

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL**

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO SOBRE O
CRESCIMENTO E A QUALIDADE DA MADEIRA DE
Pinus taeda L.**

TESE DE DOUTORADO

Dalva Teresinha Pauleski

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO SOBRE O
CRESCIMENTO E A QUALIDADE DA MADEIRA DE
Pinus taeda L.**

por

Dalva Teresinha Pauleski

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger

Santa Maria, RS, Brasil

2010

Pauleski, Dalva Teresinha, 1978-

P326i

Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. / Dalva Teresinha Pauleski. - 2010.

196 f. ; il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2010.

“Orientador: Prof. César Augusto Guimarães Finger”

1. Engenharia florestal 2. *Pinus taeda* 3. Tecnologia da madeira 4. Espaçamento 5. Qualidade da madeira I. Finger, César Augusto Guimarães II. Título

CDU: 630*2

Ficha catalográfica elaborada por
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO SOBRE O CRESCIMENTO E A
QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L.**

elaborada por
Dalva Teresinha Pauleski

como requisito parcial para obtenção de grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

César Augusto Guimarães Finger, Dr.
(Presidente/Orientador)

Éverton Hillig, Dr. (UNICENTRO)

Merielen de Carvalho Lopes, Dr^a. (UPFEL)

Frederico Dimas Fleig, Dr. (UFSM)

Ivanor Muller, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 12 de agosto de 2010.

*Aos meus pais Rubem e Tereza, pelo amor,
Dedicação e exemplo de vida.
Meu reconhecimento.*

*Ao meu filho Julio.
Ao meu marido Clovis,
Pela paciência, compreensão e amor.
Dedico e ofereço.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por me dar coragem e nunca me abandonar nas horas difíceis, minha gratidão.

Aos meus pais Rubem e Tereza, aos meus irmãos Zalmir e Daguirar, pelo incentivo, confiança e amor ao longo de toda minha vida.

A minha amada família, Clovis e Julio, que suportou a minha ausência e, principalmente, a minha ansiedade, sempre dando forças, minha admiração e eterno reconhecimento.

Aos meus fiéis companheiros Ediane Buligon, Joel Telles, Gabriela Loureiro, pela amizade e solidariedade no desenvolvimento de um trabalho puxado e aos colegas de laboratório Rafael, Karina, Magnos, Daniela, Renata, pela compreensão e paciência, sendo muito mais do que parceiros de laboratório, foram amigos para toda hora.

Ao meu comitê de orientação, Prof. César Augusto Guimarães Finger, Prof. Clovis Roberto Haselein e Prof. Paulo Renato Schneider, pelas oportunidades, conselhos, ensinamentos, amizade, incentivo, apoio, confiança e, fundamentalmente, pela compreensão durante todo o desenvolvimento do estudo.

Ao Prof. Elio José Santini, pela confiança e incentivo.

Aos funcionários do Laboratório de Produtos Florestais, Jorge, Nelson e Tarso, por todos os serviços prestados, incentivo e amizade. Em especial a Fabiana Raquel Ratzlaff que, além da paciência na confecção das lâminas, foi uma das pessoas mais presentes em todas as fases deste trabalho, sem falar da grande amizade.

Ao Thiago Cunha, pela paciência e disponibilidade em todos os momentos que precisei.

À Empresa Klabin e a todos os seus funcionários, pelo fornecimento do material, sem o qual não seria possível a realização deste estudo.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, a todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram e acreditaram na conclusão deste trabalho.

Compartilho com todos VOCÊS mais esta vitória!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO SOBRE O CRESCIMENTO E A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L.

Autor: Dalva Teresinha Pauleski

Orientador: Dr. César Augusto Guimarães Finger

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 12 de agosto de 2010.

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do espaçamento no crescimento, na produção e na qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. Foram analisados nove diferentes espaçamentos (1,5 x 1,0; 1,5 x 2,0; 1,5 x 3,0; 2,0 x 1,0; 2,0 x 2,0; 2,0 x 3,0; 2,5 x 1,0; 2,5 x 2,0 e 2,5 x 3,0 metros), tendo sido amostradas seis árvores por tratamento totalizando 54. O experimento foi instalado em Otacílio Costa, Santa Catarina. As árvores foram selecionadas, em cada tratamento, com base no diâmetro dominante de Assmann, sendo denominadas de árvores dominantes e do extrato médio, respectivamente. Após o abate, estas foram medidas e cubadas pelo método de Smalian. Em seguida, foram retirados discos nas posições 0,10, 1,30, 3,30 m e de metro em metro até a altura total para análise de tronco e massa específica. Do DAP (diâmetro à altura do peito) foi destinado à determinação da variação da massa específica no sentido radial, das características anatômicas da madeira nos diferentes anéis de crescimento, as relações de interesse entre as dimensões dos traqueóides para indicação do potencial de celulose e papel. No fuste foi selecionada uma tora localizada entre as posições do DAP e 3,30 m para determinação das propriedades de flexão estática. A altura dominante não foi influenciada pelos espaçamentos indicando homogeneidade do sítio; já as árvores do extrato médio foram influenciadas, sendo possível a formação de grupos para descrever o crescimento em altura, um com espaçamentos muito reduzidos e outro com os espaçamentos médios a amplos, comportamento este que pode estar associado à competição entre plantas ter se estabelecido antes da taxa de mortalidade natural nos menores espaçamentos, o que pode ter levado a uma estagnação prematura do crescimento. No crescimento em diâmetro os espaçamentos influenciaram mais nas árvores do extrato médio do que nas dominantes, sendo que nestas o padrão de crescimento se comportou de acordo com o espaço disponível por planta, no caso das do extrato médio não se observou uma tendência clara. O volume individual das árvores também foi influenciado pelo espaçamento. A idade de transição do lenho juvenil para adulto foi melhor determinada pelo comprimento de traqueóides. Os resultados das 18 árvores analisadas anatomicamente indicaram que não houve diferença significativa entre os espaçamentos, sendo a idade de transição estimada entre 11 e 13 anos. A massa específica básica ponderada não foi influenciada pelos espaçamentos. Já a variação axial da massa específica básica foi decrescente com altura da árvore tanto para as dominantes como para as do extrato médio, além de ser influenciada pelo espaçamento na entre linha. A massa específica básica no sentido radial para as árvores dominantes foi crescente com a idade, com influencia da distância na entre linha. O módulo de elasticidade e ruptura para as árvores dominantes aumenta no sentido medula casca e com o aumento da massa específica básica, sendo que o comportamento tanto para MOE como do MOR não foi influenciado pelos espaçamentos.

Palavras-chave: *Pinus taeda*; espaçamento; crescimento; qualidade da madeira.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduate Program in Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

INFLUENCE OF SPACING ON THE GROWTH AND WOOD QUALITY OF *Pinus taeda* L.

Author: Dalva Teresinha Pauleski
Adviser: Dr. César Augusto Guimarães Finger
Date and Place of Defence: Santa Maria, August 12, 2010.

This study had the objective of evaluating the effect of planting spacing on the growth, yield and wood quality of *Pinus taeda* L. Nine different spacings were analyzed, with six trees sampled per treatment, totalizing 54 trees. The experiment was localized in the municipality of Otacílio Costa, Santa Catarina, where there were installed a random block design, with three repetitions. The trees were selected using the Assmann dominant and average diameter criteria. These trees were denominated dominant and average trees, respectively. The trees were cut down and measured according to the Smalian method. Discs of the trees to be used in trunk analysis and basic density determination were taken in the heights 0,1, 1,30, 3,30 m and then every meter up to the total height. The disc at DBH (Diameter at Breast Height) was used to determine radial basic density variation and anatomical studies of tracheid and its potential use as pulp and paper. One log of the trunk was taken between the position of the DBH and 3,30 m to determine static bending properties. The results showed that the dominant height was not influenced by planting spacing indicating site homogeneity, while average trees were significantly affected by planting spacing. It was possible the formation of groups to describe growth in height, one with reduced spacing and another with average to large, behavior that may be attributed to competition among trees that started before natural mortality took place and tendency to premature growth stagnation. Growth in diameter of average trees was more influenced than the dominant ones where the pattern of growth in diameter was in accordance with the spacing available per tree; average trees did not present a clear tendency of growth in diameter. The individual volume of the trees was influenced by the spacing. The demarcation age of juvenile and mature wood was best determined using tracheid length. The results from the 18 trees analysed indicate that there were no significant differences among spacing on the demarcation age estimated as 11 to 13 years. Tree basic density was not influenced by the spacing; axial variation of basic density, however, decreases with the increasing height of the tree, both for dominant and average trees; among average trees occurred influence of spacing between planting lines. The basic density in the radial direction of the dominant trees increased with age, influenced by spacing within plants in the planting line. Modulus of elasticity (MOE) and rupture (MOR) of dominant trees increased in the pith to bark direction and with basic density. The MOE and the MOR were not influenced by spacing.

Key-words: *Pinus taeda*; planting spacing; growth; wood properties.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Tratamentos empregados nas diferentes parcelas em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> L.	26
--	----

Crescimento de *Pinus taeda* L. sob o efeito de diferentes espaçamentos de plantio

TABELA 3.1 – Equações testadas para descrever o crescimento em altura ou diâmetro em função da idade, para <i>Pinus taeda</i> L.	36
TABELA 3.2 – Equações testadas para descrever o volume individual em função do diâmetro e altura, para <i>Pinus taeda</i> L.	37
TABELA 3.3 – Características das árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L. em função dos espaçamentos.	38
TABELA 3.4 – Características das árvores de <i>Pinus taeda</i> L do extrato médio. em função dos espaçamentos.	40
TABELA 3.5 – Coeficientes e estatísticas das equações para descrever a altura das árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L. em função da idade.	42
TABELA 3.6 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação da curva de crescimento em altura dominante por espaçamento em árvores de <i>Pinus taeda</i> L.	44
TABELA 3.7 – Coeficientes e estatísticas das equações para descrever a altura das árvores do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L. em função da idade.	45
TABELA 3.8 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação da curva de crescimento em altura das árvores do extrato médio por espaçamento para <i>Pinus taeda</i> L.	47

TABELA 3.9 – Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados por grupo de espaçamentos para descrever a altura das árvores do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L.	48
TABELA 3.10 – Ajuste dos modelos para descrever o crescimento em diâmetro das árvores dominantes em função da idade para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L.	50
TABELA 3.11 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação das curvas de crescimento em diâmetro por espaçamento em árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.	52
TABELA 3.12 – Equações recalculadas para os grupos formados para descrever o crescimento em diâmetro das árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.	53
TABELA 3.13 – Ajuste dos modelos para descrever o crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio em função da idade para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L.	54
TABELA 3.14 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação do crescimento em diâmetro por espaçamento em árvores do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L.	56
TABELA 3.15 – Coeficientes e estatísticas das equações recalculadas para os grupos formados para descrever o crescimento em diâmetro das árvores de <i>Pinus taeda</i> L. do extrato médio.	57
TABELA 3.16 – Coeficientes dos modelos para descrever o volume individual em árvores dominantes e do extrato médio em função da idade para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L.	58
TABELA 3.17 – Estatísticas dos modelos testados para volume individual em árvores dominantes e do extrato médio em função da idade para <i>Pinus taeda</i> L.	59
TABELA 3.18 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação por espaçamento no volume individual em árvores dominantes do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L.	62
TABELA 3.19 – Análise de covariância da equação de volume em função do diâmetro e da altura com variável Dummy (tipo SS1), definida pelo tratamento de espaçamento.	63

**Efeito do espaçamento nas características dos traqueóides da madeira de
Pinus taeda L.**

TABELA 4. 1 – Características das fibras segundo o índice de Runkel.	79
TABELA 4.2 – Comprimento médio dos traqueóides (mm) por idade em cada espaçamento para árvores de <i>Pinus taeda</i> L.	87
TABELA 4.3 – Diâmetro total médio (μm) dos traqueóides por idade em cada espaçamento para árvores de <i>Pinus taeda</i> L.	90
TABELA 4.4 – Diâmetro do lume médio (μm) dos traqueóides por idade em cada espaçamento para árvores de <i>Pinus taeda</i> L.	91
TABELA 4.5 – Espessura da parede média (μm) dos traqueóides por idade em cada espaçamento para árvores de <i>Pinus taeda</i> L.	93
TABELA 4.6 – Coeficiente de flexibilidade (%) médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para <i>Pinus taeda</i> L.	95
TABELA 4.7 – Fração parede (%) médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para <i>Pinus taeda</i> L.	97
TABELA 4.8 – Índice de enfiamento médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para <i>Pinus taeda</i> L.	99
TABELA 4.9 – Índice de Runkel médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para <i>Pinus taeda</i> L.	101
TABELA 4.10 – Índice de Boiler médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para <i>Pinus taeda</i> L.	103
TABELA 4.11 – Índice de Mülsteph médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para <i>Pinus taeda</i> L.	105
TABELA 4.12 – Estatísticas dos coeficientes do modelo de regressão ajustado para os 12 primeiros anéis de crescimento.	107
TABELA 4.13 – Estatísticas dos coeficientes do modelo de regressão ajustado para idade maior ou igual a 14 anos.	108
TABELA 4.14 – Idades de segregação para as 18 árvores de <i>Pinus taeda</i> L obtidas através de equações ajustadas e dos valores médios.	110
TABELA 4.15 – Análise de variância para comprimento dos traqueóides de <i>Pinus taeda</i> L.	112
TABELA 4.16 – Estatísticas dos coeficientes do modelo de regressão ajustado para o comprimento de traqueóides.	112

TABELA 4.17 – Volume produzido por hectare de madeira adulta em <i>Pinus taeda</i> L. aos 18 anos.....	114
--	-----

Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em povoamentos com diferentes espaçamentos

TABELA 5.1 – Valores máximo, médio, mínimo e CV (%), de massa específica básica ponderada em função do volume total para as árvores dominantes e do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L.	138
TABELA 5.2 – Modelos de regressão ajustados para a variação radial da massa específica nas árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	143
TABELA 5.3 – Valores médios do módulo de elasticidade para as árvores dominantes e do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L.	148
TABELA 5.4 – Modelos selecionados para o módulo de elasticidade em árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.	150
TABELA 5.5 – Valores médios do módulo de ruptura para as árvores dominantes e do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L.	154
TABELA 5.6 – Modelos selecionados para o módulo de ruptura em árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.	156

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Sub-regiões agroecológicas do Estado de Santa Catarina. Fonte: Embrapa (1999).	25
--	----

Crescimento de *Pinus taeda* L. sob o efeito de diferentes espaçamentos de plantio

FIGURA 3.1 – Altura das árvores dominantes (h_{100}) de <i>Pinus taeda</i> L. em função da idade.....	41
FIGURA 3.2 – Altura das árvores do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L. em função da idade.....	41
FIGURA 3.3 – Distribuição de resíduos do modelo de Backmann para as árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.	43
FIGURA 3.4 – Estimativa do modelo de Backmann para o crescimento em altura de árvores dominantes (h_{100}), de <i>Pinus taeda</i> L. em relação aos dados observados, nos diferentes espaçamentos.	43
FIGURA 3.5 – Distribuição de resíduos do modelo de Backmann para estimativa das alturas em árvores de <i>Pinus taeda</i> L. do extrato médio.	46
FIGURA 3.6 – Dados observados e ajustados pelo modelo de Backmann para a altura das árvores de <i>Pinus taeda</i> L. do extrato médio.	46
FIGURA 3.7 – Distribuição de resíduos para os grupos formados para a altura da árvore de <i>Pinus taeda</i> L. do extrato médio (onde Grupo I formado pelos espaçamentos 1,5x1,0 m; 2,0x1,0 m e 2,5x1,0 m e Grupo II composto por 1,5x2,0 m, 1,5x3,0 m; 2,0x2,0 m; 2,0x3,0 m; 2,5x2,0 m e 2,5x3,0 m).....	48

FIGURA 3.8 – Tendências dos grupos formados para descrever o crescimento em altura das árvores do extrato médio (Grupo I espaçamentos 1,5 x 1,0 m, 2,0 x 1,0 m e 2,5 x 1,0 m e Grupo II 1,5 x 2,0 m, 1,5 x 3,0 m, 2,0 x 2,0 m, 2,0 x 3,0 m, 2,5 x 2,0 m e 2,5 x 3,0 m).	49
FIGURA 3.9 – Dispersão dos resíduos da equação de Backmann modificado para o crescimento em diâmetro das árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.	51
FIGURA 3.10 – Comportamento dos dados observados e estimados pelo modelo de Backmann (sem intercepto) para o crescimento em diâmetro das árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.	51
FIGURA 3.11 – Curvas de crescimento em diâmetro das árvores dominantes, para os três grupos formados (onde Grupo I: espaçamento 1,5 x 1,0 m; Grupo II espaçamentos 1,5 x 2,0, 2,0 x 1,0, 2,0 x 2,0 e 2,5 x 1,0 m e Grupo III 1,5 x 3,0, 2,0 x 3,0, 2,5 x 2,0, 2,5 x 3,0 m).	53
FIGURA 3.12 – Dispersão dos resíduos da equação de Backmann modificado para o crescimento em diâmetro das árvores de do extrato médio.	55
FIGURA 3.13 – Relação do crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio com a idade em relação à estimativa do modelo de Backmann modificado para <i>Pinus taeda</i> L.	55
FIGURA 3.14 – Tendências dos grupos formados para descrever o crescimento em diâmetro em função da idade em árvores do extrato médio (onde Grupo I 2,0 x 1,0 m; Grupo II espaçamentos 1,5 x 1,0, 1,5 x 2,0, 2,5 x 1,0, 2,0 x 2,0 e 2,5 x 2,0 m; e Grupo III espaçamentos 1,5 x 3,0, 2,0 x 3,0 e 2,5 x 3,0 m).	57
FIGURA 3.15 – Distribuição de resíduos da equação de volume proposta por Schumacher logaritimizado para árvores dominantes e do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L.	59
FIGURA 3.16 – Valores de volume observados em função do estimado pelo modelo de Schumacher logaritimizado para árvores de <i>Pinus taeda</i> L.	60
FIGURA 3.17 – Comportamento do volume estimado para as árvores de <i>Pinus taeda</i> L. pelo modelo de Schumacher logaritimizado.....	61
FIGURA 3.18 – Desenvolvimento das linhas de regressão das equações, para a estimativa do volume individual de árvores dominantes e do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L.....	64

Efeito do espaçamento nas características dos traqueóides da madeira de *Pinus taeda* L.

FIGURA 4.1 – Variação do comprimento de traqueóides da madeira de <i>Pinus taeda</i> L. no sentido medula-casca, em função da idade.	89
FIGURA 4.2 – Coeficiente de flexibilidade médio por idade, para <i>Pinus taeda</i> L.	96
FIGURA 4.3 – Fração de parede média por idade para a madeira de <i>Pinus taeda</i> L.	98
FIGURA 4.4 – Índice de Enfeltramento por idade, na madeira de <i>Pinus taeda</i> L.	100
FIGURA 4.5 – Índice de Runkel (IR) por idade na madeira de <i>Pinus taeda</i> L.	102
FIGURA 4.6 – Índice de Boiler por idade na madeira de <i>Pinus taeda</i> L.	104
FIGURA 4.7 – Comportamento do Índice de Mülsteph com a idade para a madeira de <i>Pinus taeda</i> L.	106
FIGURA 4.8 – Comprimento dos traqueóides em função da idade, mostrando os valores médios observados e estimados para todos os espaçamentos estudados (tratamentos).	109
FIGURA 4.9 – Comprimento do traqueóide em função da idade para uma árvore individual, mostrando ponto de transição do lenho juvenil para o adulto.	111
FIGURA 4.10 – Idade de segregação determinada pela função de Spline "Piecewise" para madeira de <i>Pinus taeda</i> L.	113
FIGURA 4.11 – Incremento volumétrico de madeira adulta de <i>Pinus taeda</i> L. do povoamento hectare.	115

Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em povoamentos com diferentes espaçamentos

FIGURA 5.1 – Massa específica básica observada e estimada para as árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L. em função da altura relativa.	140
FIGURA 5.2 – Valores de massa específica básica para árvores do extrato médio de <i>Pinus taeda</i> L. em função da altura relativa e do espaçamento	

entre linhas de plantio (hrel=altura relativa (%); EL=espaçamento entre linhas).....	142
FIGURA 5.3 – Variação radial da massa específica básica nas árvores dominantes em função da idade e do espaçamento: (a) entre linha = 1,5 m; (b) entre linha = 2,0 m; (c) entre linha = 2,5 m.	143
FIGURA 5.4 – Variação radial da massa específica básica em função da idade nas árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	144
FIGURA 5.5 – Variação radial da massa específica básica em função da distância até a medula das árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	146
FIGURA 5.6 – Variação radial da massa específica básica em função da distância do anel até a medula.....	147
FIGURA 5.7 – Valores ajustados para o módulo de elasticidade em função da posição radial relativa nas árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	150
FIGURA 5.8 – Valores ajustados para o módulo de elasticidade em função da distância da medula nas árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	151
FIGURA 5.9 – Valores ajustados para o módulo de elasticidade em função da massa específica nas árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	153
FIGURA 5.10 – Módulo de ruptura em função da posição relativa em árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	156
FIGURA 5.11 – Módulo de ruptura em função da distância da medula nas árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	157
FIGURA 5.12 – Módulo de ruptura em função da massa específica nas árvores dominantes de <i>Pinus taeda</i> L.....	158

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS OU SÍMBOLOS

%	Porcentagem
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
CV	Coeficiente de variação (porcentagem)
Ct	Comprimento de traqueóides, mm
DAP	Diâmetro à altura do peito, cm
dap	Diâmetro a altura do peito, cm
Di	Variável Dummy
DM	Distância da medula, cm
Eq	Equação
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ep	Espessura da parede, micrometro
F	Valor de F calculado
FV	Fonte de variação
GL	Graus de liberdade
g	Gramas
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
ha	Hectare
hrel	Altura relativa, m
h	Altura total de árvores do extrato médio, m
h ₁₀₀	Altura total de árvores dominantes, m
kg	Quilograma
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kg/cm ²	Quilograma por centímetro quadrado
Kgf	Quilograma força

LN	Logaritmo neperiano
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
m ³ /ha	Metro cúbico por hectare
mm	Milímetros
mm/m	Milímetro por metro
µm	Micrometro
MPa	Mega Pascal
ME	Massa específica, g/cm ³
MOE	Módulo de elasticidade na flexão estática
MOR	Módulo de ruptura na flexão estática
Pr > F	Probabilidade de significância para F
PRadial	Posição radial, porcentagem
QM	Quadrado médio
°C	Graus Celsius
R ²	Coeficiente de determinação.
R ² _{aj.}	Coeficiente de determinação ajustado
res	Resíduo
SAS	Statistical Analysis System
SQ	Soma de quadrados
S _{yx}	Erro padrão da estimativa
t	Idade, anos
TR	Tratamento
v c/c	Volume total com casca, m ³
v s/c	Volume total sem casca, m ³
ρ _{bas}	Massa específica básica, g/cm ³

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Tabelas de análise de variância e da relação entre as dimensões dos traqueóides do capítulo Efeito do espaçamento nas características de traqueóide da madeira de <i>Pinus taeda</i> L.....	191
APÊNDICE 2 – Tabelas de análise de variância e covariância do capítulo Propriedades da madeira de <i>Pinus taeda</i> L. em povoamentos com diferentes espaçamentos.	195

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	24
2.1 Localização e caracterização da área de estudo	24
2.2 Caracterização do experimento	25
2.3 Amostragem e medição dos dados	26
3 CRESCIMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L. SOB O EFEITO DE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO	28
3.1 Introdução.....	28
3.2 Revisão Bibliográfica.....	29
3.2.1 A espécie em estudo.....	29
3.2.2 O efeito do espaçamento	30
3.2.3 Crescimento	32
3.3 Material e Métodos	33
3.3.1 Análise de tronco.....	33
3.3.2 Critérios de seleção dos modelos estatísticos.....	34
3.3.3 Estimativa dos parâmetros dendrométricos	36
3.3.4 Análise de covariância.....	37
3.4 Resultados e Discussão	38
3.4.1 Crescimento da altura em função dos espaçamentos.....	40
3.4.1.1 Descrição do crescimento da altura da árvore dominante por regressão.....	42
3.4.1.2 Descrição do crescimento da altura da árvore do extrato médio por regressão	45
3.4.2 Crescimento em diâmetro em função dos espaçamentos.....	50
3.4.2.1 Descrição do crescimento em diâmetro da árvore dominante por regressão....	50

3.4.2.2 Crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio por regressão	54
3.4.3 Volume individual das árvores de <i>Pinus taeda</i> L.....	58
3.5 Conclusões	65
3.6 Referências Bibliográficas	66
4 EFEITO DO ESPAÇAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS DOS TRAQUEÓIDES DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> L.	70
4.1 Introdução.....	70
4.2 Revisão Bibliográfica.....	71
4.2.1 Características anatômicas da madeira da Família Pinaceae.....	71
4.2.2 Aspectos anatômicos da madeira de <i>Pinus taeda</i> L.....	73
4.2.3 Índices indicativos da qualidade da fibra	77
4.2.4 Influência do espaçamento nas características anatômicas.....	80
4.2.5 Metodologias para determinar a idade de segregação	82
4.3 Materiais e Métodos	82
4.3.1 Análise dos elementos anatômicos	83
4.3.2 Determinação da idade de segregação.....	85
4.3.3 Análise estatística dos caracteres anatômicos.....	86
4.4 Resultados e Discussão	86
4.4.1 Características morfométricas dos traqueóides axiais	86
4.4.1.1 Comprimento de traqueóides	87
4.4.1.2 Diâmetro total do traqueóide	89
4.4.1.3 Diâmetro do lume	91
4.4.1.4 Espessura da parede	92
4.4.2 Relações entre as dimensões dos traqueóides.....	94
4.4.2.1 Coeficiente de Flexibilidade.....	94
4.4.2.2 Fração Parede.....	96
4.4.2.3 Índice de Enfeltramento.....	99
4.4.2.4 Índice de Runkel.....	101
4.4.2.5 Índice de Boiler.....	102
4.4.2.6 Índice de Mülsteph	104
4.4.3 Idade de segregação do lenho juvenil-adulto	106
4.4.3.1 Método de regressão simples	107
4.4.3.2 Método iterativo de regressão não-linear	112
4.4.4 Volume produzido a partir da determinação da idade de segregação.	114

4.5 Conclusões	116
4.6 Referências Bibliográficas	117
5 PROPRIEDADES DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> L. EM POVOAMENTOS COM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS	124
5.1 Introdução	124
5.2 Revisão Bibliográfica	125
5.2.1 Massa específica básica	125
5.2.2 Porcentagem de lenho juvenil e adulto em relação às propriedades físicas e mecânicas da madeira	126
5.2.3 Propriedades mecânicas	130
5.2.4 Qualidade da Madeira	132
5.3 Material e Métodos	134
5.3.1 Massa específica básica	134
5.3.2 Variação radial da massa específica básica.....	136
5.3.3 Flexão estática	136
5.3.4 Análise estatística dos dados	137
5.4 Resultados e Discussão	137
5.4.1 Massa específica básica ponderada em função do volume de madeira	137
5.4.2 Variação da massa específica básica ao longo do fuste	139
5.4.2.1 Árvores dominantes.....	139
5.4.2.2 Árvores do extrato médio	141
5.4.3 Variação radial da massa específica básica nas árvores dominantes	142
5.4.4 Módulo de elasticidade.....	148
5.4.5 Módulo de ruptura	154
5.5 Conclusões	159
5.6 Referências Bibliográficas	160
6 CONCLUSÃO GERAL	170
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	171
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
9 APÊNDICES	190

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, os reflorestamentos foram conduzidos com o objetivo principal de produção de madeira de pequenas dimensões em rotações curtas. Atualmente, tem-se dado mais ênfase para a produção de árvores de maiores dimensões, em rotações mais longas, como forma de agregar maior valor à floresta, na tentativa de aumentar sua rentabilidade.

