKEL (1976) de 0,41 g/cm³, no lenho juvenil, e 0,54 g/cm³, no lenho adulto, para *Pinus elliottii*.

TABELA 10. VARIAÇÃO PERCENTUAL DA MASSA ESPECÍFICA ENTRE AS MADEIRAS JUVENIL E ADULTA, VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E DESVIOS.

Média (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Desvio padrão
15,9	10,5	21,9	4,2

As médias do percentual de lenho tardio foram de 30,2% para o lenho juvenil e de 44,8% para o adulto com uma variação de 32,7% entre elas. KLOCK (2000), em seu estudo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*, encontrou um valor de 35,83% de variação de percentual médio de lenho tardio para o lenho juvenil. Na figura 15, pode-se observar uma estabilização do aumento do percentual de lenho tardio no lenho adulto.

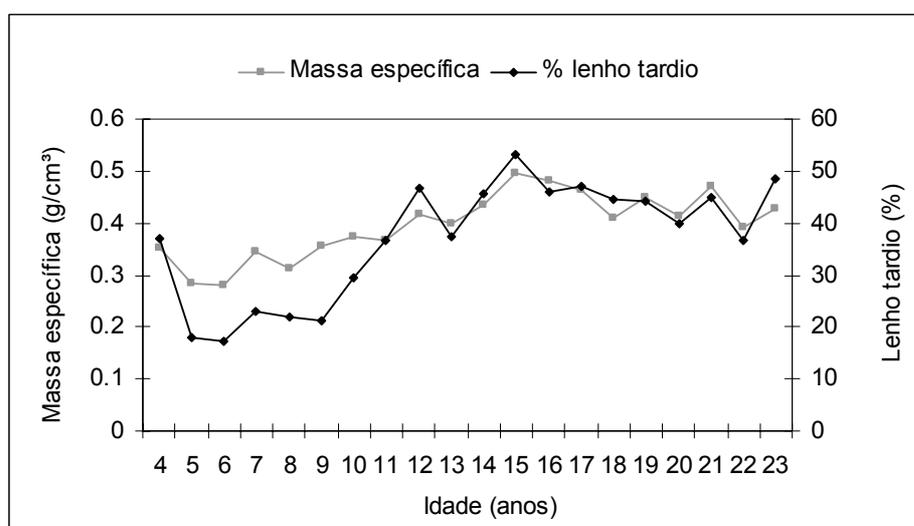


FIGURA 16. TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO, PARA A ÁRVORE 2 DO SÍTIO I.

Essa tendência de aumento da massa específica no sentido radial do fuste em espécies de rápido crescimento do gênero *Pinus* influenciada pelo percentual de lenho tardio, foi observada por diversos autores, entre eles estão ELLIOTT (1970), HIGA *et al.* (1973), FOELKEL *et al.* (1975) e MUÑIZ (1993).

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O coeficiente de correlação entre densitometria de raios-X e o método de imersão foi baixo, não o que se esperava. Porém, as radiografias deram bons resultados, quando comparadas com o paquímetro digital para determinação da proporção de lenho inicial e tardio.
- As árvores plantadas em sítios de menor produtividade apresentam tendência a ter valores de massa específica básica superiores aos dos sítios de maior produtividade.
- A tendência de variação de massa específica na madeira confirmou o padrão de variação no sentido radial, em espécies de rápido crescimento do gênero *Pinus* aumentando da medula para a casca.
- Os valores médios de massa específica básica ao longo do fuste apresentaram uma tendência de decréscimo com a altura das árvores.
- A idade de transição do lenho juvenil para o adulto variou entre 12 e 13 anos, o que corresponde ao 11º e 12º anéis de crescimento. Sendo a massa específica no lenho adulto, superior ao do lenho juvenil.
- A proporção de lenho tardio aumentou no sentido da medula para a casca e diminuiu da base para o topo.

Essas variações das características da madeira de *Pinus taeda* têm reflexo direto no seu valor econômico, para diversos usos, como na produção de peças estruturais e confecção de móveis, embalagens, molduras e chapas de diversos tipos.

A qualidade da madeira aumenta à medida que aumenta sua massa específica. Já para a produção de celulose de fibra longa pelos processos

mecânicos e semi-mecânicos, a madeira juvenil desta espécie é preferida por possuir baixa massa específica.

Essas características internas da madeira são influenciadas pelos diversos tipos de manejo, formando povoamentos de alta qualidade com o intuito de aumentar, de reduzir ou de uniformizar a massa específica entre as árvores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, J.C. & TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica da madeira e produtividade de *Eucalyptus spp.*. **Boletim de Pesquisa nº 26 (EMBRAPA – CPAC)**. Planaltina, 43p. 1985.

AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios-X em madeira**. Piracicaba, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). ESALQ - USP.

ASSIS, T.F. Qualificação tecnológica da madeira de *Eucalyptus* para serraria: Aspectos genéticos e de manejo. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, 2000. p. 59-80.

BALLONI, E. A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *P. caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Griseb.) Barret et Golfari em solo de cerrado do estado de São Paulo**. Piracicaba, 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

BARRICHELO, L.E.G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a produção de celulose kraft**. Piracicaba, 1979. 167p. Tese de Livre Docência. ESALQ/USP.

BENDTSEN, B.A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **For. Prod. J.** v.28, n.10, p. 61-72, 1978.

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

BITTENCOURT, E. **Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel**. Curitiba, 2004. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CORE, H.A.; CÔTÉ, W.A. & DAY, A.C. **Wood structure and identification**. USA: Syracuse University Press, 1979. 182p.

COWN, D.J. & KIBBLEWHITE, R.P. Effects of wood quality variation in New Zealand radiata pine on kraft paper properties. **N.Z.J. For. Sci.**, v.10, n.3. p.521-532, nov.1980.

DELLA LUCIA, R.M. & VITAL, B.R. Características físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Rev.Árvore**, v.4, n.1, p.70-74. 1980.

DESCH, H.E. **Timber: it's structure and properties**. London: Mc Millan, 350p. 1982.

DINWOODIE, J.N. **Timber its nature and behavior**. New York: Reinhold, 190p. 1981.

DUPONT, P. **Étude de la densité du bois par analyse radiographique et application a l'Epicea de l'est de la Belgique**. Gembloux. Faculte de Sciences Agronomiques de L'Etat, 1978. 81p.

ELLIOTT, G.K. Wood Density in Conifers. **Commonwealth Agricultural Bureaux, Technical Communication**, nº 8, 44p., 1970.

FERRAZ, E.S.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Uso de métodos nucleares nos estudos da qualidade da madeira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., 1978, Manaus. **Anais...** Manaus: Ed. SBS. 1978. v. 2.p.17-27.

FOELKEL, C.E.B.; FERREIRA, M.; NEHRING, J.H & ROLIM, M.B. Variabilidade no sentido radial de madeira de *Pinus elliottii*. **IPEF**, Piracicaba, n.10, p.1-11, 1975.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; GARCIA, W. & BRITO, J.O. Celulose Kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. **IPEF**, Piracicaba, n.12, p.127-42, 1976.

FONSECA, F.M.A.; LOUSADA, J.L.P.C. & SILVA, M.E.C.M. Correlation between density components of juvenile and adult wood on *Pinus pinaster* Ait. **IUFRO**, “**Forest Products**”. Nancy – France, august, 1992.

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

GILMORE, A.R. Some factors related to wood specific gravity of shortleaf pine in southern Illinois. **Trans. Ill. St. Acad. Sci.** v.63, n.4, p.366-369, 1970.

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

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

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul**. Curitiba, 2003. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

HOXTER, E.A. **Introdução a técnica radiográfica**. Siemens AG. São Paulo. 1977.

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

KOLLMANN, F.F.P. & CÔTÉ JUNIOR, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, 2v. 1968.

LATORRACA, J.V.F. & ALBUQUERQUE, C.E.C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.7, p.279-291, 2000.

LENZ, O. The use of radiography in the examination of annual rings. **Forest Research Inst**, Swiss, v.33, n.5, 1957.

LOUSADA, J.L.P.C. **Variação nas componentes da densidade da madeira de *Pinus pinaster* Ait.** Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 1990, 111p.

LOUSADA, J.L.P.C. **Variação fenotípica e genética em características estruturais na madeira de *Pinus pinaster* Ait.: o comprimento das fibras e a densidade até os 80 anos de idade das árvores: parâmetros genéticos na evolução juvenil-adulto das componentes da densidade da madeira.** Vila Real, 2000. 293p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Ciências aplicadas - UTAD.

LOUSADA, J.L.P.C. & FONSECA, F.M.A. The heritability of wood density components in *Pinus pinaster* Ait. and the implications for tree breeding. **Ann. of forest science**, 2002.

MARQUES FILHO, O. & VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens.** Rio de Janeiro: Brasport, 411p. 1999.