Na introdução de espécies exóticas no Brasil, como pinus e eucalipto, o enfoque principal é dado à produção volumétrica e nem sempre a qualidade da matéria-prima tem recebido a atenção merecida. É de fundamental importância que novas informações sobre estas espécies sejam relatadas pois, além de fornecer subsídios para diversas áreas da ciência florestal, poderão ser utilizadas para melhorar a qualidade da madeira na floresta, obtendo, assim, uma matéria-prima homogênea, com características desejáveis para uma utilização determinada.

Ao manejar florestas plantadas, é necessário decidir sobre as ações silviculturais que serão executadas para que se possa produzir madeira com características desejáveis, no momento de sua demanda e na quantidade requerida.

A madeira é um material anisotrópico resultante de fatores inerentes ao crescimento da árvore. Entender esta heterogeneidade, buscar formas de homogeneizá-la, tanto quanto possível, é hoje uma das necessidades para o fornecimento de madeira de qualidade. Para Bampi (1991), interessa saber até que ponto o manejo florestal pode influenciar na qualidade da madeira. Para isso, é indispensável um certo conhecimento das propriedades que determinam a qualidade da madeira e até onde estas são influenciadas pelas características genéticas e pelas modificações do ambiente (espaçamento, proporção de copa viva e a taxa de crescimento).

Zobel (1992) destaca que qualquer alteração do padrão de crescimento de uma árvore, resultante ou não de intervenções silviculturais, pode causar variações na qualidade da madeira, sendo que não é possível prever em que sentido estas variações ocorrerão. O autor sustenta que a adoção de um espaçamento maior no plantio impede mudanças abruptas nas condições de luminosidade, umidade e competição entre árvores, evitando alterações súbitas na qualidade da madeira.

O conhecimento da dinâmica do crescimento de povoamentos florestais proporcionará suprimentos contínuos para o setor. O estudo de crescimento e produção, por analisar a relação entre uma medida de produção florestal e variáveis como a idade e a densidade de plantio, entre outros, é uma das ferramentas utilizadas para a compreensão desta dinâmica. Além de se produzir mais, faz-se necessário que a produção esteja associada à qualidade do material produzido.

Apesar do grande potencial da madeira de *Pinus* spp., ainda se sabe relativamente pouco em relação ao crescimento, à produção e à qualidade da madeira das principais espécies plantadas no Brasil, embora haja uma intensificação no interesse do setor industrial madeireiro, e mesmo do setor de celulose e papel, em estabelecer os parâmetros de qualidade da madeira de *Pinus* spp. para os diferentes processamentos.

Em 2008, o Brasil subiu do sexto para o quarto lugar entre os produtores mundiais de celulose, considerando fibra longa e fibra curta, com 12,7 milhões de toneladas produzidas (BRACELPA, 2008).

Considerando-se que a proporção de madeira juvenil nas árvores de coníferas, oriundas de florestas de rápido crescimento e de curta rotação, é consideravelmente alta, torna-se fundamental o conhecimento das propriedades para a sua utilização de forma adequada.

Conhecer e compreender a variação que ocorre na espécie e dentro da espécie e os fatores que interferem na formação das características dendrométricas, tecnológicas, enfim, na qualidade final do produto, é de vital importância tanto para o beneficiamento como para a sua utilização.

Dessa maneira, o presente trabalho foi desenvolvido tendo-se em vista as dificuldades do setor madeireiro do Brasil, no que diz respeito à produção de madeira em larga escala, oriunda de florestas nativas. Este estudo visa ampliar o conhecimento sobre a espécie de *Pinus taeda* L., uma das espécies exóticas mais cultivadas no Brasil.

O objetivo geral do trabalho foi verificar a influência do espaçamento e da idade no crescimento e na qualidade de madeira de *Pinus taeda* L.

Para isso, foram avaliados:

- a) O diâmetro, a altura e o volume em função da idade e dos espaçamentos;
- b) A massa específica básica da madeira em diferentes idades e espaçamentos;

- c) As delimitações das regiões de lenho juvenil, adulto e a zona de transição da madeira, com base na característica anatômica comprimento dos traqueóides;
- d) O efeito dos espaçamentos nas propriedades de flexão estática da madeira.

Para análise desses fatores, o presente trabalho foi dividido em capítulos, por assuntos temáticos distintos, que são apresentados na sequência.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O povoamento de *Pinus taeda* L., utilizado para o presente estudo, localiza-se na Fazenda Gropp (FL_203), município de Otacílio Costa - SC, Coordenadas 27°33.382' S e 50°05.132' W.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo "Cfb", mesotérmico, subtropical úmido, com verões frescos, não apresentando estação seca definida, com geadas frequentes, em média mais de quinze dias por ano (MOTTA et al., 1971).

Dados obtidos em uma estação meteorológica localizada próxima da área indicam uma precipitação média anual de 1.740 mm, distribuída em 108 dias, temperatura média anual de 16,8°C e vento nordeste predominante na região.

Os solos da área classificam-se em: a) TBHa2, definido como sendo terra bruna estruturada húmica álica mais cambissolo bruno húmico álico de textura argilosa e muito argilosa, com face pedregosa e não pedregosa; b) Cha5, definido como cambissolo húmico álico, pedregoso e não pedregoso, mais solo litólico húmico álico, arenito e basalto, ambos com textura argilosa e médio-argilosa (SANTA CATARINA, 1986).

A região apresenta aptidão climática para *Pinus taeda*, pois se localiza na sub-região agroecológica 3A, denominada de Vale do Rio das Pedras e Planalto Central, considerada, devido às condições climáticas, preferencial para a espécie (EMBRAPA, 1999). De acordo com a avaliação da aptidão pedoclimática do *Pinus taeda* para o Estado de Santa Catarina, as áreas de florestas da empresa localizam-se na Classe Preferencial 3A, porém a espécie é também indicada para cultivo predominante nas sub-regiões 2A, 3B, 4A e 4B, conforme Figura 1 (EMBRAPA, 1999).

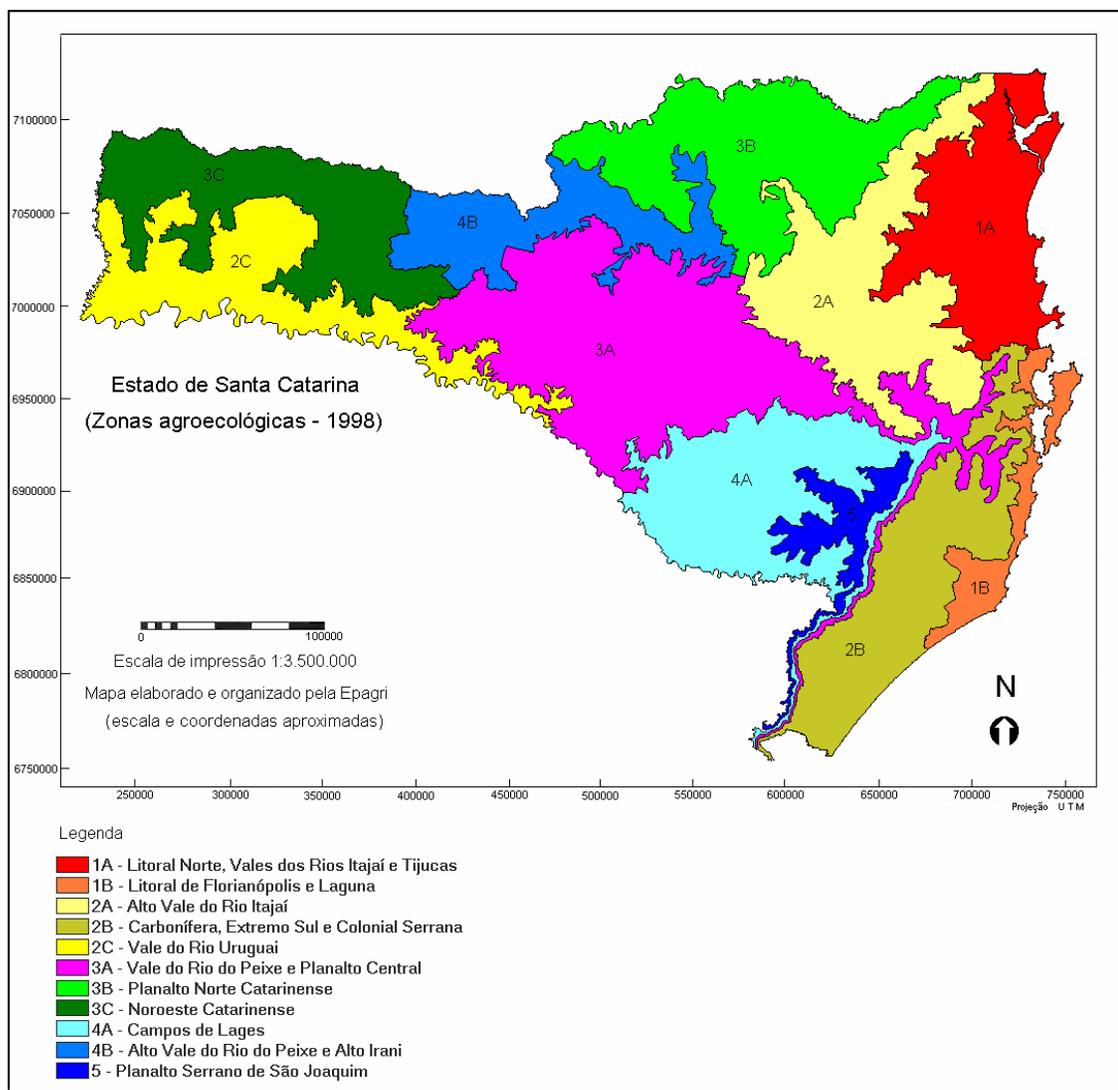


FIGURA 1 – Sub-regiões agroecológicas do Estado de Santa Catarina. Fonte: Embrapa (1999).

2.2 Caracterização do experimento

O experimento foi implantado em junho de 1987, com material de APS (Área de Produção de Sementes), usando-se plantas de raiz nua distribuídas em diferentes espaçamentos. O delineamento foi composto de 9 tratamentos e 3 repetições, com parcelas quadradas com 64 plantas úteis e bordadura dupla, de onde foram retiradas uma árvore dominante e uma do extrato médio para a realização desse estudo. Nenhum dos blocos foi desramado nem desbastado até o

momento da retirada das árvores. O estudo foi conduzido em árvores com 18 anos de idade.

Antes da implantação, a área sofreu preparo de solo, com uma aração seguida de gradagem leve, realizada com trator agrícola.

O plantio foi realizado manualmente. Após o plantio, foram realizados no experimento tratos culturais normais, como: capinas, roçados, coroamentos e combate à formiga.

As árvores de maiores dimensões são destinadas ao desdobro, sendo que as de menores diâmetros são destinadas à produção de celulose e papel. Desta forma, justifica-se a divisão das árvores amostradas em árvores dominantes e as do extrato médio.

A Tabela 1 apresenta os espaçamentos utilizados em cada tratamento.

TABELA 1 – Tratamentos empregados nas diferentes parcelas em um povoamento de *Pinus taeda* L.

Tratamento	Espaçamento		Nº. arv (ha)	Área (m ² /arv)
	Entre linha (m)	Entre planta (m)		
1	1,5	1,0	6.666	1,5
2	1,5	2,0	3.333	3,0
3	1,5	3,0	2.222	4,5
4	2,0	1,0	5.000	2,0
5	2,0	2,0	2.500	4,0
6	2,0	3,0	1.666	6,0
7	2,5	1,0	4.000	2,5
8	2,5	2,0	2.000	5,0
9	2,5	3,0	1.333	7,5

2.3 Amostragem e medição dos dados

Os dados para os estudos foram medidos sobre árvores amostras, abatidas entre médias e dominantes, resultando em 3 árvores do extrato médio e 3 árvores dominantes em cada espaçamento.

A precisão dos estudos de qualidade da madeira e a reconstrução do crescimento anual não dependem somente das técnicas empregadas, da visibilidade

e da formação dos anéis anuais, como também da representatividade na classe sociológica da árvore amostra em relação ao espaçamento de que se originou.

Essa representatividade pode facilmente ser determinada no contexto atual, mas não ser assegurada quando não houver observações periódicas do status de competição a que esteve sujeita a árvore durante sua vida. Sem essa informação, não será possível garantir que a árvore hoje selecionada pertenceu sempre à mesma classe social, o que trará uma fonte de variação não controlada aos dados amostrados.

Essa fonte de variação influencia não só os estudos de crescimento como o de qualidade da madeira.

3 CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* L. SOB O EFEITO DE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO

3.1 Introdução

Ao se falar em florestas plantadas no Brasil, logo já se pensa em espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, que são as principais fontes de matéria-prima para as indústrias que utilizam a madeira, destacando-se os setores de celulose, carvão vegetal e de madeira processada mecanicamente, tanto para serraria quanto para painéis (NAHUZ, 2004).

Nos últimos tempos, esses tipos florestais têm recebido maior atenção quanto ao planejamento da produção devido à redução na oferta de matéria-prima e custos de produção altos, como valor da terra e mão-de-obra. As empresas florestais estão buscando, cada vez mais, definir objetivos e manejar as florestas da melhor forma possível. Povoamentos plantados apresentam vantagens para a produção industrial de madeira em relação a florestas naturais devido ao maior controle sobre algumas variáveis importantes, como número de plantas, sua distribuição por meio de espaçamentos pré-determinados e pela homogeneidade da madeira produzida.

A produção qualitativa e quantitativa de madeira dos povoamentos florestais está, em sua maioria, relacionada a fatores como: sítio, tratamentos silviculturais e, principalmente, com a densidade da população e outros fatores ambientais. Sobre esse aspecto, deve-se considerar que à medida que aumenta o número de árvores, aumenta a área basal significativamente, até o momento em que inicia a competição, sendo então, estabelecido o início da competição extrema na floresta e, com isso, a manutenção ou redução da área basal (SCHNEIDER, 2008).

O efeito inicial do espaçamento em um povoamento interfere expressivamente na formação das árvores e no seu crescimento, trazendo alterações no diâmetro, independentemente do seu genótipo. Diferenças na densidade de um povoamento podem resultar em alterações na qualidade da madeira (DE SOUZA, 1995).

Plantios em menores espaçamentos têm uma maior densidade populacional por unidade de área, refletindo em intensa competição entre as plantas por água, luz e nutrientes devido à falta de sistema radicular e uma baixa produção fotossintética, podendo resultar numa estagnação prematura no crescimento, o que traz sérios prejuízos ao povoamento. Já em espaçamentos muito amplos, há uma densidade populacional baixa, onde se obtêm árvores com grandes diâmetros, grande área de copa e com bastante ramificação; gerando a presença de muitos nós, podendo não atender aos objetivos que se pretende.

Dessa forma, o presente capítulo teve por objetivo avaliar o efeito do espaçamento sobre o crescimento em diâmetro e altura, em função da idade, bem como proceder ao ajuste de equações para a estimativa do volume das árvores individuais de *Pinus taeda* L.

3.2 Revisão Bibliográfica

3.2.1 A espécie em estudo

Garcia et al. (1996) descrevem o *Pinus taeda* L. como originário do sudeste dos Estados Unidos, em região de baixa e média altitude, em geral até a altitude de 800 m, de clima temperado cálido e verão chuvoso. Embora seja a área de ocorrência natural coincidente com a do *Pinus elliottii*, apresenta uma distribuição mais ampla, alcançando o Texas, Arkansas, Tennessee e Virgínia, sendo conhecido vulgarmente por "Loblolly pine".

Trata-se da espécie madeireira mais importante dos Estados Unidos na atualidade. As árvores alcançam cerca de 20 m de altura e 100 cm de DAP, produzindo copa densa, casca gretada e ramos acinzentados, sendo a madeira indicada para construções, móveis, caixotaria e fabricação de celulose (MARCHIORI, 1996).

No Brasil os reflorestamentos com fins comerciais tiveram início na década de 1960, promovendo a introdução de uma grande variedade de espécies exóticas, especialmente o gênero *Pinus*. Inicialmente, os plantios mais extensos foram

estabelecidos nas Regiões Sul e Sudeste, utilizando o *Pinus taeda* L. na produção de matéria-prima para as indústrias de celulose e papel, e *Pinus elliottii* Engelm. para madeira serrada e extração de resina. O destaque dessas espécies deve-se, em especial, por apresentarem excelentes características de produtividade, qualidade da madeira e maiores incrementos de volume, substituindo a madeira da *Araucaria angustifolia* (SBS, 2006).

Pinus taeda é uma espécie originada de regiões subtropicais (HAAG, 1983; KRONKA et al., 2005); por este motivo, no Brasil, é plantada em regiões que coincidem com a distribuição natural de *Araucaria angustifolia* (HAAG, 1983).

Em 2005, as florestas plantadas existentes no Brasil totalizavam cerca de 5,6 milhões de hectares, sendo 1,8 milhões de hectares com espécies de pinus, das quais 46% são de *Pinus taeda*, com maciça presença desta em quase todos os estados no Brasil (SBS, 2005). Dessa forma, a produção de pinus, em quase todo o território nacional, possibilita a substituição da utilização de madeiras de espécies nativas tão severamente exploradas desde a época de colonização do país.

3.2.2 O efeito do espaçamento

O espaçamento ótimo é considerado aquele capaz de produzir o maior volume de produto em tamanho, forma e qualidade desejável (TONINI, 2003). O espaçamento tem influência marcante na produção e qualidade da madeira, sendo preciso tomar toda a precaução para decidir sobre o espaçamento inicial. As decisões sobre espaçamentos não podem ser tomadas sem o conhecimento mais preciso da influência dos mesmos na qualidade dos produtos obtidos (BRASIL; FERREIRA, 1971).

Árvores com espaçamentos amplos crescem mais rapidamente do que em espaçamentos pequenos e terão, em uma determinada idade, maior diâmetro, maior conicidade, casca mais grossa e maior copa (SMITH et al., 1997 apud TONINI, 2003).

Muitos são os fatores que determinam o espaçamento a ser empregado nos plantios: a forma como crescem e se desenvolvem as raízes; profundidade e tipo de solo; o crescimento e desenvolvimento da copa em relação à tolerância das

espécies às podas naturais; e a finalidade dos plantios. Ao se eleger o espaçamento mais adequado, deve-se dar, a cada indivíduo, espaço suficiente para conseguir o máximo crescimento sem desperdício de espaço (FAO, 1960).

Para Vale et al. (1982), o espaçamento está correlacionado com a qualidade do sítio, influenciando decisivamente na produção florestal, pois a escolha do espaçamento inicial para determinada espécie é função do sítio.

O espaçamento das plantações florestais não deve ser rígido. Há necessidade de se considerar a qualidade e o peso/volume de madeira a ser produzida, bem como o local (sítio), hábitos de crescimento, espécie, sobrevivência esperada, objetivos do produto, futuros tratamentos silviculturais e o tipo de equipamento a ser empregado na implantação e colheita do povoamento (COUTO et al., 1977).

Para estabelecer um espaçamento de plantio adequado, é preciso pesar os prós e contras e definir qual o que produz maior rendimento em uma região, de acordo com os valores obtidos dos sortimentos produzidos pela floresta. Segundo Patiño-Valera (1986), a recomendação de espaçamento não deve ser generalizada.

Segundo Aguerre et al. (1995), na Argentina, as densidades de plantações mais frequentes são de 1000 a 1100 plantas/ha, em configurações quadradas e retangulares de 3 x 3 m ou 4 x 2,5 m, respectivamente. Com estes espaçamentos, obtém-se madeira com diâmetro adequado para serraria, em rotações de 10 a 12 anos. Entretanto, em regimes de rotação curta, para a produção de madeira para celulose, são utilizadas densidades iniciais altas para ocupar rapidamente o sítio, maximizar o volume e compensar perdas de plantas em rotações sucessivas.

Por outro lado, Fishwick (1976) concluiu que em espaçamentos muito reduzidos, o diâmetro das árvores é menor, existindo muitas árvores dominadas, e que nem sempre a produção volumétrica é um fator decisivo. Constatou, também, que os maiores espaçamentos tiveram ação positiva sobre o crescimento em diâmetro, mas não influenciando o crescimento em altura.

3.2.3 Crescimento

O conhecimento do crescimento e da produção presente e futura de árvores em povoamentos florestais é de fundamental importância no manejo florestal sustentável, sendo necessário possuir informações sobre a existência de relações quantitativas e modelos matemáticos que sejam consistentes e compatíveis para a predição do desenvolvimento do povoamento em qualquer idade (SCOLFORO, 1994).

Para Campos; Leite (2002), o crescimento é um processo caracterizado por mudanças na forma e no tamanho do tronco, com a adição contínua de novas camadas de lenho ao longo de todo o material lenhoso existente.

O crescimento é normalmente expresso em unidades de volume, entretanto, o manejo, objetivando simplesmente a produção em volume, muitas vezes não é suficiente, pois as condições de crescimento podem afetar seriamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira, comprometendo a sua utilização em diferentes aplicações (DAVIS, 1996).

Os fatores fisiológicos que afetam o crescimento de uma árvore são: luz, temperatura, água, nutrientes, CO₂ e conteúdo de clorofila. A densidade de um povoamento florestal é o grau de aproveitamento do solo pelas árvores, podendo ser também expresso em termos de área basal, volume, número de árvores e/ou superfície das copas por unidade de área, estando implícito o nível de utilização dos fatores de crescimento locais pelas árvores, como: água, ar e nutrientes (SCHNEIDER, 1993).

Segundo Daniel et al. (1979), o crescimento de um povoamento é afetado pelo estágio de desenvolvimento do mesmo, estando sempre condicionado à idade, qualidade do sítio, espécie, densidade e à unidade de medição em que é expresso.

Vários autores, entre eles Schönau (1974), Fishwick (1976), Couto et al. (1977), Simões et al. (1980), Schneider (1993), Yared et al. (1993), confirmam a influência do espaçamento entre árvores sobre as características de crescimento (volume, diâmetro e/ou altura) e sobrevivência dos povoamentos.

Smith apud Mello et al. (1971), estudando a densidade populacional de povoamentos florestais, estabeleceu que o mínimo ideal de árvores por unidade de área deve ser determinado pela quantidade que deve crescer tirando o melhor e

maior proveito dos fatores de crescimento, produzindo o maior volume de produtos com dimensões, forma e qualidades mais convenientes. As principais alterações que podem ocorrer na qualidade da madeira estão, geralmente, associadas ao aumento do número e dimensão dos nós e a proporção de casca que, por sua vez, são decorrentes de diferenças na massa específica.

A resposta das plantas ao aumento do espaçamento varia de acordo com a espécie, havendo aquelas que respondem desde positivamente até negativamente ao aumento do espaçamento, em relação às características de crescimento estudadas (MORA, 1986).

Yero et al. (1992), testando espaçamentos de 3,0 x 2,0; 3,0 x 2,5 e 3,0 x 3,0 m concluiu que estes são os mais aconselhados para o desenvolvimento de *Pinus maestris*, quando avaliados os índices de sobrevivência, diâmetro, volume e área basal.

Blanco et al. (1988), em estudos realizados em um plantio experimental de 14 anos, avaliando o comportamento de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, em cinco espaçamentos diferentes, variando de 3 x 1 m até 3 x 3 m, concluíram que o espaçamento 3 x 2,5 m resultou em melhor altura e diâmetro.

3.3 Material e Métodos

A localização e a caracterização da área experimental, bem como a descrição do experimento de espaçamento, seleção e amostragem das árvores utilizadas, seguem os procedimentos descritos nos itens 2.1 e 2.2, respectivamente.

3.3.1 Análise de tronco

As árvores amostradas foram selecionadas e abatidas na bordadura interna das parcelas, sendo posteriormente seccionadas em toras de comprimento padrão, previamente definido. De cada árvore foram extraídos discos de 5 cm de espessura na altura de 0,10 m, 1,30 m, 3,3 m e, acima disso, de metro em metro até o topo.

Depois de etiquetados, os discos foram transportados para o Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, onde foram colocados lado a lado para evitar que as faces tivessem contato com outra superfície ou mesmo outro disco, de forma a facilitar a secagem e não prejudicar a visualização dos anéis.

Após secos, os discos tiveram uma das faces lixadas, com lixas de várias gramaturas, até a visualização integral dos anéis de crescimento.

O crescimento das árvores por espaçamento foi determinado por meio da técnica de análise de tronco. A medição dos anéis de crescimento foi efetuada com o auxílio do aparelho Lintab II, no Laboratório de Dendrocronologia do Departamento de Ciências Florestais da UFSM. A leitura foi feita sobre quatro raios marcados em cada fatia, sendo o primeiro marcado com um ângulo de 45° no sentido anti-horário em relação ao maior raio da secção, e os demais raios, a 90° do raio anterior. Os anéis de crescimento foram identificados com auxílio de uma lupa e suas espessuras medidas com auxílio de mesa de medição micrométrica acoplada a um computador. A leitura foi realizada no sentido medula-casca.

Após medição dos anéis de crescimentos, os dados foram processados no programa ANATRO (Análise de Tronco).

3.3.2 Critérios de seleção dos modelos estatísticos

Para modelar o crescimento do diâmetro, altura e volume da árvore de diâmetro médio e da árvore dominante em função da idade foram usadas regressão linear, regressão múltipla e regressão não-linear, utilizadas para descrever o crescimento por tratamento (espaçamento).

As melhores equações foram selecionadas analisando-se parâmetros estatísticos como coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), coeficiente de variação (CV%), erro padrão da estimativa (S_{yx}) e análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação ajustado expressa a quantidade de variação explicada pela regressão, tendo em conta o número de coeficientes da equação, e seleciona o modelo matemático que apresente maior valor de $R^2_{aj.}$, sendo expresso pela seguinte fórmula:

$$R^2_{aj} = R^2 \left[\frac{K-1}{N-K} \right] (1 - R^2) \quad (3.1)$$

Sendo:

R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; R^2 = coeficiente de determinação; K = número de coeficientes da equação; N = número de observações.

Quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente de determinação melhor será o ajuste da linha de regressão. Sendo assim, por este critério, foi selecionado o modelo matemático que apresentou maior valor de R^2_{aj} .

O erro padrão da estimativa (S_{yx}), que mede a dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão, é expresso pela fórmula:

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res.}} \quad (3.2)$$

Sendo:

S_{yx} = erro padrão da estimativa; $QM_{res.}$ = quadrado médio do resíduo, obtido na análise de variância.

O coeficiente de variação ($CV\%$), que mede a dispersão relativa entre os valores observados e estimados pela regressão, é expresso como:

$$CV \% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} 100 \quad (3.3)$$

Sendo:

S_{yx} = erro padrão da estimativa; $CV \%$ = coeficiente de variação em percentagem;
 \bar{y} = média aritmética da variável dependente.

Concomitantemente aos parâmetros estatísticos, foi realizada a análise gráfica da distribuição dos resíduos, que se constitui de grande importância na seleção de modelos, pois permite detectar possíveis falhas de ajuste ao longo da linha da regressão para determinar qual o modelo que não apresenta tendências.

3.3.3 Estimativa dos parâmetros dendrométricos

Para determinar o crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores médias e dominantes em função da idade, foram usadas equações já conhecidas e aplicadas em outros trabalhos.

Para evitar possíveis erros na escolha do modelo, os dados obtidos pela análise de tronco correspondente de 1 a 4 anos foram desconsiderados, pois se tratavam de pequenos incrementos tanto em diâmetro e altura como em volume, além do que ainda não estavam sob nenhum efeito de competição, independentemente do espaçamento utilizado.

Na Tabela 3.1 estão relacionadas às equações usadas para modelar o crescimento em altura e diâmetro como uma função da idade e na Tabela 3.2, as equações testadas para descrever o volume individual das árvores em função do diâmetro e da altura por espaçamento.

TABELA 3.1 – Equações testadas para descrever o crescimento em altura ou diâmetro em função da idade, para *Pinus taeda* L.

Número	Autor	Equação
3.4	Schumacher	$y = b_0 + b_1(1/t)$
3.5	Backmann	$\ln y = b_0 + b_1 \ln t + b_2 \ln^2 t$
3.6	Backmann modificada	$\ln y = b_1 \ln t + b_2 \ln^2 t$
3.7	Prodan	$y = \frac{t^2}{b_0 + b_1 t + b_2 t^2}$
3.8	Richards	$y = b_0(1 - e^{-b_1 t})^{b_2}$
3.9	Gram	$y = b_0 + b_1 \ln t + b_2 t$

Onde: y= altura e diâmetro; t=idade;

TABELA 3.2 – Equações testadas para descrever o volume individual em função do diâmetro e altura, para *Pinus taeda* L.

Número	Autor	Equação
3.10	Schumacher	$v = b_0 + b_1 d + b_2 h$
3.11	Spurr	$v = b_0 + b_1 (d^2 h)$
3.12	Spurr Log	$\ln v = b_0 + b_1 * \ln(d^2 h)$
3.13	Schumacher Log	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$
3.14	I.B.M Alemanha	$v = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln^2 d + b_3 \ln h + b_4 \ln^2 h$

Onde: v = volume; d = diâmetro; h = altura.

Os dados dendrométricos amostrados nas árvores dominantes e do extrato médio foram processados pelo pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System) (1999), onde as regressões lineares foram ajustadas no procedimento PROC REG e as não lineares pelo procedimento PROC NLIN.

Os cálculos das variáveis dendrométricas relativas à análise de tronco e ao processamento das unidades amostrais foram efetuados nos programas ANATRO (Análise de tronco).

3.3.4 Análise de covariância

A análise de covariância foi aplicada para testar as diferenças de inclinação e nível entre as curvas de crescimento em altura, diâmetro e volume para os diferentes tratamentos.

Na análise de covariância, foi testada a diferença de inclinação e não havendo evidência de diferença de inclinação, a hipótese de não diferença de níveis foi testada. Se a diferença não foi significativa para inclinação e níveis, uma regressão única foi ajustada, ignorando a diferença entre grupos.

A análise de covariância permitiu a comparação de curvas de crescimento em relação a seu paralelismo, indicando, assim, a existência, ou não, de diferentes padrões de crescimento. A inclinação e nível das curvas de crescimento por idade foram verificados pelo valor F, para 1% de erro, sendo os dados processados no

programa Statistical Analysis System (SAS) versão 8. As somas de quadrados de produtos corrigidos foram obtidas pela opção SS1 da declaração MODEL do procedimento REG.

3.4 Resultados e Discussão

A Tabela 3.3 apresenta o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e volume individual das árvores dominantes obtidos na análise de tronco em um povoamento de *Pinus taeda*, nos diferentes espaçamentos.

TABELA 3.3 – Características das árvores dominantes de *Pinus taeda* L. em função dos espaçamentos.

Tratamento/ Espaçamento	Bloco	Classe sociológica	DAP (cm)	Altura total (m)	Volume (m ³)
1 ⇒ 1,5 x 1,0	1	1	25,3	22,9	0,572
	2	1	20,6	20,6	0,355
	3	1	19,7	20,7	0,312
Valor médio			21,8	21,4	0,413
2 ⇒ 1,5 x 2,0	1	1	25,1	23,5	0,558
	2	1	27,2	21,8	0,674
	3	1	22,9	20,6	0,445
Valor médio			25,0	22,0	0,559
3 ⇒ 1,5 x 3,0	1	1	29,4	23,5	0,778
	2	1	26,0	22,8	0,574
	3	1	26,3	22,8	0,626
Valor médio			27,2	23,0	0,659
4 ⇒ 2,0 x 1,0	1	1	25,8	21,9	0,565
	2	1	27,9	21,0	0,587
	3	1	22,2	22,6	0,505
Valor médio			25,3	21,8	0,552
5 ⇒ 2,0 x 2,0	1	1	23,2	24,5	0,477
	2	1	23,4	22,5	0,522
	3	1	27,0	22,9	0,662
Valor médio			24,5	23,3	0,553
6 ⇒ 2,0 x 3,0	1	1	29,5	22,6	0,828
	2	1	33,2	23,6	0,982
	3	1	26,5	21,4	0,565
Valor médio			29,7	22,5	0,792
7 ⇒ 2,5 x 1,0	1	1	23,3	22,0	0,511
	2	1	26,4	21,5	0,533
	3	1	24,6	22,4	0,548
Valor médio			24,8	22,0	0,531

continua...

TABELA 3.3 – Características das árvores dominantes de *Pinus taeda* L. em função dos espaçamentos. Continuação...

Tratamento/ Espaçamento	Bloco	Classe sociológica	DAP (cm)	Altura total (m)	Volume (m ³)
8 ⇒ 2,5 x 2,0	1	1	29,0	22,1	0,713
	2	1	26,5	22,9	0,650
	3	1	23,0	22,2	0,482
Valor médio			26,2	22,4	0,615
9 ⇒ 2,5 x 3,0	1	1	28,5	22,8	0,650
	2	1	26,9	20,8	0,595
	3	1	30,6	21,3	0,757
Valor médio			28,7	21,6	0,667

Onde: Classe sociológica: 1 = árvore dominante; DAP = diâmetro à altura do peito (m).

Nas árvores dominantes o crescimento em diâmetro médio variou de 21,8 cm até, 29,7 cm nos espaçamentos 1,5 x 1,0 m e 2,0 x 3,0 m.

A variável altura também mostrou ter sido influenciada pela posição sociológica. Nas árvores dominantes, a variação nos valores médios foi de 23,3 m no espaçamento 2,0 x 2,0 m e de 21,4 m no espaçamento 1,5 x 1,0 m.

O maior volume nas árvores dominantes foi 0,792 m³ no espaçamento 2,0 x 3,0 m até 0,413 m³ no espaçamento 1,5 x 1,0 m (Tabela 3.3).

A Tabela 3.4 apresenta o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e volume individual das árvores do extrato médio obtidos na análise de tronco em um povoamento de *Pinus taeda*, nos diferentes espaçamentos.

Nas árvores do extrato médio, a menor média para o diâmetro foi 12,8 cm no espaçamento 1,5 x 1,0 m e a maior, 20,5 cm no espaçamento 2,5 x 3,0 m. Em relação às árvores do extrato médio, a variação média foi de 18,6 m a 20,8 m nos espaçamentos 1,5 x 1,0 m e 2,0 x 2,0 m, respectivamente. Já para o volume individual nas árvores do extrato médio a variação média nos valores foi 0,111 até 0,324 m³ nos espaçamentos 1,5 x 1,0 m e 2,0 x 3,0 m, respectivamente (Tabela 3.4).

TABELA 3.4 – Características das árvores de *Pinus taeda* L do extrato médio. em função dos espaçamentos.

Tratamento/ Espaçamento	Bloco	Classe sociológica	DAP (cm)	Altura total (m)	Volume (m ³)
1 ⇒ 1,5 x 1,0	2	2	11,8	18,9	0,094
	3	2	13,9	18,4	0,129
Valor médio			12,8	18,6	0,111
2 ⇒ 1,5 x 2,0	1	2	15,2	21,4	0,216
	2	2	16,4	19,5	0,203
	3	2	16,5	19,3	0,209
Valor médio			16,0	20,0	0,209
3 ⇒ 1,5 x 3,0	1	2	18,4	20,4	0,263
	2	2	17,1	19,5	0,217
	3	2	16,7	19,5	0,213
Valor médio			17,4	19,8	0,231
4 ⇒ 2,0 x 1,0	1	2	12,8	19,5	0,120
	2	2	13,0	16,9	0,104
	3	2	16,1	20,1	0,219
Valor médio			14,0	18,8	0,148
5 ⇒ 2,0 x 2,0	1	2	14,2	22,5	0,216
	2	2	11,4	20,5	0,116
	3	2	12,8	19,5	0,114
Valor médio			12,8	20,8	0,149
6 ⇒ 2,0 x 3,0	1	2	20,7	21,8	0,377
	2	2	18,6	18,5	0,326
	3	2	18,1	20,7	0,270
Valor médio			19,1	20,3	0,324
7 ⇒ 2,5 x 1,0	1	2	18,6	20,6	0,310
	2	2	17,2	20,3	0,242
	3	2	17,2	17,2	0,187
Valor médio			17,7	19,4	0,243
8 ⇒ 2,5 x 2,0	1	2	13,2	17,0	0,095
	2	2	14,7	22,2	0,194
	3	2	13,1	18,6	0,127
Valor médio			13,7	19,3	0,139
9 ⇒ 2,5 x 3,0	2	2	20,8	21,6	0,337
	3	2	20,3	19,2	0,289
Valor médio			20,5	20,4	0,313

Onde: Classe sociológica: 2 = árvore do extrato médio; DAP = diâmetro à altura do peito (m).

3.4.1 Crescimento da altura em função dos espaçamentos

O comportamento da altura em função da idade para as árvores dominantes e do extrato médio foi reconstruído na Figura 3.1 e Figura 3.2, onde se observou que tanto as árvores dominantes como as do extrato médio apresentaram uma mesma tendência de crescimento ao longo do tempo, indicando que se trata de curvas

monomórficas. Verificou-se também menor amplitude entre as curvas nas árvores dominantes quando comparadas com as curvas das árvores do extrato médio.

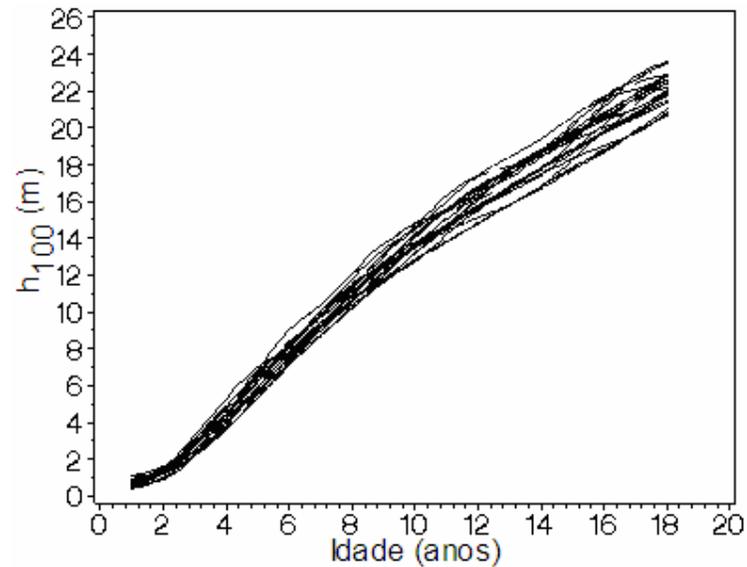


FIGURA 3.1 – Altura das árvores dominantes (h_{100}) de *Pinus taeda* L. em função da idade.

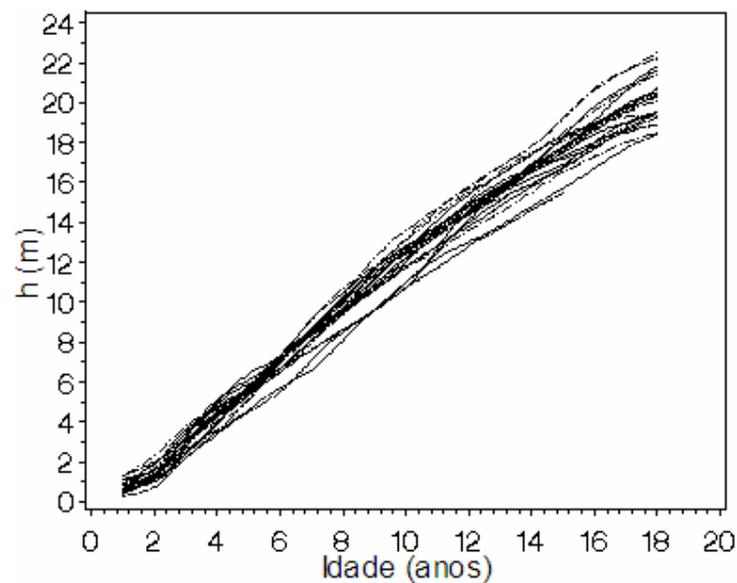


FIGURA 3.2 – Altura das árvores do extrato médio de *Pinus taeda* L. em função da idade.

3.4.1.1 Descrição do crescimento da altura da árvore dominante por regressão

Os parâmetros e estatísticas das equações ajustadas, com o objetivo de descrever a curva de crescimento em altura das árvores dominantes em função da idade, encontram-se na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 – Coeficientes e estatísticas das equações para descrever a altura das árvores dominantes de *Pinus taeda* L. em função da idade.

Função	Parâmetros			Estatísticas		
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F
Schumacher	26,3061	-112,7857	-	0,9158	9,60	3783,8
Backmann	-0,9730	2,1500	-0,2577	0,9844	1,80	11004,8
Backmann mod.	-	1,2841	-0,0705	0,9996	2,05	421854,0
Prodan	1,5892	0,3879	0,0189	0,9806	4,62	60431,1
Richards	32,6002	0,0814	1,4990	0,9804	4,64	59738,7
Gram	-7,7940	6,8433	0,5649	0,9807	4,60	8821,0

Onde: *O modelo em negrito foi o escolhido; b_j = parâmetros da equação; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; CV(%) = coeficiente de variação; F = valor de F calculado para o modelo.

As equações ajustadas, sem considerar as idades de 1 a 4 anos, mostraram bom ajuste, pois mesmo se tratando de árvores plantadas em espaçamentos distintos, o crescimento mostrou-se homogêneo. Tal fato pode ser comprovado pelo alto coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), acima de 0,98 para a maioria dos modelos testados, e pelo coeficiente de variação entre 1,8% até 9,6% (Tabela 3.5).

Dentre os modelos testados, o de Backmann sem intercepto e com intercepto mostraram as melhores estatísticas, mas o modelo escolhido foi o Backmann com intercepto, pois apresentou melhor distribuição de resíduos. Para evitar erros na escolha do modelo para estimar a altura dominante, foi verificada a significância dos modelos por tratamentos de forma individual. A análise gráfica da distribuição de resíduos confirmou a escolha (Figura 3.3).

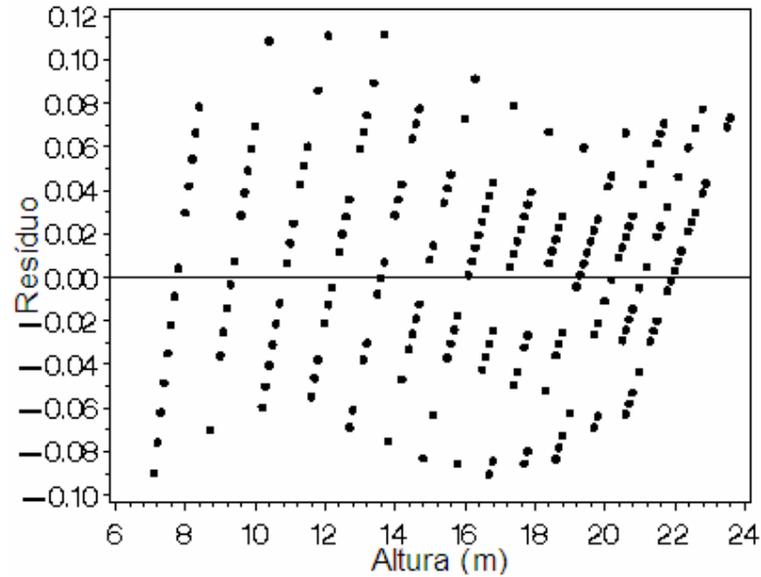


FIGURA 3.3 – Distribuição de resíduos do modelo de Backmann para as árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

O crescimento em altura estimado pela função de Backmann mostrou um bom ajuste dos dados observados como pode ser visualizado na Figura 3.4, onde a curva que representa a estimativa passa bem no meio dos dados observados.

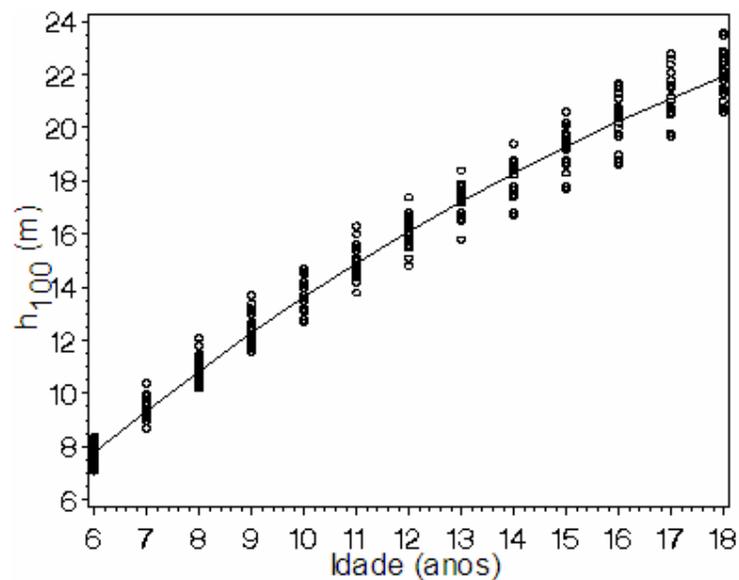


FIGURA 3.4 – Estimativa do modelo de Backmann para o crescimento em altura de árvores dominantes (h_{100}), de *Pinus taeda* L. em relação aos dados observados, nos diferentes espaçamentos.

O ajuste e a precisão obtida pela equação de Backmann, no presente estudo, foram superiores ao obtido por Da Costa (2008) para uma floresta jovem de *Pinus taeda* L., localizada na região de Santo Tomé (Corrientes - Argentina), com o modelo de Backmann com coeficiente de determinação ajustado de 0,89, e coeficiente de variação de 5,9%. Esse valor foi também superior ao encontrado por Tonini et al. (2006), para *Eucalyptus saligna* Smith, que selecionaram a equação de Backmann, com coeficiente de determinação variando para os clones estudados entre 0,73 e 0,96, e coeficiente de variação entre 8,6 e 16,7%.

Por outro lado, assemelha-se à precisão obtida por Selle (1993) e Tonini (2000), onde a equação de Richards com 3 coeficientes obteve valor de 99% de coeficiente de determinação e um coeficiente de variação menor que 3%.

A análise de covariância foi aplicada aos dados de altura e idade foi realizada com o modelo de Backmann. Os resultados apresentados na Tabela 3.6 indicam que não houve diferença de alturas entre os espaçamentos, como pode ser observado pela significância de F para a interação logaritmo neperiano da idade pelos tratamentos (LNT*TR). Da mesma forma o valor de F para o tratamento não foi significativo (probabilidade de $F > 0,1893$), podendo-se usar uma equação geral para descrever o crescimento em altura das árvores dominantes.

TABELA 3.6 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação da curva de crescimento em altura dominante por espaçamento em árvores de *Pinus taeda* L.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	18	50,50987463	2,80610415	1576,97	<0,0001
LNT	1	1,55316505	1,55316505	872,85	<0,0001
LN2T	1	0,47925950	0,47925950	269,33	<0,0001
Tratamento (TR)	8	0,02013284	0,00251660	1,41	0,1893
LNT * TR	8	0,01982823	0,00247853	1,39	0,1984
Erro	330	0,58720951	0,00177942		
Total	348	51,09708414			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr > F = probabilidade de significância para F; LNT=logaritmo neperiano da idade.

Estes resultados demonstram que o crescimento da altura das árvores dominantes foi igual em todos os espaçamentos, ou seja, o sítio era homogêneo e o espaçamento não influenciou o crescimento em altura das árvores.

3.4.1.2 Descrição do crescimento da altura da árvore do extrato médio por regressão

Os parâmetros e estatísticas das equações ajustadas com o objetivo de descrever a curva de crescimento em altura das árvores do extrato médio em função da idade encontram-se na Tabela 3.7.

TABELA 3.7 – Coeficientes e estatísticas das equações para descrever a altura das árvores do extrato médio de *Pinus taeda* L. em função da idade.