McGRAW, R.A. & NEARN, W.T. Detailed DBH density profiles of several trees from Douglas-fir fertilizer/thinning plots. In: SYMPOSIUM ON EFFECTS OF GROWTH ACCELERATION ON PROPERTIES OF WOOD, 1972, Madison. **Proceedings...** Madison: FPL, 1972. p. G1/G24.

MEGRAW, R.A. **Wood quality factors in *Loblolly Pine*.** Atlanta, TAPPI Press, 88p. 1985.

MITCHELL, H.L. Development of an adequate concept of wood quality for the guidance of geneticists and forest managers. In: PROCEEDING OF THE WORLD FORESTY CONGRESS, 1960, Washington. **Proceedings...** Washington. v.3, p. 1341-1348. 1960.

MOSCHLER, W.W.; DOUGAL, E.F. McRAE, D.D. Density and growth ring characteristics of *Pinus taeda* L. following thinning. **Wood and fiber science**, v. 21, n.3, p. 313-319, 1989.

MUÑIZ, G.I.B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. E *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. 235p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NOGUEIRA, M.V.P. & VALE, A.T. Densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de cerrado: relação com a densidade básica média e variação radial e axial. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.21, n.4, p. 547-554, 1997.

PANSHIN, A.J. & ZEEUW, C.E. **Textbook of wood technology**. 3 th. ed. New York McGraw Hill, 705p, 1970.

PANSHIN, A.J. & ZEEUW, C.E. **Textbook of wood technology**. 4 th. ed. New York McGraw Hill, 722p, 1980.

PARKER, M.L. & MELESKIE, K.P. Preparation of X-Ray Negatives of Tree-Ring Specimens for Dendrochronological Analysis. **Tree-Ring Bulletin**, v.30(1-4), p.11-21, 1970.

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

PEREIRA, J.C.D. **A influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii***. Piracicaba, 1982. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). ESALQ. USP.

PETRUCCI, E. **Madeiras**. Grêmio Politécnico, São Paulo: 1980.

POLGE, H. Densitometric analysis of radiographs. **Ann. Ecole Nat. Elaux et Forets**, v.20, n.4, 1963.

POLGE, H. The use of curves of density variation for the study of environmental factors and in particular of climatic factors. **IUFRO**, Section 41, 8p. 1965.

POLGE, H. Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés a la tarière sur des arbres vivants. Application dans les domaines technologique et physiologique. **Ann. Sci. For.**, Paris, v. 23, n.1 ,1966.

POLGE, H. Facteurs écologiques et qualité du bois. **Annales des Sciences Forestières**, v.30, n.3, p.307-328, 1973.

POLGE, H. Utilisation de la densité du bois em dendrochronologie et dendroclimatologie – Abantages et inconvénients. **Revue Forestière Française**, v.29, n.6, p.421-434, 1977.

POLGE, H. Fifteen years of wood radiation densitometry. **Wood Science and Technology**, v.12, p.187-196, 1978.

POLGE, H. **Contribution de la densitométrie à la science du bois**. Extrait de "Xylorama", Ed: Kucera, L.J., Birdhauser Verlag, Basel, p. 146-154. 1985.

RIGATTO, P.A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da Madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft**. Curitiba,

2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, 2004.

SCOLFORO, J. R. **Avaliação da produtividade florestal através da classificação do sítio**. ESAL/FAEP, Larvas – MG. 1993.

SMITH, D.M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. **USDA, FOREST PRODUCTS LABORATORY**, Rep. nº 2014, 8pp. 1954.

STAM, A J. **Wood and Celulose Science**. The Ronald Press Company, New York, 549pp. 1964.

THOMAS, W.R. **X-ray analysis of wood increment cores**. Clenson, University Clenson, South Carolina, 1972. 61p.

THOMAS, W.R. & WOTEN, T.E. **X-ray analysis of wood increment cores**. Dep. of For. Res. Series, Clenson, (26): 1-16, 1973.

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

VAREM-SANDERS, T.M.L. & CAMPBELL, I.D. **DendroScan: A tree-ring width and density measurement system**. Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. Spec. Rep. 10. 1996.

VITAL, B.R. & DELLA LUCIA, R.M. Procedência de sementes e qualidade de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.4, n.2, p.170-178, 1980.

VITAL, B.R. & DELLA LUCIA, R.M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.11, n.2, p.132-145, 1987.

WALTER, H. & SLONE, R.M. **Review of Radiologic Physics**. Philadelphia, p.33-43, 1994.

WANGAARD, F.F. **The mechanical properties of wood**. New York, John Wiley. 377p, 1950.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees – A review. **IAWA Journal**, v.16, n.4, p.337-351, 1995.