Função	Parâmetros			Estatísticas		
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F
Schumacher	23,8810	-103,6809	-	0,8933	11,09	2756,2
Backmann	-1,0224	2,0683	-0,2349	0,9704	2,65	5388,7
Backmann mod.	-	1,1599	-0,0387	0,9992	2,86	206049,0
Prodan	1,9905	0,4137	0,0210	0,9616	6,70	27405,1
Richards	29,4721	0,0837	1,5639	0,9614	6,68	27426,4
Grann	-6,9376	5,8710	0,5594	0,9608	6,72	4031,8

Onde: *O modelo em negrito foi o escolhido; b_j = parâmetros da equação; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; CV(%) = coeficiente de variação; F = valor de F calculado para o modelo.

De acordo com as estatísticas de ajuste e precisão determinadas para os cinco modelos testados, o coeficiente de determinação variou entre 0,8933 e 0,9992 e o coeficiente de variação entre 2,65 e 11,09%. As melhores estatísticas novamente indicaram os modelos de Backmann sem intercepto e com intercepto, sendo, entretanto, o modelo com intercepto, selecionado por ter apresentado melhor distribuição de resíduos.

A análise gráfica dos valores residuais em relação à variável dependente altura média confirmou a seleção do modelo de Backmann (Figura 3.5).

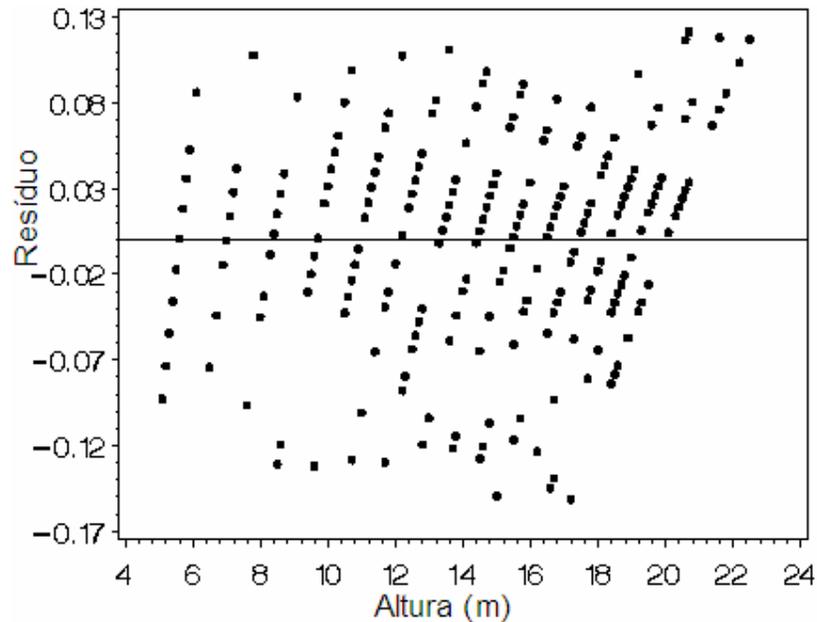


FIGURA 3.5 – Distribuição de resíduos do modelo de Backmann para estimativa das alturas em árvores de *Pinus taeda* L. do extrato médio.

A distribuição dos dados observados em relação aos estimados pelo modelo de Backmann mostrou um bom ajuste, onde a curva simboliza o ajuste do modelo passando pelo meio dos dados (Figura 3.6).

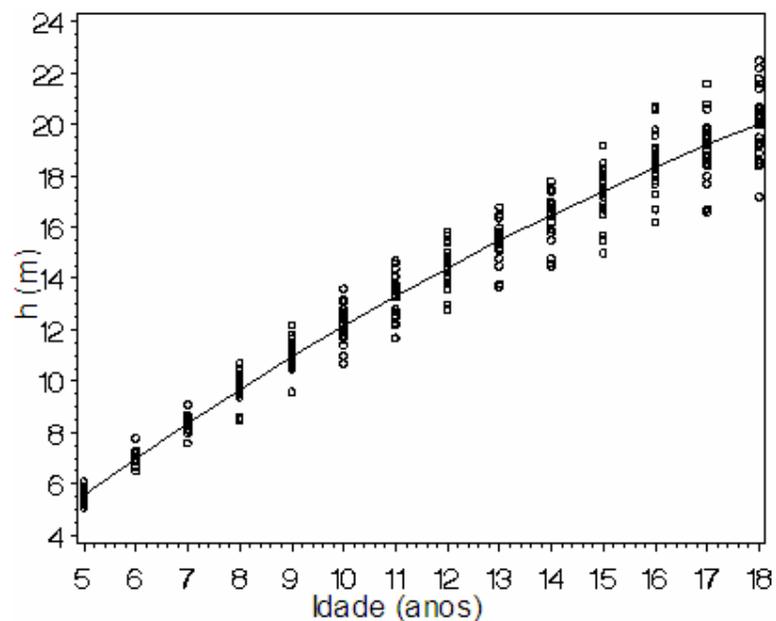


FIGURA 3.6 – Dados observados e ajustados pelo modelo de Backmann para a altura das árvores de *Pinus taeda* L. do extrato médio.

Para verificar se houve influência dos espaçamentos sobre o crescimento em altura nas árvores do extrato médio foi, feita por análise de covariância com o modelo de Backmann. Os resultados da Tabela 3.8 indicaram diferença de alturas entre os tratamentos, com um valor de F igual a 6,96, significativo a uma probabilidade menor que 0,0001. Da mesma forma, houve diferença expressiva na interação do logaritmo neperiano da idade com os tratamentos (LNT*TR), com um valor de F igual a 5,23, significativo a uma probabilidade menor que 0,0001, indicando que o crescimento em altura varia com os diferentes espaçamentos, mostrando curvas de crescimento com nível e inclinação diferentes.

TABELA 3.8 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação da curva de crescimento em altura das árvores do extrato médio por espaçamento para *Pinus taeda* L.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	18	49,24162939	2,73564608	921,93	<,0001
LNT	1	1,28087255	1,28087255	431,66	<,0001
LN2T	1	0,34565630	0,34565630	116,49	<,0001
Tratamento (TR)	8	0,16518229	0,02064779	6,96	<,0001
LNT * TR	8	0,12424037	0,01553005	5,23	<,0001
Erro	311	0,92282701	0,00296729		
Total	329	50,16445640			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr > F = probabilidade de significância para F; LNT=logaritmo neperiano da idade.

De acordo com as interações calculadas pela análise de covariância, foi possível determinar dois grupos, de crescimento homogêneo; o grupo I formado pelos espaçamentos 1,5 x 1,0; 2,0 x 1,0 e 2,5 x 1,0 m; e o grupo II formado pelos espaçamentos 1,5 x 2,0; 1,5 x 3,0; 2,0 x 2,0; 2,0 x 3,0; 2,5 x 2,0 e 2,5 x 3,0 m. Os coeficientes do modelo selecionado foram recalculados em função de cada grupo formado (Tabela 3.9), apresentando coeficientes de determinação altos, acima de 0,97 e coeficiente de variação pouco menor que o calculado para o conjunto de dados únicos.

TABELA 3.9 – Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados por grupo de espaçamentos para descrever a altura das árvores do extrato médio de *Pinus taeda* L.

Grupo	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F	Prob>F
1	-0,9119	1,9721	-0,2204	0,9724	2,43	706,54	<0,0001
2	-1,0182	2,0777	-0,2393	0,9949	1,10	3992,93	<0,0001

Onde: b_j = parâmetros da equação; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; CV(%) = coeficiente de variação; F = valor de F calculado para o modelo.

Os resíduos calculados para o ajuste dos dados do grupo I e II mostrou pequena dispersão dos dados, principalmente no grupo II (Figura 3.7).

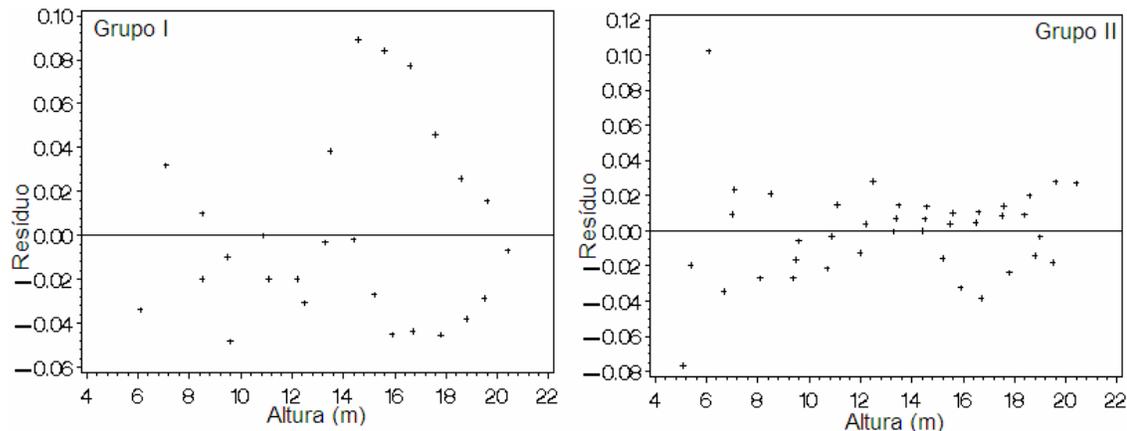


FIGURA 3.7 – Distribuição de resíduos para os grupos formados para a altura da árvore de *Pinus taeda* L. do extrato médio (onde Grupo I formado pelos espaçamentos 1,5x1,0 m; 2,0x1,0 m e 2,5x1,0 m e Grupo II composto por 1,5x2,0 m, 1,5x3,0 m; 2,0x2,0 m; 2,0x3,0 m; 2,5x2,0 m e 2,5x3,0 m).

O desenvolvimento da curva gerada para os dados do grupo I ficou abaixo da curva do grupo II, conforme Figura 3.8, resultado esperado em função do espaço disponível para o crescimento de cada planta.

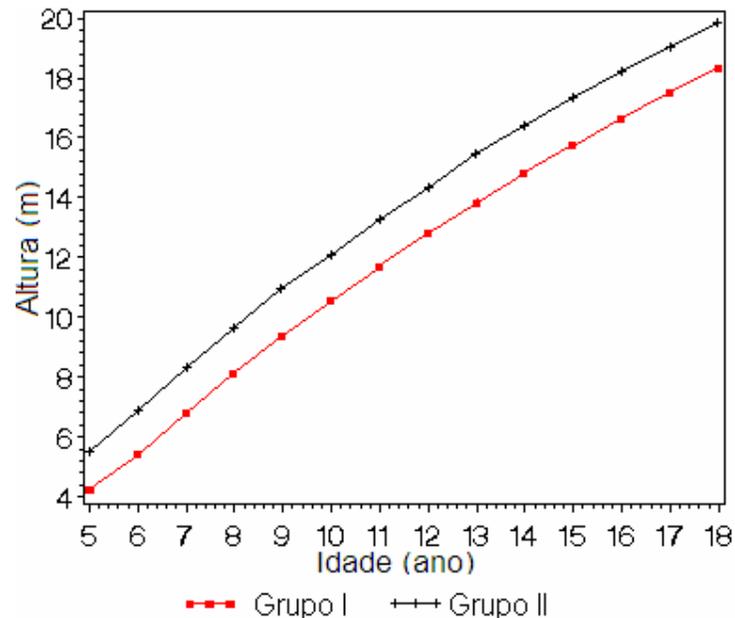


FIGURA 3.8 – Tendências dos grupos formados para descrever o crescimento em altura das árvores do extrato médio (Grupo I espaçamentos 1,5 x 1,0 m, 2,0 x 1,0 m e 2,5 x 1,0 m e Grupo II 1,5 x 2,0 m, 1,5 x 3,0 m, 2,0 x 2,0 m, 2,0 x 3,0 m, 2,5 x 2,0 m e 2,5 x 3,0 m).

O padrão do crescimento em altura das árvores dominantes indicou homogeneidade do sítio em que foi instalado o experimento. Não houve influência significativa do espaçamento na altura dessas árvores, o que já era esperado.

Esse comportamento contrasta com aquele das árvores do extrato médio, cujo crescimento em altura foi influenciado pelas densidades de plantio. Dois grupos foram formados: no primeiro cujos espaçamentos eram muito reduzidos o crescimento em altura foi menor do que, das do segundo grupo com os espaçamentos médios a amplos. Esse comportamento pode estar associado à competição entre plantas ter se estabelecido antes da elevada taxa de mortalidade natural nos menores espaçamentos, o que pode ter levado a uma estagnação prematura do crescimento em altura.

3.4.2 Crescimento em diâmetro em função dos espaçamentos

3.4.2.1 Descrição do crescimento em diâmetro da árvore dominante por regressão

As equações testadas apresentaram um coeficiente de determinação com valores desde 0,8085 até 0,9988, valores de F de 785,80 até 141978,0, com coeficiente de variação entre 3,51 até 11,92% (Tabela 3.10).

TABELA 3.10 – Ajuste dos modelos para descrever o crescimento em diâmetro das árvores dominantes em função da idade para povoamentos de *Pinus taeda* L.

Função	Coeficientes			Estatísticas		
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F
Schumacher	30,9993	-107,1494	-	0,8085	10,92	1469,87
Backmann	-0,3018	2,2144	-0,3430	0,8581	3,51	1052,94
Backmann mod.	-	1,9457	-0,2848	0,9988	3,52	141978
Prodan	1,0721	0,0975	0,0302	0,8194	10,64	10801,5
Richards	27,8598	0,1654	1,6294	0,8188	10,65	10770,0
Grann	-13,2773	16,2368	-0,4395	0,8185	10,63	785,80

Onde: *O modelo em negrito foi o escolhido; b_j = parâmetros da equação; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; CV(%) = coeficiente de variação; F = valor de F calculado para o modelo.

Dentre as equações testadas, o modelo de Backmann modificado foi selecionado para representar a curva do crescimento em função da idade, também apresentou os melhores parâmetros usados para a escolha do modelo. A análise do gráfico de resíduos também mostrou distribuição regular dos resíduos (Figura 3.9) justificando a seleção do modelo.

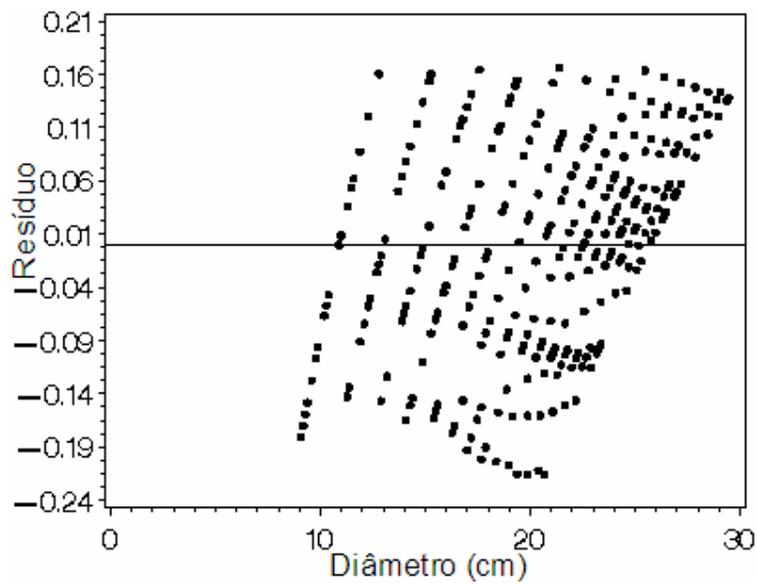


FIGURA 3.9 – Dispersão dos resíduos da equação de Backmann modificado para o crescimento em diâmetro das árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

O crescimento em diâmetro estimado pela função de Backmann modificado mostrou um bom ajuste sobre os dados observados como pode ser visualizado na Figura 3.10.

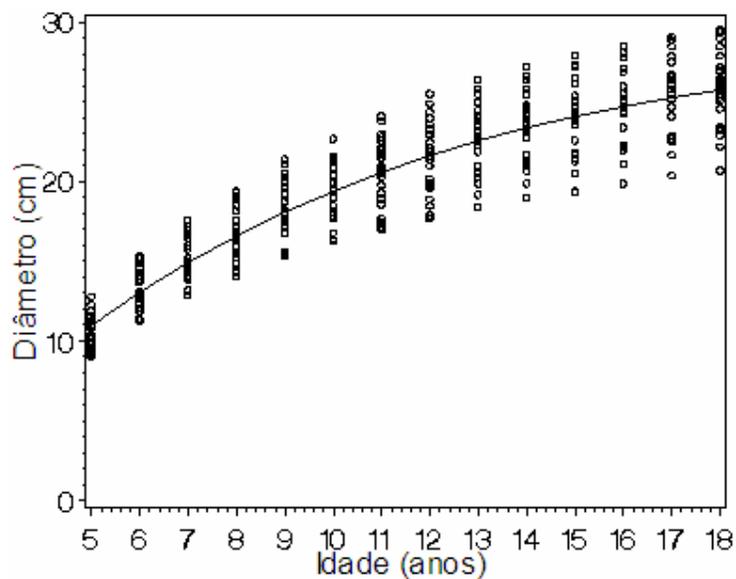


FIGURA 3.10 – Comportamento dos dados observados e estimados pelo modelo de Backmann (sem intercepto) para o crescimento em diâmetro das árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

A análise de covariância para avaliar o efeito do espaçamento sobre o crescimento em diâmetro das árvores dominantes foi feita a partir do modelo de Backmann com intercepto. Salienta-se que para fazer a verificação e separação entre dados (caso da análise de covariância), pode-se usar outro modelo diferente do usado para fazer a estimativa dos dados.

A análise de covariância para os diâmetros das árvores dominantes obtidos através da análise de tronco, nos diferentes espaçamentos (Tabela 3.11) indicaram diferença de diâmetros entre os tratamentos, com um valor de F igual a 2,55, significativo a uma probabilidade de 0,0103. Igualmente, houve diferença significativa na interação do logaritmo neperiano da idade com o tratamento (LNT*TR), com um valor de F igual a 3,88 significativo a uma probabilidade de 0,0002, indicando que o crescimento em diâmetro varia com os espaçamentos, embora fracamente.

TABELA 3.11 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação das curvas de crescimento em diâmetro por espaçamento em árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	18	24,65241500	1,36957861	221,89	<0,0001
LNT	1	1,57383837	1,57383837	254,98	<0,0001
LN2T	1	0,78866448	0,78866448	127,77	<0,0001
Tratamento (TR)	8	0,12615306	0,01576913	2,55	0,0103
LNT*TR	8	0,19147186	0,02393398	3,88	0,0002
Erro	330	2,03686056	0,00617230		
Total	348	26,68927559			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados tipo III; QM = quadrado médio; Pr > F = probabilidade de significância para F; LNT= logaritmo neperiano da idade; LN2T = logaritmo neperiano ao quadrado da idade;

O resultado da Tabela 3.11 mostrou a necessidade de se separar os tratamentos. Sendo assim, a comparação das curvas entre os tratamentos mostrou existência de 3 grupos homogêneos sendo eles: grupo I formado pelo espaçamento 1,5 x 1,0 m; grupo II composto dos espaçamentos 1,5 x 2,0; 2,0 x 1,0; 2,0 x 2,0 e 2,5 x 1,0 m, e o grupo III formado pelos espaçamentos 1,5 x 3,0; 2,0 x 3,0; 2,5 x 2,0 e 2,5 x 3,0 m. As equações recalculadas segundo os grupos formados foram reunidas na Tabela 3.12.

TABELA 3.12 – Equações recalculadas para os grupos formados para descrever o crescimento em diâmetro das árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

Grupo	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F	Prob>F
1	0,2098	1,8332	-0,2911	0,7172	4,37	52,98	<0,0001
2	0,0480	1,8615	0,2641	0,8532	3,65	120,16	<0,0001
3	-0,1579	2,1653	-0,3242	0,9511	1,90	263,53	<0,0001

Onde: b_j = parâmetros da equação; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; CV(%) = coeficiente de variação; F = valor de F calculado para o modelo.

O comportamento gráfico dos grupos homogêneos foi representado na Figura 3.11 e mostra que a curva representada pelos maiores espaçamentos (grupo III) passou acima das demais, indicando que quanto maior a área disponível por planta, maior foi o crescimento em diâmetro. Já o grupo II representa os espaçamentos intermediários, sendo superior ao diâmetro do espaçamento 1,5 x 1,0 m (grupo I).

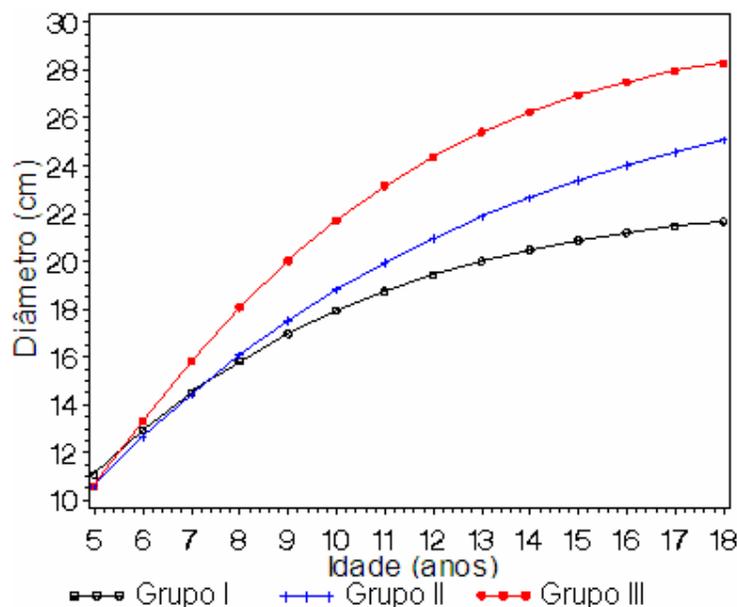


FIGURA 3.11 – Curvas de crescimento em diâmetro das árvores dominantes, para os três grupos formados (onde Grupo I: espaçamento 1,5 x 1,0 m; Grupo II espaçamentos 1,5 x 2,0, 2,0 x 1,0, 2,0 x 2,0 e 2,5 x 1,0 m e Grupo III 1,5 x 3,0, 2,0 x 3,0, 2,5 x 2,0, 2,5 x 3,0 m).

3.4.2.2 Crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio por regressão

Na Tabela 3.13, encontram-se os resultados estatísticos das cinco equações testadas para estimar o diâmetro em função da idade nas árvores do extrato médio. De acordo com as estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados, o coeficiente de determinação variou entre 0,4958 e 0,9969 e o coeficiente de variação de 5,6 a 14,9%.

TABELA 3.13 – Ajuste dos modelos para descrever o crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio em função da idade para povoamentos de *Pinus taeda* L.

Função	Coeficientes			Estatísticas		
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F
Schumacher	19,3257	-50,3058	-	0,4976	14,8	304,0
Backmann	0,1616	1,7672	-0,2978	0,5466	5,6	185,4
Backmann mod.	-	1,9109	-0,3288	0,9969	5,6	49249,8
Prodan	1,1816	0,0188	0,0561	0,4994	14,8	4737,5
Richards	16,7565	0,2364	1,5734	0,4958	14,9	4734,2
Gram	-5,6611	11,0853	-0,5554	0,4958	14,9	151,4

Onde: *O modelo em negrito foi o escolhido; b_j = parâmetros da equação; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; CV(%) = coeficiente de variação; F = valor de F calculado para o modelo.

O modelo selecionado foi o de Backmann sem intercepto por apresentar as melhores estatísticas. A análise da dispersão dos valores residuais em relação à variável dependente diâmetro confirmou a seleção do modelo (Figura 3.12).

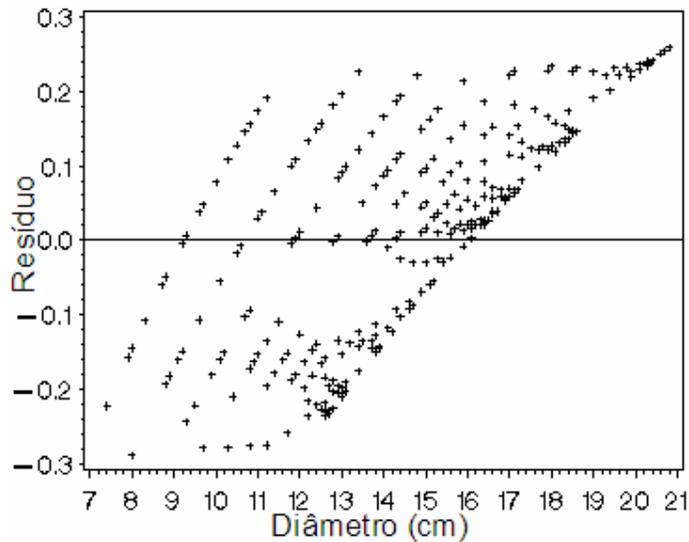


FIGURA 3.12 – Dispersão dos resíduos da equação de Backmann modificado para o crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio.

Os dados de diâmetro observado e diâmetro estimado pelo modelo de Backmann modificado para *Pinus taeda* L. apresentados na Figura 3.13 comprovaram o bom ajuste da equação de regressão que acompanhou a tendência de crescimento dos dados da análise de tronco, o que juntamente com as medidas de precisão o caracteriza como um bom modelo para descrever o crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio para este estudo.

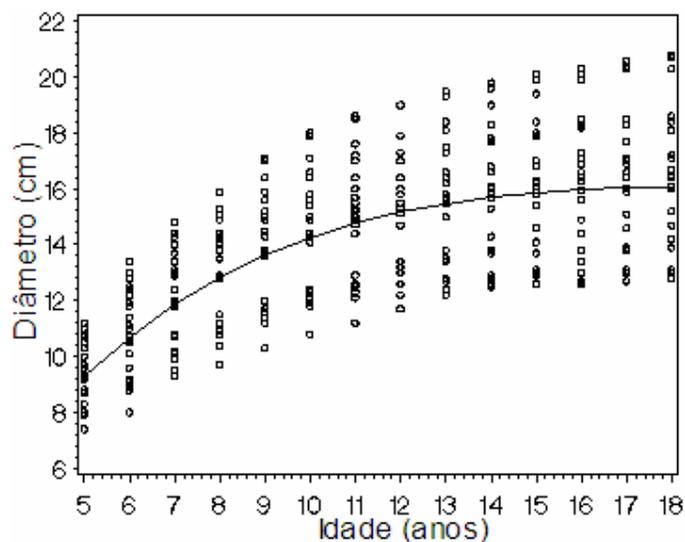


FIGURA 3.13 – Relação do crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio com a idade em relação à estimativa do modelo de Backmann modificado para *Pinus taeda* L.

O efeito do espaçamento sobre o crescimento em diâmetro avaliado a partir do modelo de Backmann com intercepto gerado pela análise de covariância (Tabela 3.14), indicaram diferença significativa no crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio entre os tratamentos de espaçamentos, com um valor de F igual a 6,03, significativo a uma probabilidade menor que 0,0001. De mesma forma a interação entre o logaritmo neperiano da idade com os tratamentos (LNT*TR) foi significativa, com um valor de F igual a 5,20, significativo a uma probabilidade menor que 0,0001, indicando que o crescimento em diâmetro variou com os espaçamentos, tanto em nível como em inclinação da curva de crescimento.

TABELA 3.14 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação do crescimento em diâmetro por espaçamento em árvores do extrato médio de *Pinus taeda* L.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	18	13,70786995	0,76154833	222,11	<0,0001
LNT	1	0,92792266	0,92792266	270,63	<0,0001
LN2T	1	0,55636625	0,55636625	162,7	<0,0001
Tratamento (TR)	8	0,16552313	0,02069039	6,03	<0,0001
LNT*TR	8	0,14265275	0,01783159	5,20	<0,0001
Erro	288	0,98746438	0,00342870		
Total	306	14,69533433			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr > F = probabilidade de significância para F; LNT = logaritmo neperiano da idade; LN2T = logaritmo neperiano ao quadrado da idade.

Com base nas interações calculadas pela análise de covariância foi possível a determinação de três grupos homogêneos sendo: o grupo I composto pelo espaçamento 2,0 x 1,0 m; o grupo II com os espaçamentos 1,5 x 1,0; 1,5 x 2,0; 2,5 x 1,0; 2,0 x 2,0 e 2,5 x 2,0 m; e os espaçamentos 1,5 x 3,0; 2,0 x 3,0 e 2,5 x 3,0 m integram o grupo III.

As equações recalculadas em função da composição dos novos grupos e os coeficientes e estatísticas (Tabela 3.15) apresentaram coeficiente de variação baixo, menores que 3,4% e coeficiente de determinação alto, de 0,70 a 0,98.

TABELA 3.15 – Coeficientes e estatísticas das equações recalculadas para os grupos formados para descrever o crescimento em diâmetro das árvores de *Pinus taeda* L. do extrato médio.

Grupo	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F	Prob>F
1	0,2896	1,6585	-0,2953	0,7002	3,31	48,08	<0,0001
2	-0,0962	2,0144	-0,3431	0,9376	1,74	308,91	<0,0001
3	-0,3986	2,3942	-0,4205	0,9826	0,92	761,45	<0,0001

Onde: b_j = parâmetros da equação; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; CV(%) = coeficiente de variação; F = valor de F calculado para o modelo.

As curvas de crescimento dos três grupos mostraram o grupo III com os maiores diâmetros, influenciado pelo maior espaço entre plantas. No grupo II, o crescimento foi intermediário, não obedecendo à tendência lógica com o espaço disponível, tendo uma variação de 1,5 x 1,0 até 2,5 x 2,0 m. Nesta posição era esperado que o espaçamento 2,5 x 2,0 e 2,0 x 2,0 m, formassem outro grupo, ou se unissem ao grupo III.

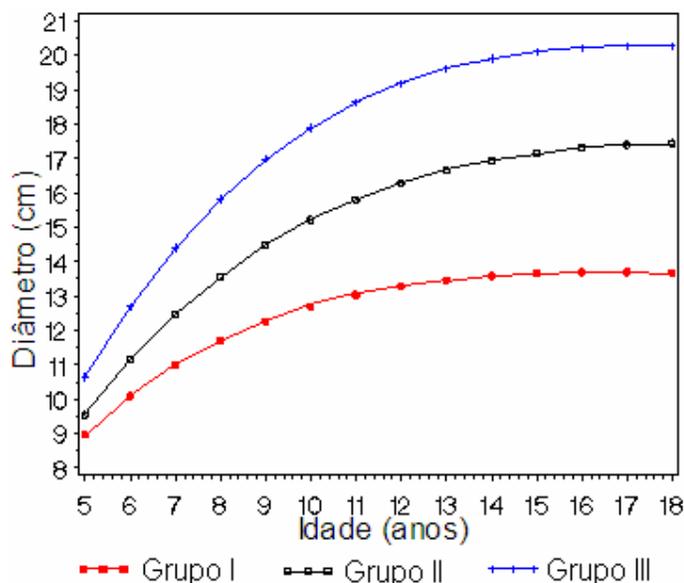


FIGURA 3.14 – Tendências dos grupos formados para descrever o crescimento em diâmetro em função da idade em árvores do extrato médio (onde Grupo I 2,0 x 1,0 m; Grupo II espaçamentos 1,5 x 1,0, 1,5 x 2,0, 2,5 x 1,0, 2,0 x 2,0 e 2,5 x 2,0 m; e Grupo III espaçamentos 1,5 x 3,0, 2,0 x 3,0 e 2,5 x 3,0 m).

O crescimento em diâmetro tanto das árvores do extrato médio como as dominantes foram influenciadas pelos espaçamentos. Para as dominantes o agrupamento apresentou relação direta com o espaço disponível por planta, já as árvores do extrato médio não seguiram a mesma tendência em relação ao espaço vital, isso pode ser explicado pela possibilidade da árvore selecionada e amostrada ter mudado de posição sociológica no decorrer do tempo.

3.4.3 Volume individual das árvores de *Pinus taeda* L.

Na Tabela 3.16 e Tabela 3.17, podem ser observados os coeficientes dos modelos estatísticos testados e o coeficiente de ajuste, precisão e significância de cada um para descrever o crescimento em volume individual em árvores de *Pinus taeda*.

As equações estudadas apresentam um coeficiente de determinação ajustado maior que 0,92, um coeficiente de variação entre -3,54 e 22%, com valores da estatística F altamente significativos. A análise mostrou que as equações 2, 3 e 4 são válidas para descrever o crescimento em volume individual para o conjunto de dados amostrados em função do diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total da árvore (h).

TABELA 3.16 – Coeficientes dos modelos para descrever o volume individual em árvores dominantes e do extrato médio em função da idade para povoamentos de *Pinus taeda* L.

Função	Parâmetros				
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
Schumacher	-0,39225	0,02564	0,01073	-	-
Spurr	0,00447	0,00004	-	-	-
Spurr Log.	-5,74184	0,25990	-	-	-
Schumacher Log	-9,86415	1,92067	0,98561	-	-
I.B.M	3,41527	-1,33310	0,32030	-1,65189	0,01551

Onde: *O modelo em negrito foi o selecionado; b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 = coeficientes.

TABELA 3.17 – Estatísticas dos modelos testados para volume individual em árvores dominantes e do extrato médio em função da idade para *Pinus taeda* L.

Função	Estatísticas			
	R ² aj.	Syx	CV (%)	F
Schumacher	0,9211	0,049	21,66	3846,33
Spurr	0,9918	0,015	6,97	79944,2
Spurr Log.	0,9724	0,135	-7,50	23622,0
Schumacher Log	0,9938	0,063	-3,54	51830,5
I.B.M	0,9624	0,034	14,95	4216,49

Onde: *O modelo em negrito foi o selecionado. R²aj. = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx}= erro padrão da estimativa; CV (%) = coeficiente de variação; F = valor de F calculado para o modelo.

O modelo de Schumacher logaritimizado que mesmo sem apresentar a maior estatística de F, apresentou a melhor distribuição de resíduos (Figura 3.15). A análise gráfica de dispersão de resíduos ratificou essa seleção. Observou-se, entretanto maior dispersão dos valores residuais nas menores classes diamétricas, mas também sem haver tendência na dispersão.

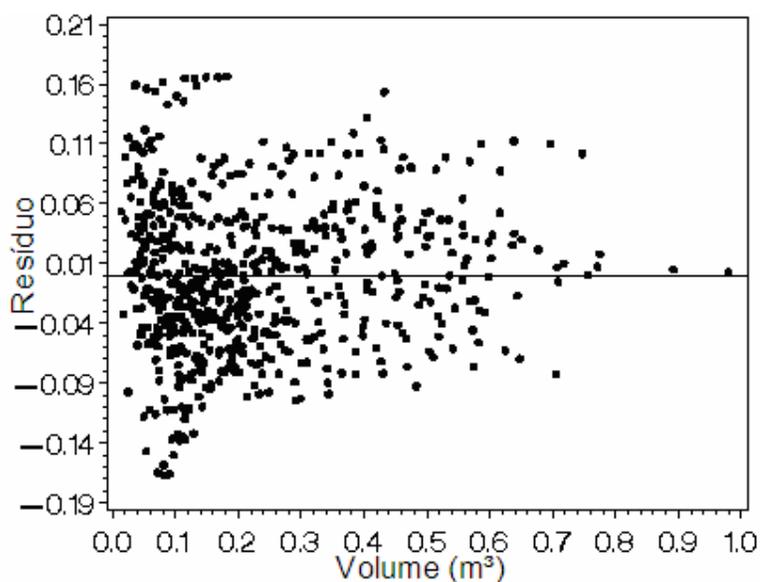


FIGURA 3.15 – Distribuição de resíduos da equação de volume proposta por Schumacher logaritimizado para árvores dominantes e do extrato médio de *Pinus taeda* L.

A Figura 3.16 mostra a boa flexibilidade da equação selecionada na obtenção de volume individual observado, tendo ocorrido sobreposição dos valores observados e estimados em toda a amplitude dos dados observados.

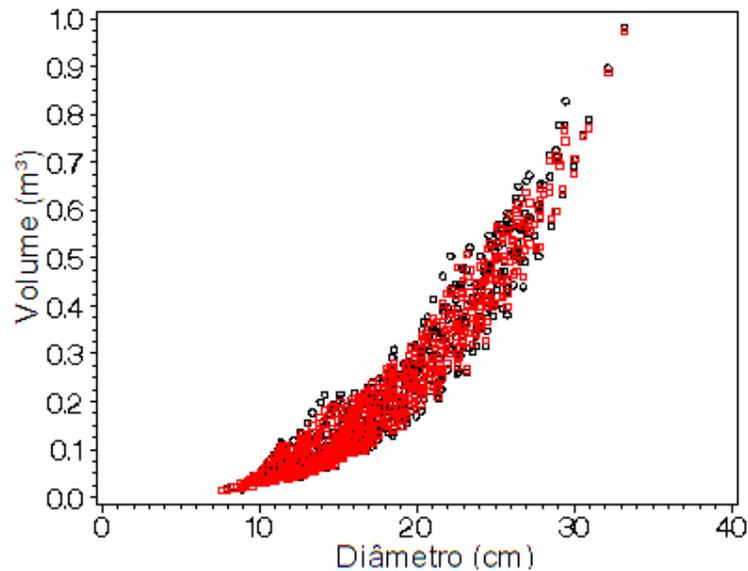


FIGURA 3.16 – Valores de volume observados em função do estimado pelo modelo de Schumacher logaritmizado para árvores de *Pinus taeda* L.

A dispersão dos volumes calculados segundo os valores de diâmetro e altura das árvores amostradas encontra-se na Figura 3.17, representada pelo diâmetro entre 7 e 34 cm e alturas até 25 m. Valores de diâmetro menores de 7 cm foram excluídos dos dados, ao se definir o estudo para as árvores com idade superior a 4 anos.

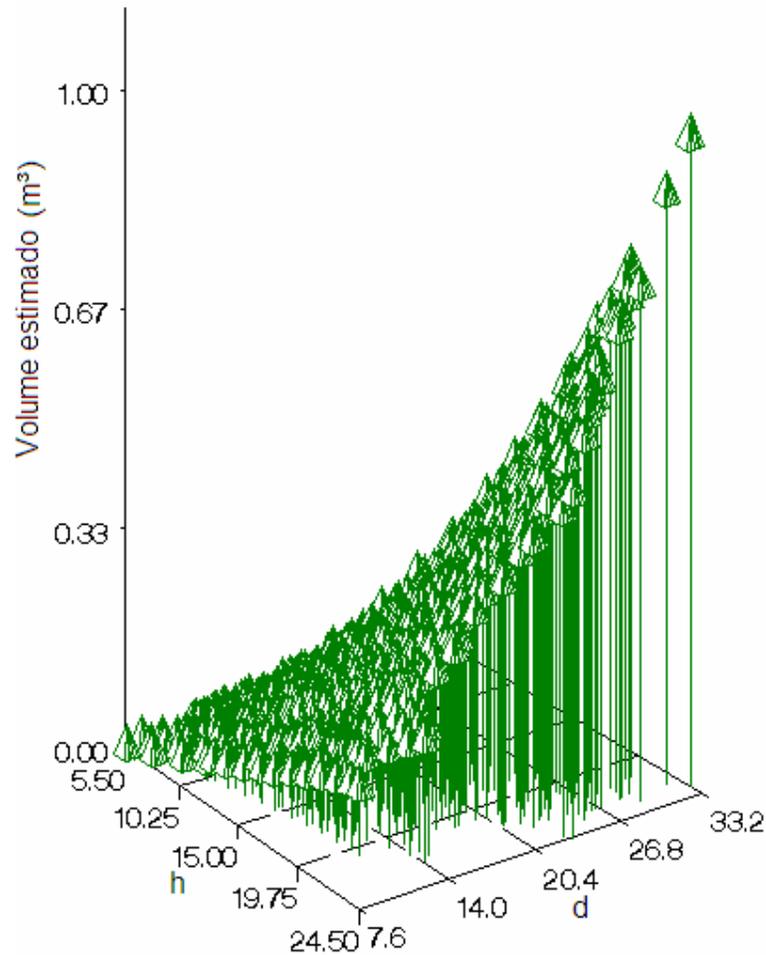


FIGURA 3.17 – Comportamento do volume estimado para as árvores de *Pinus taeda* L. pelo modelo de Schumacher logaritmizado.

A análise de covariância (Tabela 3.18), indicou alta significância para o conjunto dos dados, com um valor de F igual a 6457,87, para uma probabilidade $<0,0001$. O mesmo ocorreu entre os tratamentos de espaçamentos utilizados, com um valor de F igual a 7,25, mas com uma probabilidade $<0,0001$, indicando haver diferença de nível entre as curvas de volume em função das variáveis independentes (altura e diâmetro).

Da mesma forma, a interação tratamento com a variável independente (logaritmo neperiano do diâmetro) apresentou um valor de F igual a 6,70, significativo a uma probabilidade $<0,0001$, mostrando que as curvas de regressão também apresentam inclinações diferentes com a variação do espaçamento (Tabela 3.18).

TABELA 3.18 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação por espaçamento no volume individual em árvores dominantes do extrato médio de *Pinus taeda* L.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	18	406,98399610	22,61022200	6457,9	<0,0001
Tratamento (TR)	8	0,20307213	0,02538402	7,3	<0,0001
LND	1	75,68684382	75,68684382	21617,5	<0,0001
LNH	1	29,44429692	29,44429692	8409,8	<0,0001
LND*TR	8	0,18773754	0,02346719	6,7	<0,0001
Erro	630	2,20574740	0,00350120		
Total	648	409,18974350			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr > F = probabilidade de significância para F; LND = logaritmo neperiano do diâmetro; LNH = logaritmo neperiano da altura.

Esses resultados indicaram variação do volume individual das árvores dominantes e do extrato médio, pois apresentaram comportamento diferenciado nos espaçamentos testados, e que devem ser descritos por curvas distintas.

Utilizando o modelo selecionado, os dados de volume foram relacionados com os espaçamentos e submetidos à análise de regressão como o emprego da variável Dummy (Tabela 3.19).

Os valores apresentados para a equação básica indicaram que o diâmetro e altura foram altamente significativos, com probabilidade menor que 0,0001, e as variáveis Dummy D1 a D9, definidas para os tratamentos de espaçamentos de 1 a 9, mostraram-se diferentes quanto à significância.

As variáveis D1 e D6 apresentaram significância, com probabilidade de 0,0052 e 0,0002, respectivamente, indicando a necessidade de considerá-las na equação de volume. Essas tiveram a função de corrigir a diferença de nível e das curvas de volume nos diferentes espaçamentos.

A interação da variável independente (LND) com a variável Dummy, que testou a hipótese da semelhança de inclinação das curvas de volume, só mostrou diferença significativa na interação com D1, com uma probabilidade menor que 0,0001. As demais interações não foram significativas, sendo então desconsideradas no ajuste do modelo de regressão.

TABELA 3.19 – Análise de covariância da equação de volume em função do diâmetro e da altura com variável Dummy (tipo SS1), definida pelo tratamento de espaçamento.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	18	594,9568	33,0531	6870,42	<0,0001
Variável independente (LND)	1	553,3268	553,3268	115014	<0,0001
Variável independente (LNH)	1	41,1519	41,1519	8553,84	<0,0001
D1	1	0,0377	0,0377	7,85	0,0052
D2	1	0,0029	0,0029	0,61	0,4350
D3	1	0,0013	0,0013	0,29	0,5916
D4	1	0,0022	0,0022	0,47	0,4947
D5	1	0,0076	0,0076	1,59	0,2081
D6	1	0,0695	0,0695	14,44	0,0002
D7	1	0,0070	0,0070	1,47	0,2258
D8	1	0,0174	0,0174	3,62	0,0574
D9	0	0,0000	0,0000		
LND*D1	1	0,1098	0,1098	22,82	<0,0001
LND*D2	1	0,0047	0,0047	0,92	0,3387
LND*D3	1	0,0032	0,0032	0,63	0,4260
LND*D4	1	0,0107	0,0107	2,23	0,1362
LND*D5	1	0,0131	0,0131	2,56	0,1100
LND*D6	1	0,0025	0,0025	0,49	0,4831
LND*D7	1	0,0168	0,0168	3,50	0,0616
LND*D8	1	0,0000	0,0004	0,01	0,9293
LND*D9	0	0,0000			
Erro	688	3,3099237	0,0048109		
Total	706	598,26671			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; D_{tr} = tratamentos de espaçamentos (Dummy); LND*D_{tr} = interação tratamento (Dummy) com a variável independente diâmetro.

Desta forma, para a equação com variáveis Dummy, o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) apresentou valor igual a 0,9939; coeficiente de variação de -3,7%. Assim, o modelo genérico para estimar o volume individual em função do diâmetro e da altura das árvores nos espaçamentos testados, passa a ser expresso por:

$$v = \exp(-9,641887 + 1,892160 \ln d + 0,936853 \ln h - 0,402669 D1 - 0,018098 D6 + 0,138808(\ln d * D1))$$

Onde: v = volume individual (m³); d = diâmetro à altura do peito (cm); h = altura (m); D1 = Dummy do espaçamento 1,5 x 1,0 m no tratamento 1; D6 = Dummy do espaçamento 2,0 x 3,0 m no tratamento 6.

Na Figura 3.18 verifica-se a distribuição dos dados observados, e o ajuste das equações de volume estimado pelo modelo de Schumacher logaritimizado e com as variáveis Dummy.

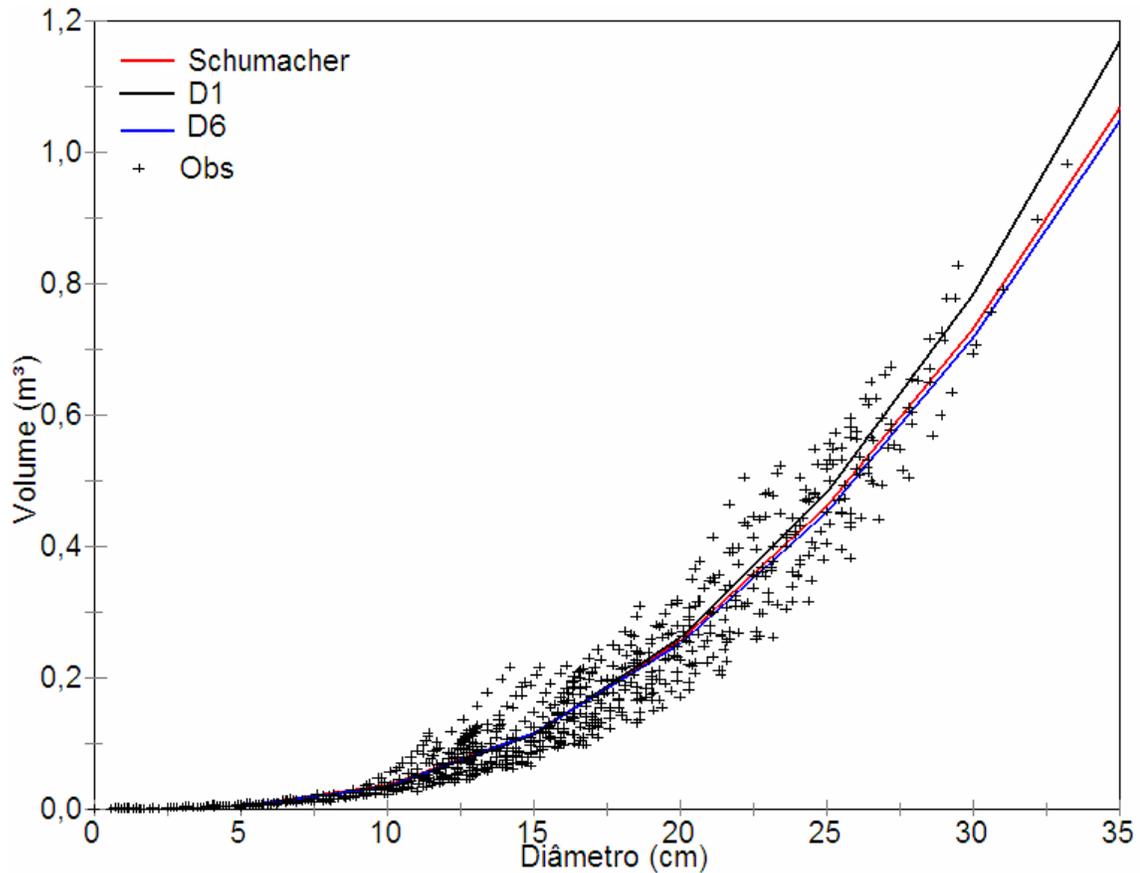


FIGURA 3.18 – Desenvolvimento das linhas de regressão das equações, para a estimativa do volume individual de árvores dominantes e do extrato médio de *Pinus taeda* L.

A análise gráfica da dispersão dos valores observados em torno das curvas mostrou estimativas muito próximas entre as três equações, a qual pode ser observada na Figura 3.18, onde verificou-se que a tendência dos dados estimados foi a mesma dos dados observados.

3.5 Conclusões

Os resultados do efeito do espaçamento no crescimento em diâmetro e altura e estimar o volume individual de *Pinus taeda* L. permitem concluir que:

- As curvas de altura, tanto nas árvores dominantes como nas do extrato médio, mostram homogeneidade de crescimento, com uma menor amplitude de variação nas curvas das árvores dominantes, mas ambas com crescimento monomórfico.
- Dentre os modelos testados, a equação de Backmann é a que melhor ajusta os dados do crescimento em altura das árvores do extrato médio e dominantes.
- O crescimento em altura de árvores dominantes não foi influenciado pelo espaçamento e pode ser expresso por uma equação geral para todas as árvores dessa classe.
- O crescimento em altura das árvores do extrato médio é afetado pelos espaçamentos, sendo mais pronunciado nos menores espaçamentos.
- A equação de Backmann modificada foi selecionada para descrever o crescimento em diâmetro para as árvores dominantes e do extrato médio.
- O espaçamento influencia significativamente no crescimento em diâmetro. Mesmo em árvores dominantes, os maiores diâmetros ocorreram nos espaçamentos maiores.
- O espaçamento entre plantas produziu efeito significativo no crescimento em diâmetro das árvores do extrato médio, indicando que se devem priorizar os espaçamentos que contemplem um maior espaço entre plantas do que do que entre linhas.

- O volume individual das árvores é estimado com precisão para o conjunto de dados de árvores dominantes e do extrato médio, apresentando valores influenciados pelo espaçamento, com curvas de inclinações e níveis diferentes.

3.6 Referências Bibliográficas

BLANCO, J. J.; RAMOS, L.; ROMERO, F.A. et al. Comportamiento de *Pinus tropicalis* en cinco espaciamientos de plantación en los suelos ferralíticos cuarcíticos amarillos de Viñales, Cuba. **Revista Forestal Baracoa**, v.18, n.2, p.21-30, 1988.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, v.2, n.3, p.129-49, 1971.

CAMPOS, J. C. C. H.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2002. 407 p.

COUTO, L.; BRANDI, R. M.; CONDÉ, A. R. Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla*, de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, v.1, n.2, p.57-71, 1977.

DA COSTA, L. P. E. **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes**, República Argentina. 2008. 128f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

DANIEL, T.W.; HELMS, J.A.; BACKER, F.S. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill, 1979. 492 p.

DAVIS, K.P. **Forest management, regulation and valuation**. USA: Mc Graw –Hill, 1966. 519 p.

DE SOUZA, D. R. **Efeito do espaçamento na produtividade volumétrica de madeira em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* até os 16 anos de idade.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1995.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Prácticas de plantación forestal en América Latina.** Roma, 1960.

FISHWICK, R. W. Estudo de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. Rio de Janeiro: **Brasil Florestal**, v.7, p. 13 – 23, 1976.

GARCIA E., L.; GUINDEO C., A., de PALACIOS., P. **Maderas de Coníferas: anatomia de gêneros.** Madrid: Fundación conde Del Valle de Salazar. 1996. 349 p.

HAAG, H.P. **Nutrição mineral de eucalyptus, pinus, araucaria e gmelina no Brasil.** Campinas, Fundação Cargill, 1983, 210 p.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; HERRERA-PONCE, R. **A cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 160 p., 2005.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Gimnospermas.** Santa Maria: Ed. UFSM, 1996. 158 p.

MELLO, H. A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J.; SIMÕES, J. W. Influência do espaçamento na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, v.2/3, p.3-30, 1971.

MORA, A. L. **Interação com espaçamento e locais em clones de *Eucalyptus* spp. no norte do Estado da Bahia.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986.

NAHUZ, M. A. R. Tendência do mercado de produtos florestais. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, n.78 p.10-18, 2004.

PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com espaçamento.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 192 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Estatística**. Disponível em: <www.sbs.org.br/estatistica>. Acesso em: 2 de setembro de 2005.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. **SBS dia a dia**. Disponível em: <www.sbs.org.br/estatistica>. Acesso em: 16 de maio de 2006.

SCHNEIDER, P. S. P. **Autodesbaste e diagrama de manejo da densidade em povoamentos de *Pinus taeda* L.** / 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1993. 348 p.

SCHÖNAU, A.P.G. The effect of planting spacing and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, n.88, p.16-23, 1974.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**. Lavras: FAEPE, 1994.

SELLE, G. L. **Influência dos fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L, na região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SIMÕES, J. W. et al. Crescimento e produção de madeira de eucalipto. **IPEF**,v.20, p.77-97, 1980.

TONINI, H. **Crescimento em altura de *Pinus elliottii*. Engelm. em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no Estado do Rio Grande do Sul**. 2000,113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do Sudeste, Rio Grande do Sul**. 2003, 289 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a depressão Central e serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 27-43, jan./ mar. 2006.

VALE, A. B.; PAIVA, H. N.; FELFILI, J. M. Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal. **Boletim Técnico SIF**, n.4, 1982. 20 p.

VALERI, S. V.; ISMAEL, J. J.; VALLE, C. F. Produção de madeira para celulose e energia de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos quatro anos de idade em função da densidade de plantio. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, 1997. v.3.

YARED, J. A. G.; LEITE, H. G.; SILVA, R. R. F. Volumetria e fator de forma de morotó (*Didymopanax morototonii* Aubl. Decne. et Planch.) sob diferentes espaçamentos. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, 1993. Curitiba, PR. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993.

YERO, L.; GONZALEZ, A; MOLINA, G.; TORRES, J. Y.; HERRERO, G. Estudio sobre el desarrollo del *Pinus maestrensis* Bajo Nueve, tipos de espacimientos en su habitat natural, la Sierra Maestra. **Revista Baracoa**, Habana. v.22. n.1. p.73-83, 1992.

4 EFEITO DO ESPAÇAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS DOS TRAQUEÓIDES DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L.

4.1 Introdução

A madeira, composta por agregados de células vegetais, é uma das principais matérias-primas industriais; apresenta características de anisotropia (propriedades distintas em cada um dos diferentes sentidos de crescimento), higroscopicidade (capacidade de perder ou adquirir umidade dependendo das condições ambientais) e variabilidade de suas propriedades. Há muito tempo sabe-se que, além das diferenças existentes entre espécies, as características anatômicas variam entre indivíduos de uma mesma espécie, bem como num mesmo indivíduo (MUÑIZ, 1993).

Duffield (1961) afirma que existem grandes diferenças nas propriedades da madeira e que o conhecimento da variação dentro das espécies é incompleto. Estas causas devem-se a fatores genéticos, ambientais e dependem, ainda, da localização da amostra no tronco. O autor classifica estas variações em dois grupos: fatores inerentes à árvore (fatores internos) e fatores inerentes ao ambiente e tratamentos silviculturais (fatores externos).

Algumas características da madeira, tais como anéis de crescimento e presença de cerne e alburno, são usadas como indicadores de suas propriedades (KNIGGE; SCHULTZ, 1966).

Para Lisboa (1991), as células que constituem o tecido lenhoso são, a princípio, muito semelhantes às iniciais radiais ou fusiformes que lhes deram origem. Com o crescimento, no entanto, essas células se diferenciam em células de parênquima axial ou radial, em traqueóides, em vasos, etc. Cada uma delas apresenta atividade fisiológica e/ou mecânica específica.

As árvores que crescem em povoamentos com espaçamentos amplos desenvolvem-se mais rapidamente do que em espaçamentos reduzidos e terão, em uma determinada idade, um maior diâmetro, maior conicidade, casca mais espessa, copa ampla e maior proporção de lenho juvenil.

O período de tempo de formação de madeira juvenil é variável entre diferentes espécies e entre árvores da mesma espécie assim como a quantidade de madeira juvenil que, em comparação com a madeira adulta, depende das condições de crescimento e de fatores genéticos (CHIES, 2005).

A grande diferença em termos de madeira juvenil em relação à madeira adulta está na magnitude das alterações anatômicas e físicas que ocorrem no sentido da medula para a casca. As características anatômicas envolvidas nas mudanças são: comprimento de fibra, ângulo fibrilar, proporções dos tipos de células, diâmetro celular, espessura da parede celular. Outros fatores, tais como massa específica, resistência e retrabilidade, variam em consequência de tais características anatômicas (SILVA, 2000).

Diante disso, a investigação da pesquisa esteve vinculada a um questionamento: se árvores da mesma idade, mas crescendo em diferentes espaçamentos, teriam a mesma idade de segregação. Sabe-se que a proporção de lenho juvenil é diferente entre elas, em decorrência das diferenças no crescimento em diâmetro em função do espaçamento inicial de plantas.

Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo verificar a idade de segregação entre os lenhos juvenil e adulto através do comprimento de traqueóides, da madeira de árvores de *Pinus taeda*, L sob o efeito de nove espaçamentos de plantio.

4.2 Revisão Bibliográfica

4.2.1 Características anatômicas da madeira da Família Pinaceae

Gonzaga (2006) descreve a anatomia da madeira como o exame dos seus principais tecidos, fornecendo, na prática, informações sobre o comportamento de suas peças, quanto ao nível de resistência a fungos e insetos xilófagos, às deformações e às transformações possíveis. Segundo o autor, a estrutura anatômica da madeira depende estritamente da espécie vegetal que a originou. A conífera, do

grupo Gimnospermas, apresenta um tecido completamente distinto das angiospermas dicotiledôneas, ao qual pertencem quase todas as árvores que produzem madeira no Brasil.

A estrutura anatômica da madeira de Gimnospermas é bem mais simples em comparação com as Angiospermas. Seu lenho constitui-se, fundamentalmente, por traqueóides longitudinais, numa proporção superior a 90%. São células longas, cerca de 100 vezes maiores do que seu diâmetro, que variam de 3000 a 6000 μm de comprimento, por 24–50 μm de diâmetro. Cumprem, simultaneamente, as funções de condução de seiva bruta e sustentação mecânica do vegetal. O restante do tecido lenhoso é constituído por raios, parênquima axial e canais resiníferos. Em algumas espécies, por terem cerca de 90–95% do lenho constituído por traqueóides longitudinais, sua madeira resulta em maior homogeneidade com relação à massa específica, resistência, entre outros.

Klock; Muñiz (1998) mencionam que os traqueóides são caracterizados como pequenos tubos de 2 a 6 mm de comprimento que são cerca de 100 vezes sua largura. Diferentes gêneros de *Pinaceae* apresentam diferenças nos comprimentos.

O comprimento dos traqueóides varia substancialmente dentro dos anéis de crescimento, bem como entre a madeira juvenil e adulta. Na madeira juvenil, as primeiras células de lenho inicial são menores do que as últimas ou os traqueóides axiais do lenho tardio (NIGOSKI, 2005). A mesma autora comenta que o comprimento dos traqueóides, além de variar de acordo com a idade e a posição no fuste, varia entre indivíduos, de acordo com a densidade da população, sítio, localização geográfica e práticas silviculturais. Também se diferencia entre indivíduos, sendo considerado um fator genético.

Considerando-se o sentido lenho inicial ao lenho tardio, o diâmetro radial dos traqueóides torna-se menor, enquanto que a parede celular torna-se mais espessa. Já no início do período de crescimento subsequente, traqueóides com lumes e diâmetros grandes são formados pela árvore. Estas mudanças abruptas são visíveis a olho nu, como um anel anual de crescimento (KLOCK; MUÑIZ, 1998). Além disso, o diâmetro dos traqueóides varia de acordo com a posição destes na árvore e com o tipo de lenho.

Arita et al. (2002) estudaram a variação das características morfológicas dos traqueóides da madeira de *Pinus taeda* L. no sentido medula-casca de diferentes procedências e classes diamétricas. Os autores encontraram incrementos médios no

comprimento dos traqueóides do 2º anel aos mais externos, sendo que os maiores incrementos estavam entre o 2º e o 11º anéis. Os traqueóides de lenho tardio apresentaram comprimentos médios ligeiramente superiores aos de lenho inicial. Também verificaram que houve diferença na espessura média das paredes dos traqueóides de lenho inicial e tardio.

Em vista radial, as extremidades dos traqueóides, em coníferas, parecem ser arredondadas. Nas paredes radiais são comuns pontuações (aberturas na parede secundária que são "interconexões" entre células). Já, em vista tangencial, as extremidades dos traqueóides longitudinais parecem pontiagudas, sendo que raramente apresentam pontuações (KLOCK; MUÑIZ, 1998).

As pontuações, pequenas válvulas de passagem, fazem a seiva passar de um elemento tubular para outro, e também se distribuir por todos os tecidos nas pináceas (KLOCK; MUÑIZ, 1998).

Os raios, faixas horizontais no plano transversal, de comprimento indeterminado, formados por células parenquimáticas, desempenham primordialmente a função de armazenamento de substâncias nutritivas e estão dispostos radialmente no tronco (BARREIROS, 2009). Nas coníferas, são geralmente unisseriados e ocasionalmente bisseriados, com 1 a 20 ou mesmo 50 células de altura. A presença de canais resiníferos em raios unisseriados faz com que aparentem ser multisseriados (ESAU, 1977).

4.2.2 Aspectos anatômicos da madeira de *Pinus taeda* L.

Larson et al. (2001) comentam que, ao contrário dos anéis de crescimento adultos, a transição entre lenho inicial e tardio em anéis de crescimento jovens é extremamente gradual e difusa. A dificuldade em se determinar o limite é devido à natureza dos traqueóides de transição, que possuem características de ambos os lenhos e, geralmente, compõem a maior parte dos largos anéis de crescimento juvenis. Os traqueóides de transição são produzidos quando as condições de crescimento são favoráveis à prolongação do crescimento dos brotos terminais e desenvolvimento foliar e também para promoção dos altos níveis de atividade fotossintética. Nos traqueóides de transição, o diâmetro radial geralmente

permanece constante, ou seja, com lume amplo, e a parede celular torna-se gradativamente mais espessa.

A zona dos traqueóides de transição, além de ser uma característica de distinção do lenho juvenil, é um importante fator indicativo da qualidade da madeira. Considerando-se que as células do lenho inicial possuem lumes largos, paredes finas e são estruturalmente fracas, uma redução na formação do lenho inicial contribuiria para um aumento na qualidade da madeira. Em Gimnospermas, a redução na largura dos anéis sempre afeta mais o lenho inicial do que o lenho tardio. Entretanto, a espessura do lenho tardio não necessariamente aumenta, apesar de aumentar a sua porcentagem (LARSON et al., 2001).

Os mesmos autores comentam que a redução na proporção do lenho juvenil ocorre primeiramente com a redução da largura dos traqueóides de transição, os quais são geralmente classificados como lenho inicial. Quanto mais drástico for o decréscimo na taxa de crescimento e da largura dos anéis, mais estreita será a faixa dos traqueóides de transição nos anéis de crescimento. Em anéis relativamente estreitos, como aqueles produzidos por árvores muito adensadas, o lenho de transição pode estar ausente nos anéis mais externos do lenho juvenil. Esses anéis possuem aparência e características visuais dos anéis adultos, sugerindo que o lenho juvenil consiste somente dos seis a oito primeiros anéis.

As espécies do gênero *Pinus* apresentam, no sentido axial, tendência de aumento do comprimento de traqueóides até o meio do tronco, decrescendo a partir daí, em direção à copa (MENDONÇA, 1982; MUÑIZ, 1993).

De acordo com Larson et al. (2001), os valores de comprimento de traqueóides dentro e entre árvores de *Pinus taeda* são extremamente variáveis, devido à divisão e formação das células do câmbio.

O comprimento dos traqueóides varia de menos de 2 mm, próximo à medula, até 3 - 5 mm ou mais (média de 4,3 mm) nos anéis mais externos, em uma idade de 10 anos, permanecendo mais ou menos constante pelo resto da vida da árvore (SCHULTZ, 1997). Wheeler et al. 2005 encontraram traqueóides de comprimento médio de 3,4 mm para madeira juvenil e de 4,4 mm para madeira adulta, em povoamentos naturais na Carolina do Sul. A média para o 5º anel, em plantações no Mississippi, foi de 3,1 mm, enquanto para o 15º anel foi de 4,1 mm (TAYLOR; MOORE apud SCHULTZ, 1997).

Nigoski (2005) relata um comprimento médio dos traqueóides com valores entre 3,20 e 3,48 mm, sendo o menor encontrado na idade de 11 anos e o maior, aos 16 anos.

Klock (2000) encontrou traqueóides de comprimento médio de 2,93 mm no lenho inicial e 2,97 mm no lenho tardio para *Pinus taeda* de plantios com 11 anos de idade em Ventania, PR. Já Hasegawa (2003) observou média de 3,6 mm no lenho inicial e tardio de plantios efetuados em Santa Catarina. Ballarin; Palma (2003), estudando *Pinus taeda*, com 37 anos de idade, provindo de povoamentos de São Paulo, observaram um aumento acentuado e praticamente linear, da ordem de 66,5% no comprimento dos traqueóides até o 18° anel de crescimento; a partir deste anel, a taxa de aumento diminuiu, tendendo para um valor mais estável e quase constante. O valor médio obtido para o comprimento foi de 4,2 mm para o lenho juvenil e 5,3 mm para o adulto. Concluíram que o comprimento dos traqueóides aumentou na direção radial da árvore.

Tomaselli (1979), estudando *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, observou que o comprimento dos traqueóides aumenta em direção medula-casca até uma idade entre 9 e 13 anos, após a qual ocorre uma estabilização dimensional.

A largura (diâmetro total) e o diâmetro do lume (diâmetro interno) são propriedades influenciadas pela taxa de crescimento e pela idade das árvores. Em períodos de alta taxa de crescimento, o diâmetro externo dos traqueóides produzidos pela região cambial são maiores, com acentuados diâmetros do lume. Como as árvores apresentam uma alta taxa de crescimento nos primeiros 10 a 12 anos de idade, os traqueóides mais largos e com maiores diâmetros do lume estão mais restritos à região interna do tronco, ou seja, na madeira juvenil (BARRICHELO, 1979; PANSIN; ZEEUW, 1970; COWN, 1992; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000). No sentido base-topo, há um aumento de ambas as dimensões, influenciadas pelo crescimento apical e pela copa da árvore (COWN, 1975).

Nigoski (2005) encontrou uma variação na largura média dos traqueóides de 37,22 μm aos 16 anos a 40,42 μm aos 17 anos, sendo numericamente muito semelhantes entre as idades de 10 e 15 anos.

A tendência de crescimento do diâmetro externo é semelhante àquela observada para o comprimento, ou seja, aumenta no sentido medula-casca e ao longo do fuste, até aproximadamente 50% da altura da árvore (MUÑIZ, 1993). Em geral, o diâmetro dos traqueóides varia de 20 a 60 μm , sendo que para o *Pinus*

taeda são encontrados valores entre 35 e 45 μm (BROWN et al., 1949; KOLLMAN; CÔTÉ, 1968; WHEELER, 2005). Valores semelhantes foram encontrados em *Pinus eliottii*, *Pinus ponderosa* e *Pinus palustris*. Há correlação positiva entre largura e comprimento dos traqueóides, ou seja, as espécies que possuem traqueóides mais largos apresentam também os mais longos (PANSIN; ZEEUW, 1980).

Muñiz (1993), estudando *Pinus taeda* com 30 anos, obteve valores de diâmetro do traqueóide de 32,5 a 72,5 μm , diâmetro do lume de 15 a 60 μm e espessura da parede de 5 a 13,6 μm . Para Klock (2000), em árvores com 11 anos de idade, os diâmetros dos traqueóides variaram de 17,5 a 75 μm , média de 42,4 μm para o lenho inicial e de 38,5 μm no lenho tardio; diâmetro do lume de 5 a 70 μm , média de 32,9 μm no lenho inicial e de 22,3 μm no lenho tardio; e paredes celulares de 1,25 a 18,75 μm de espessura, média de 4,7 μm no lenho inicial e 8,1 μm no lenho tardio. Hasegawa (2003), avaliando árvores com 25 anos de idade, encontrou os seguintes valores para o lenho inicial e tardio: diâmetro total de 25-50-82,5 μm e 22,5-37,5-62,5 μm ; diâmetro do lume variando de 15-27, 5 - 67,5 μm e 2,5 - 12,5 - 42,5 μm ; espessura da parede celular entre 2,5 - 5 - 10 μm e 3,8 - 12,5 - 20,6 μm .

A espessura da parede é menor no topo da árvore do que na base e tende a aumentar à medida que se afasta da medula. Isto é esperado, uma vez que a massa específica e a porcentagem de lenho tardio diminuem da base para o topo da árvore e aumentam na direção medula-casca, sendo que estas variáveis estão diretamente relacionadas com a espessura da parede dos traqueóides (MUÑIZ, 1993).

A parede celular de um traqueóide é formada pelas paredes primária e secundária. Durante o crescimento em comprimento (crescimento superficial), o traqueóide 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 dos traqueóides com o aumento na largura e diâmetro do lume, influenciado pelo crescimento em altura (BARRICHELO, 1979; MUÑIZ, 1993).

Para Tomaselli (1979), o aumento no diâmetro externo dos traqueóides de *Pinus taeda*, no sentido medula-casca, é seguido por um pequeno aumento no

diâmetro do lume, resultando num incremento insignificante na espessura média da parede celular.

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

4.2.3 Índices indicativos da qualidade da fibra

Sob o aspecto da anatomia da madeira, as dimensões, a distribuição e o arranjo estrutural das células podem conferir propriedades como resistência mecânica elevada em relação à massa, boa trabalhabilidade, isolamento térmico e acústico (ROCHA et al., 2004).

Muitas vezes, as dimensões das fibras, isoladamente, podem não apresentar correlações significativas com a qualidade do produto final, especialmente da celulose e do papel. Porém, ao agrupá-los, as influências são mais acentuadas, podendo ser obtidas correlações significativas (HASSEGAWA, 2003).

O agrupamento das dimensões das fibras (comprimento da fibra, diâmetro total da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede celular) influencia, diretamente, na massa específica básica, determinando a massa de polpa para a produção de papel em um dado volume de madeira que auxilia na interpretação da qualidade da madeira e da pasta (PEREIRA et al., 2002; ROCHA et al., 2004).

Calculando a relação entre as dimensões obtidas em análise microscópica (comprimento, diâmetro total, diâmetro do lume e espessura da parede), pode-se estabelecer o comportamento e a capacidade papelreira de uma determinada fibra (BALDI, 2001).

Os principais índices que influem nas propriedades físico-mecânicas do papel produzido são:

a) Coeficiente de Flexibilidade (CF): A razão de flexibilidade foi reportada como tendo uma relação parabólica com o comprimento de autorruptura (PETERI, 1952). Quanto mais alto este coeficiente, melhor é a resistência à tensão.

Fibras tubulares na estrutura do papel não se ajustam perfeitamente, dando origem a papéis pouco densos, de baixa resistência à tração e ao arrebentamento e com alta opacidade. Fibras de paredes delgadas formam folhas mais densas e, devido à sua maior flexibilidade, ocorre maior ligação entre fibras. Isso resulta em papéis com maior resistência à tração e ao arrebentamento (FOELKEL; BARRICHELO, 1975).

b) Fração Parede (FP): Foelkel; Barrichelo (1975) comenta que quando a fração parede de um certo tipo de material fibroso é maior que 40%, este não fornecerá celulose de qualidade satisfatória, pois as fibras serão extremamente rígidas, pouco flexíveis e haverá dificuldades na interligação das mesmas, encontrando proporcionalidade negativa com as resistências à tração e ao arrebentamento.

c) Índice de Enfeltramento (IE): O coeficiente de flexibilidade e o índice de enfeltramento medem o quão flexíveis são as fibras e a sua capacidade de entrelaçamento, e se correlacionam de forma negativa com a espessura da parede das fibras (FOELKEL, 1976; KLOCK, 2000).

De acordo com Melo et al. (1975), comprimentos de fibras compreendidos entre valores de 2,5 mm a 6,10 mm pertencem à classe de fibras muito longas, e a relação entre estas duas dimensões pode prever alta resistência ao rasgo em relação ao alto índice de enfeltramento (106,1) como, em contrapartida, baixa resistência à ruptura, devido ao baixo coeficiente de flexibilidade (21,04%).

d) Índice de Runkel (IR): O índice de Runkel apresenta alta correlação negativa com a largura das fibras devido à relação inversa entre a espessura da parede e a largura das fibras. Fibras mais largas apresentam, em geral, menor espessura da parede e, conseqüentemente, menor índice de Runkel (HASSEGAWA, 2003; CASTELO, 2007).

Segundo os mesmos autores, o índice de Runkel e a fração parede encontram-se relacionados à rigidez da fibra, isto é, quanto maior os seus valores,

mais rígida pode se tornar a fibra. Dependendo do grau, a rigidez das fibras pode exercer influências sobre as propriedades mecânicas do papel.

A Tabela 4.1 mostra a classificação proposta por Caumo (2003), para o índice de Runkel.

TABELA 4. 1 – Características das fibras segundo o índice de Runkel.

Índice de Runkel	Grupo	Características das fibras
≤ 0,25	I	A fibra é muito flexível, macia, apresentando a capacidade de acomodar-se facilmente. Tal fato representa a condição ótima para a fabricação de papel. O valor da relação indica que o lume é muito grande em relação à espessura da parede.
0,25 – 0,50	II	A fibra é menos flexível do que no caso anterior: também fornece bons resultados na fabricação de papel. O valor indica que a igualdade entre o diâmetro da fibra e a espessura da parede é aumentada, diminuindo, em consequência o diâmetro do lume.
0,50 – 1,00	III	A fibra começa a ser menos flexível e macia do que anteriormente, apresentando características mecânicas modestas. O valor da relação indica que, sendo aumentada a espessura da parede celular em relação ao caso anterior, diminui a seção do lume.
> 1	IV	O valor da relação indica claramente que o diâmetro do lume diminui fortemente, enquanto as paredes se tornam espessas, portanto, as fibras são rígidas e têm baixa capacidade para a fabricação do papel.

Fonte: Caumo (2003).

e) Índice de Mülsteph (IM): A classificação de fibras de Mülsteph (1940a; 1940b; 1941) em relação à qualidade da folha de polpa é baseada na área relativa da parede da célula à fibra toda, como visto na seção transversal. Sob esta classificação, as fibras são agrupadas de acordo com a possibilidade de colapso e conseqüentemente pela tendência de formar folhas de baixa ou alta densidade.

4.2.4 Influência do espaçamento nas características anatômicas

As árvores são formadas por camadas sobrepostas de madeira, ou anéis de crescimento, cujas espessuras podem ser controladas através do espaçamento (ODA et al., 1990).

Saucier (1989), em seus estudos com espécies do gênero *Pinus*, concluiu que o espaçamento não influenciou na idade de formação da madeira juvenil, mas sim influenciou na proporção de madeira juvenil produzida, sendo que nos menores espaçamentos se produziu menor proporção de madeira juvenil.

Zobel (1971) caracteriza os tipos de madeira, baseado na evolução dos elementos anatômicos que os constituem. A madeira adulta refere-se àquela que apresenta traqueóides estabilizados em crescimento. Para *Pinus taeda*, essa estabilização foi encontrada a partir do intervalo do 11º ao 13º anel de crescimento, para árvores de 30 anos de idade.

Em estudo do efeito do espaçamento na qualidade de madeira de *Cryptomeria japonica* com 35 anos, em 4 espaçamentos (A: 2,6 x 2,6 m; B: 1,8 x 1,8 m; C: 1,3 x 1,3 m; D: 1,0 x 1,0 m), as árvores do tratamento A mostraram valores significativamente maiores na largura do anel de crescimento do que árvores dos outros tratamentos. Entretanto, não houve nenhuma diferença significativa no comprimento de traqueóides do lenho outonal e no ângulo das microfibrilas entre os tratamentos (ISHIGURI et al., 2005).

Hosseini; Rafighi (2002), em estudo da influência de três espaçamentos (1 x 1; 1,5 x 1,5; e 2 x 2 m) em *Acer velutinum*, de onde retiram no DAP discos com quatro anéis de crescimento, encontraram diferença significativa em nível de 5% entre o comprimento do traqueóide do primeiro e o segundo anel do crescimento em comparação com o quarto anel no espaçamento de 1 x 1 m. Da mesma forma ocorrendo com o comprimento crescente do traqueóide no espaçamento 2 x 2 m do primeiro ao quarto anel. Foi feita a comparação entre o comprimento médio do traqueóide, espessura da parede, largura do anel de crescimento, em ambos os espaçamentos, mas nenhuma diferença significativa foi encontrada. O espaçamento não tem nenhum efeito importante nas características do traqueóide.

Chen et al. (1998) estudaram plantações de *Eucalyptus urophylla* em rotação curta na China, com 5 espaçamentos (1111, 1481, 1667, 2222, 3333 árvores/ha),

onde observaram que a densidade de plantio não teve nenhum efeito marcante no comprimento e na largura do traqueóide.

Luxmi et al. (2001), em estudo para avaliar o efeito do espaçamento nas características anatômicas em clones de *Populus deltoides* com 9 e 10 anos, na Índia, comentam que a espessura, comprimento e diâmetro da parede do traqueóide aumentaram com espaçamento mais denso, já o diâmetro e área de vaso aumentaram com o maior espaçamento.

A variação nas dimensões de vaso e de raio foram analisadas em 12 árvores de *Astronium urundeuva* selecionadas de acordo com classes de diâmetro, em 4 espaçamentos (1 x 1,33; 1 x 2; 2 x 2 e 2 x 4 m), com 26 anos, na estação experimental de Rio Preto, SP. Foram amostrados discos retirados na base, no DAP, e a 50% e a 100% da altura comercial. Os resultados demonstraram que o espaçamento e a classe do diâmetro não influenciaram as características anatômicas (FLORSHEIM et al., 1999).

Yang (1994) analisou dez árvores de *Picea glauca* e de *Picea mariana* em três espaçamentos (1,8 x 1,8; 2,7 x 2,7 e 3,6 x 3,6 m), selecionadas aleatoriamente, para estudar a influência do espaçamento na largura de madeira juvenil e adulta. A influência do espaçamento nas propriedades da madeira é mais evidente na madeira de *Picea glauca*, que é considerada uma espécie de crescimento rápido, em relação ao *Picea mariana*. O número de anéis do crescimento na madeira juvenil de *Picea glauca* foi de 14 a 16 e de 12 a 16 em *Picea mariana*, dependendo do espaçamento. Estatisticamente, não houve nenhuma diferença nos anéis de crescimento da madeira juvenil de *Picea mariana* nos diferentes espaçamentos. Já para *Picea glauca* foi encontrado um número maior de anéis de crescimento na madeira juvenil no espaçamento maior (3,6 x 3,6 m). Yang observou, também, a tendência do aumento da largura da madeira juvenil com espaçamento crescente. O mesmo conclui que o espaçamento tem influência na largura de madeira juvenil e adulta, e seu efeito é variável de espécie para espécie.

Yang; Hazenberg (1994) analisando somente a *Picea mariana* em relação ao comprimento dos traqueóides na madeira juvenil e adulta, que variou entre o 11º e o 21º anel, notaram que a madeira juvenil apresentou taxa de crescimento mais rápida e traqueóides mais curtos do que a madeira adulta. Os maiores comprimentos de traqueóide foram encontrados no espaçamento intermediário de 2,7 x 2,7 m, com 2,05 mm para madeira juvenil e 2,94 mm para madeira adulta. Já os comprimentos

dos traqueóides no espaçamento 3,6 x 3,6 m foram significativamente mais curtos do que aqueles dos outros dois espaçamentos.

Ballarin; Palma (2003), em um estudo na madeira de *Pinus taeda*, definiram que: a região do 1º ao 14º anel de crescimento seria de madeira juvenil, do 14º ao 18º anel seria uma região de transição, e do 18º ao 37º seria de madeira adulta.

Kucera (1994), estudando a influência do espaçamento entre árvores de *Picea abies*, na formação de madeira juvenil, observou que o início de formação de madeira adulta, na base do tronco, ocorre quando o incremento corrente anual e a altura atingem o valor máximo, sendo que, em espaçamento menor, o início da madeira adulta deu-se entre 18 e 19 anos e para o espaçamento maior, entre 28 e 29 anos.

4.2.5 Metodologias para determinar a idade de segregação

Vários métodos têm sido propostos para demarcar a transição entre madeira adulta e juvenil (Zobel; Sprague, 1998). Dentre estes, pode-se incluir o exame visual do comportamento da propriedade em relação à idade (Clark; Saucier, 1989 e Gatto et al., 2007) ou regressão segmentada (Abdel-Gadir; Krahmer, 1993). Tasissa; Burkhart (1998) propuseram um método iterativo não-linear para determinar a idade de demarcação do lenho juvenil/adulto.

4.3 Materiais e Métodos

A localização e a caracterização da área experimental, bem como a descrição do experimento de espaçamento, seleção e amostragem das árvores utilizadas, seguem os procedimentos descritos nos itens 2.1 e 2.2 respectivamente.

4.3.1 Análise dos elementos anatômicos

Os discos de madeira retirados do tronco de *Pinus taeda* a 1,3 m de altura (diâmetro à altura do peito – DAP) foram identificados de acordo com a sua exata posição no tronco e encaminhados ao Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da UFSM. Os discos coletados foram secos, para evitar o surgimento de fungos (mofo), enquanto aguardavam o processamento.

No total, foram processados discos de 18 árvores (2 por tratamento). De cada disco, foram confeccionadas baguetas centrais com 2 cm de largura e 2 cm de altura (altura de corte do disco), porém o comprimento foi variado, pois se tratavam de árvores com diferentes diâmetros, resultantes dos diferentes espaçamentos. Após a confecção da bagueta central, esta foi dividida em duas partes, a partir do centro da medula. Escolheu-se, para maceração, a bagueta de melhor visualização dos anéis de crescimento, enquanto que a outra foi identificada e armazenada como material de reserva.

Das baguetas destinadas à maceração, retirou-se, a partir da medula, amostras do lenho inicial do 2º, 4º, 6º, 8º, 10º, 12º, 14º, 16º e 18º anéis de crescimento. O lenho inicial de cada anel foi reduzido a pequenas lascas semelhantes a palitos de fósforos. Posteriormente, os mesmos foram acondicionados em tubos de ensaio, preenchidos com água e identificados com o número do anel correspondente. O restante do material foi acondicionado em sacos de papel e conservado em câmara climatizada, para eventuais consultas.

No processo de maceração, que consiste na dissolução do tecido lenhoso, com vistas à obtenção de elementos celulares isolados, utilizou-se a metodologia descrita por Kraus; Arduin (1997). A técnica consiste na mistura de 30% de peróxido de hidrogênio com 30% de ácido acético glacial, ambos na proporção (1:1). O material lenhoso (palitos) permaneceu imerso nesta mistura durante um período de 48 horas em estufa a 60°C.

O produto da maceração resultou em uma “pasta de fibras” de coloração esbranquiçada, a qual foi lavada com água destilada e, posteriormente, com etanol 50%. O processo foi finalizado com a coloração dos traqueóides em solução aquosa de safranina a 1%.

Em seguida, foram confeccionadas lâminas de maceração do tipo semi-permanentes. A mensuração dos traqueóides longitudinais foi tomada em microscópio ótico com ocular graduada. Em cada uma das lâminas, que correspondem a um determinado anel de crescimento, foram medidos 30 traqueóides, número considerado estatisticamente suficiente, conforme diversos autores. Para cada traqueóide, mediu-se o comprimento, o diâmetro total e o diâmetro do lume.

Os dados obtidos foram organizados e trabalhados em uma planilha do programa Excel.

A partir das características medidas, foram calculadas as principais relações entre as dimensões dos elementos celulares, consideradas importantes para a produção de celulose que estão relacionadas às propriedades físico-mecânicas do papel produzido. Estas relações foram determinadas conforme preconizam Foelkel; Barrichelo (1975). Nestas relações utiliza-se o termo genérico fibra, aplicado na indústria de celulose e papel.

a) **Coefficiente de Flexibilidade (CF):** Dado pela relação entre o diâmetro do lume (d) e o diâmetro da fibra (D), expresso em porcentagem:

$$CF = \left(\frac{d}{D} \right) 100 \quad (4.1)$$

b) **Fração Parede (FP):** Dada pela relação entre o dobro da espessura da parede celular (e) e o raio da fibra (D/2), expressa em porcentagem:

$$FP = \left(\frac{2e}{D/2} \right) 100 \quad (4.2)$$

c) **Índice de Enfeltramento (IE):** É a relação entre o comprimento (l) e o diâmetro da fibra (D):

$$IE = \left(\frac{l}{D} \right) \quad (4.3)$$

d) **Índice de Runkel (IR):** Dado pela relação entre duas vezes a espessura da parede celular (e) e o diâmetro do lume (d):

$$IR = \left(\frac{2e}{d} \right) \quad (4.4)$$

e) **Índice de Boiler (IB):** Dado pela relação de diferença entre o quadrado do diâmetro da fibra (D) e o diâmetro do lume (d) sobre a soma dos quadrados destes diâmetros:

$$IB = \left(\frac{D^2 - d^2}{D^2 + d^2} \right) \quad (4.5)$$

f) **Índice de Mülsteph (IM):** Dado pela relação de diferença entre o quadrado do diâmetro da fibra (D) e o diâmetro do lume (d) sobre o diâmetro da fibra ao quadrado (D):

$$IM = \left(\frac{D^2 - d^2}{D^2} \right) \quad (4.6)$$

4.3.2 Determinação da idade de segregação

No presente estudo, o ajuste visual de duas regressões simples (Gatto et al., 2007) e o método iterativo não-linear para solução de regressão segmentada proposto por Abdel-Gadir; Krahmer, (1993) e Tasissa; Burkhart (1998) foram utilizados para demarcar o ponto de transição do lenho juvenil para adulto.

No primeiro método, uma regressão simples foi ajustada para a primeira parte (lenho juvenil, primeiros 12 anéis) e outra para a segunda parte (lenho adulto, anéis maiores que 12). Essa mesma análise foi repetida para cada árvore individualmente, como forma de identificar estatisticamente a influência do espaçamento na idade de demarcação.

No segundo método, a idade foi determinada através de regressão Spline. Para isto foi utilizado um polinômio quadrático “Piecewise”, conforme Spath (1973). Expresso pelo modelo:

$$Comp = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3(\alpha - t) + b_4(\alpha - t)^2 \quad (4.7)$$

Sendo: α = idade cambial estimada em que a madeira muda de juvenil para adulta;
t = idade (anos).

Em relação ao modelo proposto por Tasissa; Burkhart (1998) esse difere por apresentar os termos quadráticos (b_2 e b_4).

4.3.3 Análise estatística dos caracteres anatômicos

O efeito do espaçamento nas características anatômicas foi estudado com auxílio dos programas Excel, para processamento e ordenamento de dados, SAS e STATGRAPHICS, usados para analisar os dados.

4.4 Resultados e Discussão

4.4.1 Características morfométricas dos traqueóides axiais

As características morfométricas medidas dos traqueóides axiais neste trabalho estão comprimento, diâmetro total, diâmetro do lume e espessura da parede dos traqueóides do lenho inicial na altura do peito (1,30 m), as quais tiveram registrados os valores médios por idade.

4.4.1.1 Comprimento de traqueóides

O comprimento médio dos traqueóides em cada idade nos diferentes espaçamentos foi apresentado na Tabela 4.2, bem como o valor médio encontrado em cada espaçamento e o coeficiente de variação correspondente.

TABELA 4.2 – Comprimento médio dos traqueóides (mm) por idade em cada espaçamento para árvores de *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	2,17	1,93	2,00	2,00	2,00	1,91	1,87	2,05	1,98
4	2,71	2,70	2,54	3,04	2,76	2,45	2,60	2,60	2,29
6	3,33	3,41	2,82	3,27	3,00	3,04	3,33	2,87	2,96
8	3,38	3,21	3,10	3,20	3,23	3,12	4,11	3,21	3,56
10	4,02	4,02	3,43	3,58	3,51	3,56	4,43	3,49	3,59
12	4,23	4,01	3,63	3,70	3,49	3,96	4,55	3,76	3,88
14	4,35	4,54	4,32	3,86	3,90	4,31	4,95	4,22	4,35
16	4,44	4,35	4,08	3,89	3,87	4,46	4,19	4,58	4,41
18				4,12	4,18	4,11	4,55		4,73
Média	3,58	4,44	2,76	3,36	3,34	3,40	3,84	3,35	3,54
CV (%)	28,14	17,85	26,40	26,54	27,93	32,32	30,90	28,36	32,70

No comprimento de traqueóides, observou-se uma variação dos valores médios desde 2,76 mm, no espaçamento 1,5 x 3,0 m, até 4,44 mm, no espaçamento 1,5 x 2,0 m. Ao analisar por idade, observou-se uma variação desde 1,87 mm no 2° anel até um valor de 4,95 mm no 14° anel de crescimento, ambos no tratamento 2,5 x 1,0 m (Tabela 4.2).

Esta variação entre os valores de comprimento de traqueóides foi compatível ao encontrado por outros autores, em estudos no Sul do país, com a mesma espécie, como Foelkel (1976) que observou uma média de 2,78 mm para árvores de *Pinus taeda* com 11 anos de idade na região de São Paulo. Klock (2000) verificou uma média de 2,93 mm no lenho inicial e 2,98 mm no lenho tardio, em árvores com 11 anos na região de Ventania, PR. Já Rigatto et al. (2004) obtiveram média entre 3,38 e 3,47 mm para *Pinus taeda* com 12 anos de idade, plantados em diferentes sítios em Telêmaco Borba, PR. Nigoski (2005) encontrou valores para clones de

Pinus taeda de 3,20 e 3,48 mm, sendo o menor encontrado para a idade de 11 anos e o maior aos 16 anos.

Em árvores mais velhas, Hassegawa (2003) relatou um comprimento médio de 3,6 mm para árvores com 25 anos de idade procedentes da África do Sul. Muñiz (1993) verificou valores em torno de 3,42 mm para *Pinus taeda* com 30 anos, na região de Irati, PR. De maneira análoga, Hassegawa (2003) analisou o comprimento dos traqueóides relacionados com os anéis e constatou, através de Teste de Tukey, que todos os anéis são diferentes entre si, ou seja, não houve estabilização no comprimento dos traqueóides para *Pinus taeda* com 25 anos de idade.

No presente estudo, o efeito dos diferentes espaçamentos no comprimento de traqueóides das árvores de *Pinus taeda*, com dados amostrados por anel no sentido medula-casca, foi descrito em função da idade (t) e do espaçamento entre plantas pelo modelo 4.8 que demonstrou ser significativo com um valor de F igual 1217,06 a uma probabilidade $<0,0001$, com um coeficiente de determinação igual a 0,5255 e coeficiente de variação de 20,5%. Através da análise de variância (Apêndice 1 – Tabela 9.1.1), pode-se observar que existe diferença significativa entre as variáveis do modelo.

$$Ct = 0,26775 - 0,11598 t + 1,15034 \sqrt{t} - 0,0835505 EP \quad (4.8)$$

Onde: Ct = comprimento de traqueóides (mm); t =idade (ano); EP = Espaço entre planta (1,0; 2,0 e 3,0 metros).

O comportamento do comprimento dos traqueóides, em relação à idade e ao espaçamento na linha de plantio (Figura 4.1), mostra que no menor espaçamento, ou seja, a 1,0 m, os comprimentos de traqueóides foram maiores, diminuindo essa dimensão com o aumento do espaçamento.

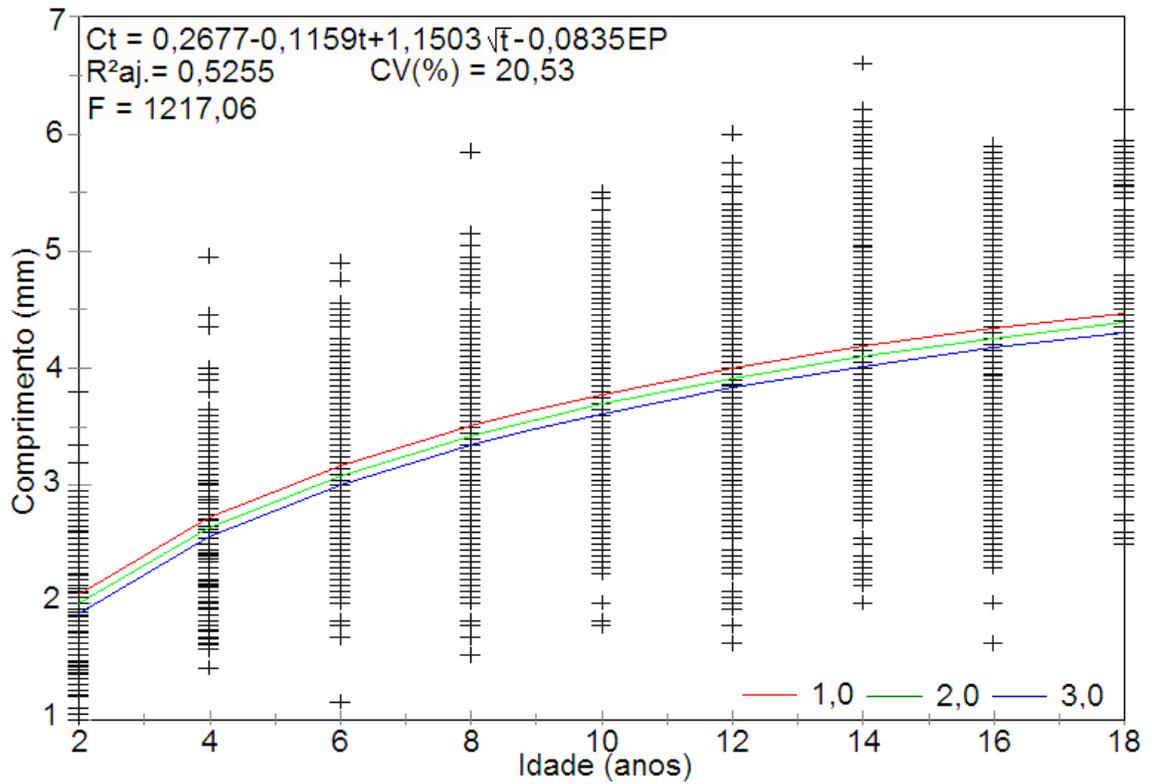


FIGURA 4.1 – Variação do comprimento de traqueóides da madeira de *Pinus taeda* L. no sentido medula-casca, em função da idade.

4.4.1.2 Diâmetro total do traqueóide

Os valores médios do diâmetro total dos traqueóides em cada idade nos diferentes espaçamentos estão apresentados na Tabela 4.3, bem como o valor médio encontrado em cada espaçamento e o coeficiente de variação correspondente.

TABELA 4.3 – Diâmetro total médio (μm) dos traqueóides por idade em cada espaçamento para árvores de *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	45,87	39,00	39,50	43,00	38,50	41,58	38,17	38,50	39,67
4	47,20	48,83	46,25	48,75	42,33	45,62	48,08	45,17	45,83
6	47,92	51,17	47,67	48,12	46,25	48,58	44,92	45,92	49,50
8	48,80	50,58	40,33	46,75	46,80	46,58	52,07	47,25	49,17
10	45,58	48,62	41,25	47,10	48,71	43,29	46,83	44,75	51,83
12	46,36	43,08	40,92	47,67	45,83	44,96	55,50	50,25	55,33
14	47,00	50,08	43,92	45,92	46,71	47,71	44,83	42,25	51,08
16	46,54	44,33	41,92	46,67	45,17	44,37	52,42	48,00	39,25
18				50,67	42,42	47,92	47,17		44,17
Média	46,90	47,21	43,05	46,70	45,40	45,50	47,76	45,26	47,09
CV (%)	16,37	14,72	17,25	17,12	16,46	17,07	19,20	15,87	19,82

Os valores médios para o diâmetro total de traqueóides variaram de 38,1 μm , no anel de crescimento 2, até 55,50 μm , no anel 12, ambos no espaçamento 2,5 x 1,0 m. Ao analisar por espaçamento, observou-se uma variação nos valores médios de 43,05 μm , no espaçamento 1,5 x 3,0 m, até um valor de 47,76 μm , no espaçamento 2,5 x 1,0 m (Tabela 4.3).

Esses valores foram superiores aos encontrados por Nigoski (2005) em clones de *Pinus taeda* com 11 anos, que mostraram uma variação média de 37,22 μm aos 16 anos a 40,42 μm aos 17 anos.

Para Brown et al. (1949), Kollman; Côté (1968); Wheeler (2005), em geral, o diâmetro total dos traqueóides varia de 20 a 60 μm , sendo que para o *Pinus taeda* foram encontrados valores entre 35 e 45 μm .

Muñiz (1993) obteve valores de diâmetro total do traqueóide de 32,5 a 72,5 μm para *Pinus taeda* com 30 anos. Já Klock (2000) encontrou diâmetros dos traqueóides de 17,5 a 75 μm aos 11 anos, com média de 42,4 μm para o lenho inicial e de 38,5 μm no lenho tardio.

Na análise estatística realizada pelo procedimento Stepwise para avaliar quais os parâmetros que influenciaram no diâmetro total do traqueóide, observou-se que variáveis como idade (anel) e espaçamento foram significativos no modelo escolhido, conforme mostrou o resultado da análise de variância na (Apêndice1 - Tabela 9.1.2).

Assim, a equação de regressão selecionada para o diâmetro total do traqueóide (modelo 4.9), com coeficiente de variação igual a 16% e erro padrão da estimativa de 7,74, foi expressa por:

$$D_{Total}t = 32,4949 - 2,24265 t + 13,619 \sqrt{t} + 1,65032 (EL * EP) - 4,18999 EP - 1,90811 EL \quad (4.9)$$

Onde: $D_{Total}t$ = diâmetro total do traqueóide (μm); t = idade (ano); EL = espaço entre linha (m); EP = espaço entre planta (m).

4.4.1.3 Diâmetro do lume

Os valores médios do diâmetro do lume dos traqueóides em cada idade nos diferentes espaçamentos estão apresentados na Tabela 4.4, bem como o valor médio encontrado em cada espaçamento e o coeficiente de variação correspondente.

TABELA 4.4 – Diâmetro do lume médio (μm) dos traqueóides por idade em cada espaçamento para árvores de *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	36,67	30,83	28,08	34,29	29,80	32,84	28,08	28,42	30,25
4	37,80	38,67	36,33	40,08	32,46	36,80	38,08	35,17	36,67
6	36,80	41,17	37,00	37,96	36,25	38,96	32,64	33,25	40,17
8	37,92	40,92	21,83	35,34	36,37	34,67	39,92	33,75	38,83
10	31,20	37,58	22,21	31,21	37,92	29,42	43,75	31,25	39,67
12	32,83	25,33	23,00	34,67	33,33	27,12	24,75	39,64	44,67
14	33,21	34,17	20,58	30,71	34,74	29,87	39,17	22,75	36,67
16	33,33	32,00	18,58	33,50	28,75	27,80	29,25	32,92	13,33
18				39,83	24,62	35,17	30,25		17,58
Média	34,97	32,87	29,28	35,02	32,70	32,36	33,86	32,52	32,98
CV (%)	27,55	26,26	31,62	27,68	29,48	30,37	33,06	28,66	38,60

Em relação ao diâmetro do lume, a variação deu-se de 13,33 μm até 44,67 μm nos anéis 16 e 12, respectivamente, no tratamento 2,5 x 3,0 m (Tabela 4.4).

Os valores referentes ao diâmetro do lume apresentaram comportamento semelhante ao encontrado por outros autores como; Klock (2000) verificou uma média de 32,9 µm, no lenho inicial, e 22,3 µm, no lenho tardio de *Pinus taeda* aos 11 anos plantados na região de Ventania. Rigatto et al. (2004) obtiveram valores médios de 31,0 a 34,1 µm para o diâmetro do lume dos traqueóides de árvores com 12 anos de idade em diferentes sítios de crescimento da região de Telêmaco Borba, PR. Foelkel (1976) observou valores de 34,2 µm para *Pinus taeda* de 11 anos. Hassegawa (2003) encontrou 27,5 µm para o lenho inicial e 12,5 µm para o lenho tardio de *Pinus taeda* com 25 anos de idade.

Muñiz (1993), estudando *Pinus taeda* com 30 anos, obteve valores de diâmetro do lume de 15 a 60 µm. Para *Pinus taeda* com 11 anos estudados por Nigoski (2005), observou-se uma variação de 24,93 µm aos 16 anos até 27,09 µm aos 17 anos.

O modelo estatístico selecionado pelo procedimento Stepwise (4.10) mostrou as variáveis que influenciaram no diâmetro do lume. A análise de variância comprova a significância do modelo (Apêndice 1 - Tabela 9.1.3). O modelo apresentou um coeficiente de variação de 29,36% e um erro padrão da estimativa de 9,73.

$$D_{lume} = 32,1425 - 2,89827 t + 14,2267 \sqrt{t} - 5,11266 EL - 8,76014 EP + 3,49388 (EL * EP) \quad (4.10)$$

Onde: D_{lume} = diâmetro do lume do traqueóide (µm); t = idade (ano); EL = espaço entre linha (m); EP = espaço entre planta (m).

4.4.1.4 Espessura da parede

Os valores médios da espessura da parede dos traqueóides em cada idade nos diferentes espaçamentos estão apresentados na Tabela 4.5, bem como o valor médio encontrado em cada espaçamento e o coeficiente de variação correspondente.

TABELA 4.5 – Espessura da parede média (μm) dos traqueóides por idade em cada espaçamento para árvores de *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	4,60	4,08	5,71	4,35	4,35	4,35	5,04	5,04	4,71
4	4,70	5,08	4,96	4,33	4,94	4,42	5,00	5,00	4,58
6	5,56	5,00	5,33	5,08	4,87	4,82	6,20	6,33	4,67
8	5,44	4,83	9,25	5,69	5,21	5,46	6,80	5,25	5,17
10	7,19	5,42	9,52	6,75	5,40	6,94	8,80	6,75	6,08
12	6,75	8,87	8,96	6,50	6,25	8,92	5,87	5,30	5,83
14	6,90	7,96	11,69	7,60	6,08	8,92	10,04	9,75	6,92
16	6,60	6,17	11,67	6,58	8,21	8,30	6,62	7,54	12,96
18				5,42	8,90	6,37	8,92		12,30
Média	5,97	7,17	6,88	5,83	6,02	6,56	6,95	6,37	7,02
CV (%)	40,63	38,18	34,40	38,86	48,85	46,98	40,75	43,70	52,55

A espessura média da parede, para as árvores amostradas, apresentou um comportamento crescente no sentido medula-casca, sendo que os valores variaram de 4,08 μm (no anel formado aos 2 anos no espaçamento 1,5 x 2,0 m) até 12,96 μm (no 16º anel do espaçamento 2,5 x 3,0 m).

Resultados estes que diferem dos encontrados por Nigoski (2005), que obteve valores médios para a espessura da parede de 5,90 μm aos 15 anos e de 6,67 μm aos 17 anos. De maneira semelhante, Rigatto et al. (2004) obtiveram valores médios de 4,2 a 4,8 μm para a espessura da parede dos traqueóides de *Pinus taeda*, com 12 anos de idade, em diferentes sítios.

Já Hasegawa (2003) encontrou 5 μm para o lenho inicial e 12,5 μm para o lenho tardio de *Pinus taeda* com 25 anos e Klock (2000) verificou uma média de 4,7 μm no lenho inicial e 8,1 μm no lenho tardio em *Pinus taeda* de 11 anos. Resultados encontrados por Foelkel (1976) fazem referência a valores de 4,96 μm para *Pinus taeda* de 11 anos como Muñiz (1993) que observou valores de 5 a 13,6 μm para *Pinus taeda* com 30 anos.

A espessura da parede foi influenciada pela idade e pelo espaçamento, conforme demonstra a análise de variância (Apêndice 1 - Tabela 9.1.4). O modelo estatístico 4.11 representa esta relação. O modelo apresentou um erro padrão da estimativa de 2,53 e um coeficiente de determinação de 0,2413.

$$E_p = -0,263811 + 0,27424 t - 0,938872(EL * EP) + 1,63003 EL + 2,31527 EP \quad (4.11)$$

Onde: E_p = espessura da parede do traqueóide (μm); t = idade (ano); EL = espaço entre linha (m); EP = espaço entre planta (m).

4.4.2 Relações entre as dimensões dos traqueóides

O pinus tem como principal estrutura anatômica constituinte os traqueóides axiais (termo técnico). Em virtude do uso da terminologia fibra longa e curta pela Indústria de Celulose e Papel, quando se trata da análise de características anatômicas em relação à celulose e papel utilizou-se neste estudo o termo genérico fibra.

As relações entre as dimensões das fibras fornecem os índices indicativos da qualidade da polpa celulósica a ser produzida com o material estudado.

Os índices calculados foram o coeficiente de flexibilidade, fração parede, índice de enfiamento, índice de Runkel, de Boiler e de Mulsteph dos traqueóides axiais do lenho inicial na altura do peito (1,30 m), as quais tiveram registrados os valores médios por idade.

4.4.2.1 Coeficiente de Flexibilidade

Na Tabela 4.6 estão apresentados os valores médios do coeficiente de flexibilidade médio para cada idade, o valor médio para cada espaçamento e seu coeficiente de variação.

TABELA 4.6 – Coeficiente de flexibilidade (%) médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	79,94	79,05	71,09	79,74	77,40	78,98	73,57	73,82	76,25
4	80,08	79,19	78,55	82,22	76,68	80,67	79,20	77,86	80,01
6	76,79	80,46	77,62	78,89	78,38	80,20	72,66	72,41	81,15
8	77,70	80,90	54,13	75,59	77,71	74,43	76,67	71,43	78,97
10	68,45	77,29	53,84	66,26	77,85	67,96	93,42	69,83	76,54
12	70,82	58,80	56,21	72,73	72,73	60,32	44,59	78,89	80,73
14	70,66	68,23	46,86	66,88	74,37	62,61	87,37	53,85	71,79
16	71,62	72,19	44,32	71,78	63,65	62,65	55,80	68,58	33,96
18				78,61	58,04	73,39	64,13		39,80
Média	74,50	74,51	60,32	74,74	72,98	71,24	71,93	70,83	68,80
CV (%)	6,20	10,37	22,43	7,63	9,94	11,34	21,12	10,94	26,72

Neste estudo, o coeficiente de flexibilidade médio para cada idade, medido percentualmente, variou de 93,42% (valor máximo), na idade de 10 anos, até 33,96% (valor mínimo), aos 16 anos, nos espaçamentos 2,5 x 1,0 e 2,5 x 3,0 m, respectivamente. Analisando por espaçamento, a oscilação foi de 60,32% até 74,74% nos espaçamentos 1,5 x 3,0 e 2,0 x 1,0 m, respectivamente (Tabela 4.6).

Esses valores aproximam-se aos encontrados por Klock (2000), que analisou separadamente o lenho inicial e tardio, onde obteve valores médios para o lenho inicial de 76,9% e lenho tardio de 57,7% para *Pinus taeda* aos 11 anos.

Foelkel (1976) obteve resultados de 78% para o coeficiente de flexibilidade para árvores de *Pinus taeda* com 11 anos.

Os valores deste estudo diferem dos encontrados por Nigoski (2005), analisando povoamentos de *Pinus taeda*, onde foram obtidos valores mínimos de 66,92%, na idade de 16 anos, até o máximo de 69,08%, na idade de 15 anos. Entretanto, quando se leva em conta a média dos lenhos, os valores são compatíveis. A mesma situação ocorre quando se compara Hasegawa (2003) em árvores mais velhas, que observou variação de 76,5 a 77,3% no lenho inicial e 41,2 a 45,45% no lenho tardio de *Pinus taeda* com 25 anos.

A Figura 4.2 mostra o coeficiente de flexibilidade com a variação entre as idades. A significância do modelo foi comprovada através da análise de variância (Apêndice 1 – Tabela 9.1.5).

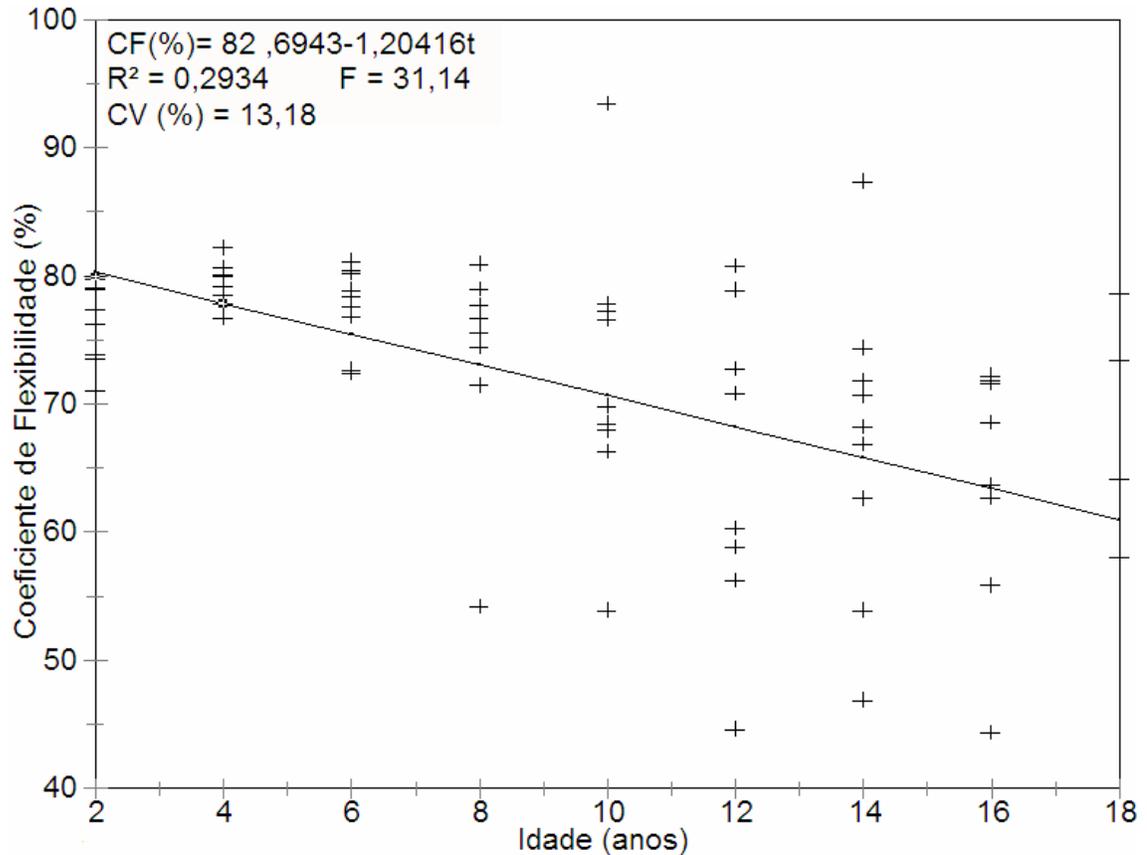


FIGURA 4.2 – Coeficiente de flexibilidade médio por idade, para *Pinus taeda* L.

O coeficiente de flexibilidade apresentou comportamento decrescente com o aumento da idade (Figura 4.2). Tendência similar foi encontrada por Hassegawa (2003), para a mesma espécie.

4.4.2.2 Fração Parede

Na Tabela 4.7 estão apresentados os valores médios da fração parede para cada idade, o valor médio para cada espaçamento e seu coeficiente de variação.

TABELA 4.7 – Fração parede (%) médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	20,06	20,92	28,91	20,23	22,60	20,92	26,41	26,18	23,75
4	19,92	20,81	21,45	17,76	23,34	19,38	20,80	22,14	19,99
6	23,21	19,54	22,36	21,11	21,06	19,84	27,60	27,57	18,87
8	22,30	19,10	45,87	24,34	22,26	23,44	26,12	22,22	21,03
10	31,55	22,30	46,16	28,66	22,17	32,06	37,58	30,17	23,46
12	29,12	41,18	43,79	27,27	27,27	39,68	21,15	21,09	21,07
14	29,36	31,79	53,23	33,10	26,03	37,39	44,79	46,15	27,09
16	28,36	27,84	55,68	28,20	36,35	37,41	25,26	31,42	66,04
18				21,39	41,96	26,59	37,82		55,69
Média	25,48	25,43	39,68	24,67	27,00	28,52	29,72	28,37	30,77
CV (%)	18,10	30,47	34,14	20,12	27,02	28,83	28,04	28,70	56,60

O índice fração parede, conforme Tabela 4.7, mostrou valores médios entre 24,67% e 39,68%, nos espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 1,5 x 3,0 m, respectivamente. Esses resultados ficaram abaixo de 40%, o que coloca a “fibra” dentro do limite indicado para a produção de celulose com qualidade satisfatória para a produção de papel de embalagem, uma vez que fibras com fração parede muito elevada são extremamente rígidas, com pouca flexibilidade, o que dificulta a interligação entre elas e diminui a resistência do papel (FOELKEL; BARRICHELO, 1975).

Conforme análise de variância, efetuada entre as idades e o espaçamento entre plantas, verificou-se diferença significativa entre as idades (Apêndice 1 – Tabela 9.1.6).

Na Figura 4.3, foi representada a variação da fração parede com as idades.

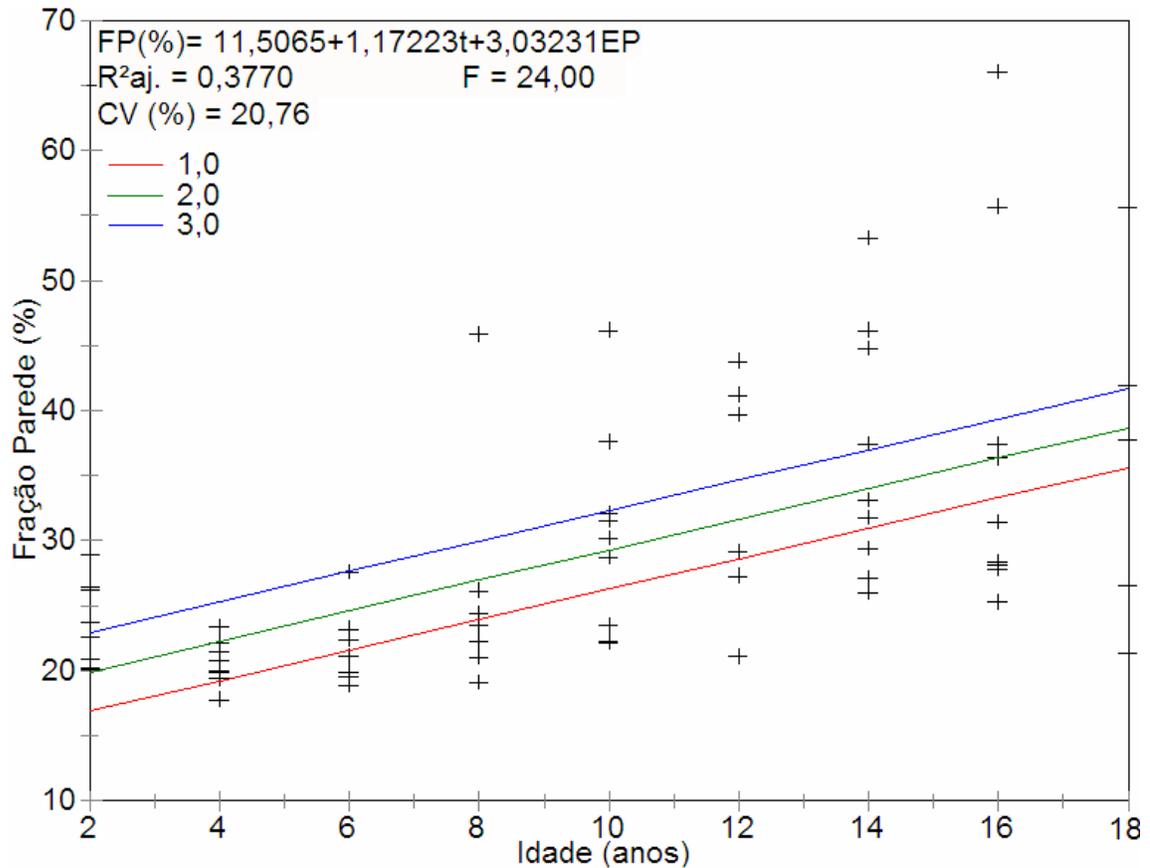


FIGURA 4.3 – Fração de parede média por idade para a madeira de *Pinus taeda* L.

Na Figura 4.3, observa-se que o comportamento da fração parede é crescente no sentido medula-casca, com uma variação entre alguns anéis, influenciado pelo espaçamento entre plantas, onde o maior espaçamento foi o que teve maior FP.

Nigoski (2005) encontrou valores médios de 30,92% (aos 15 anos) e 33,08% (aos 16 anos), ou seja, também inferiores a 40%.

De acordo com Watson; Dadswell (1961), quanto menor for a fração parede, maior será o esticamento, a resistência ao estouro e à tração do papel, uma vez que as fibras são mais flexíveis e se interligam com facilidade.

4.4.2.3 Índice de Enfeltramento

Na Tabela 4.8 são apresentados os valores médios do índice de enfeltramento para cada idade, o valor médio para cada espaçamento e seu coeficiente de variação.

TABELA 4.8 – Índice de enfeltramento médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	47,33	49,57	50,59	46,55	51,69	45,97	48,95	53,38	49,87
4	57,43	55,36	54,88	62,53	65,20	53,69	54,01	57,63	50,08
6	69,53	66,71	59,26	67,99	65,06	62,59	74,17	62,57	59,90
8	69,26	63,60	76,91	68,59	69,05	67,05	78,97	67,87	72,44
10	88,18	82,72	83,31	75,96	71,99	82,31	94,60	77,99	69,39
12	91,39	93,08	88,87	77,77	76,17	88,02	81,92	74,79	70,25
14	92,54	90,65	98,44	84,10	83,60	90,34	110,38	99,96	85,24
16	95,35	98,24	97,33	83,33	85,66	100,68	79,96	95,59	112,36
18				81,31	98,62	85,77	96,50		107,21
Média	76,37	75,00	76,19	72,01	74,11	75,15	79,94	73,72	75,19
CV (%)	28,66	24,70	25,05	16,83	18,61	24,65	24,57	23,03	30,03

Os valores médios do índice de enfeltramento variaram de 45,97, no segundo anel de crescimento, até 112,36 aos 16 anos, nos espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 2,5 x 3,0 m, respectivamente (Tabela 4.8 e Figura 4.4). Com exceção do valor encontrado aos 2 anos, todos os demais ultrapassam o valor mínimo (50) requerido pelas empresas do setor. O valor máximo se assemelha aos encontrados por Nigoski (2005) que se situam entre 82,23, aos 17 anos, até 93,84 aos 16 anos.

Índice de enfeltramento é o resultado da relação entre o comprimento e a largura da fibra, sendo que quanto maior o IE, mais flexíveis são as fibras, uma vez que apresentam formato de tubos longos e estreitos. Valores acima de 50 são exigidos, indicando que o papel produzido apresentará boas resistências ao rasgo e arrebentamento, resultado do número de ligações entre as fibras durante a formação da folha (GONZAGA et al., 1983; WATSON; DADSWELL, 1961; FOELKEL, 1976).

A significância do modelo está na análise de variância (Apêndice 1 – Tabela 9.1.7). A Figura 4.4 mostrou o comportamento do índice de enfieltramento com aumento da idade.

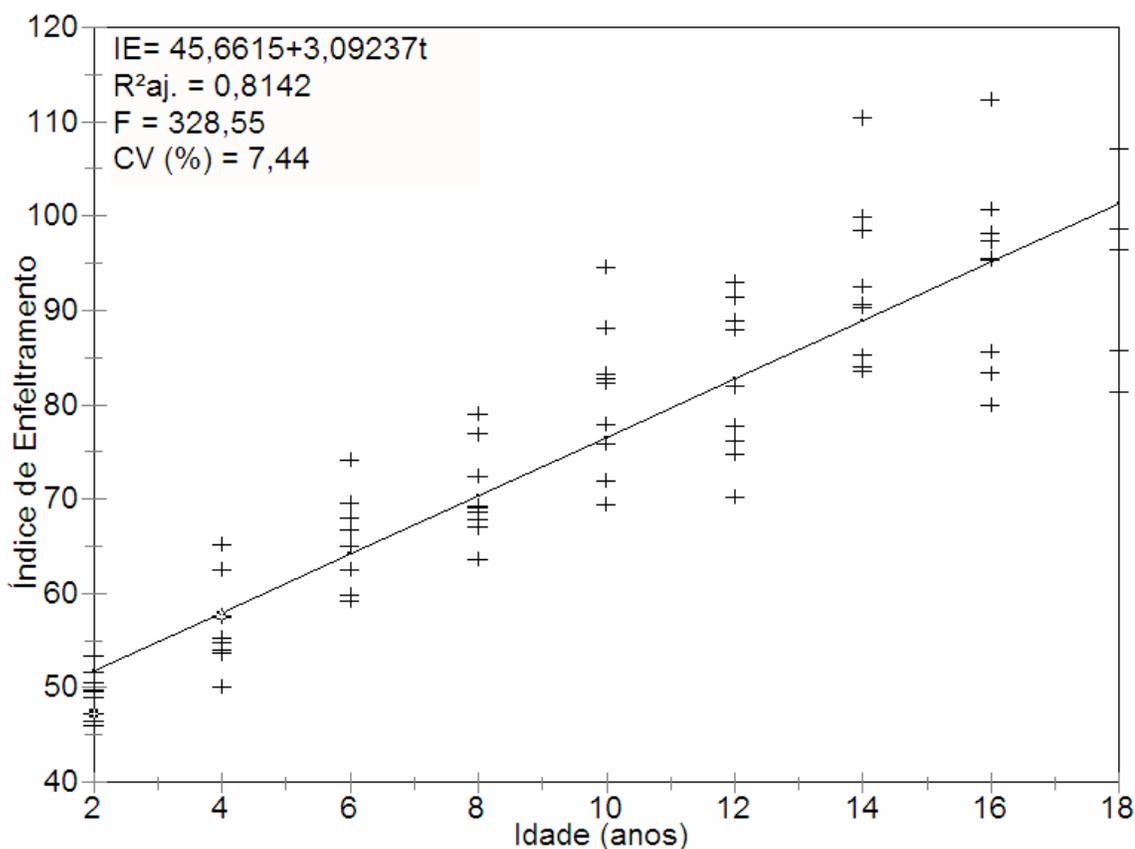


FIGURA 4.4 – Índice de Enfieltramento por idade, na madeira de *Pinus taeda* L.

De acordo com a Figura 4.4, há uma tendência de aumento do índice de enfieltramento conforme o afastamento da medula.

Geralmente, as coníferas apresentam valores próximos ou superiores a 100 neste índice, resultado do maior comprimento das fibras, 2 a 5 mm, o que denota sua qualidade para produção de papel (DUEÑAS, 1997).

4.4.2.4 Índice de Runkel

Na Tabela 4.9 são apresentados os valores médios do índice de Runkel para cada idade, o valor médio para cada espaçamento e seu coeficiente de variação.

TABELA 4.9 – Índice de Runkel médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	0,20	0,21	0,29	0,20	0,23	0,21	0,26	0,26	0,24
4	0,20	0,21	0,21	0,18	0,23	0,19	0,21	0,22	0,20
6	0,23	0,20	0,22	0,21	0,21	0,20	0,28	0,28	0,19
8	0,22	0,19	0,46	0,24	0,22	0,23	0,26	0,22	0,21
10	0,32	0,22	0,46	0,29	0,22	0,32	0,38	0,30	0,23
12	0,29	0,41	0,44	0,27	0,27	0,40	0,21	0,21	0,21
14	0,29	0,32	0,53	0,33	0,26	0,37	0,45	0,46	0,27
16	0,28	0,28	0,56	0,28	0,36	0,37	0,25	0,31	0,66
18				0,21	0,42	0,27	0,38		0,56
Média	0,25	0,25	0,39	0,25	0,27	0,28	0,30	0,28	0,31
CV (%)	18,35	30,15	34,62	20,27	27,10	28,88	28,48	28,74	56,78

De acordo com a Tabela 4.5, os valores médios situaram-se entre 0,25, nos espaçamentos 1,5 x 1,0 m; 1,5 x 2,0 m e 2,0 x 1,0 m, até um valor máximo de 0,39, no espaçamento 1,5 x 3,0 m. De acordo com Caumo (2003), estes valores enquadram-se na classificação I e II conforme Tabela 4.1. Os melhores resultados são obtidos nos dois primeiros grupos, uma vez que este índice é uma medida da capacidade de união fibra-fibra pela flexibilidade e possibilidade de acomodação na formação do papel.

Esses valores são menores em relação aos relacionados por Nigoski (2005) estudando *Pinus taeda*, com 17 anos, onde encontrou valores entre 0,45 (aos 15 anos) e 0,49 (aos 16 anos) para o índice de Runkel.

Foelkel (1976) obteve valores semelhantes para *Pinus taeda* (0,28) aos 11 anos, indicando a influência da idade na espécie.

A Figura 4.5 mostra a variação do índice de Runkel médio entre as idades e o espaçamento entre plantas analisadas e a análise de variância (Apêndice 1 – Tabela 9.1.8).

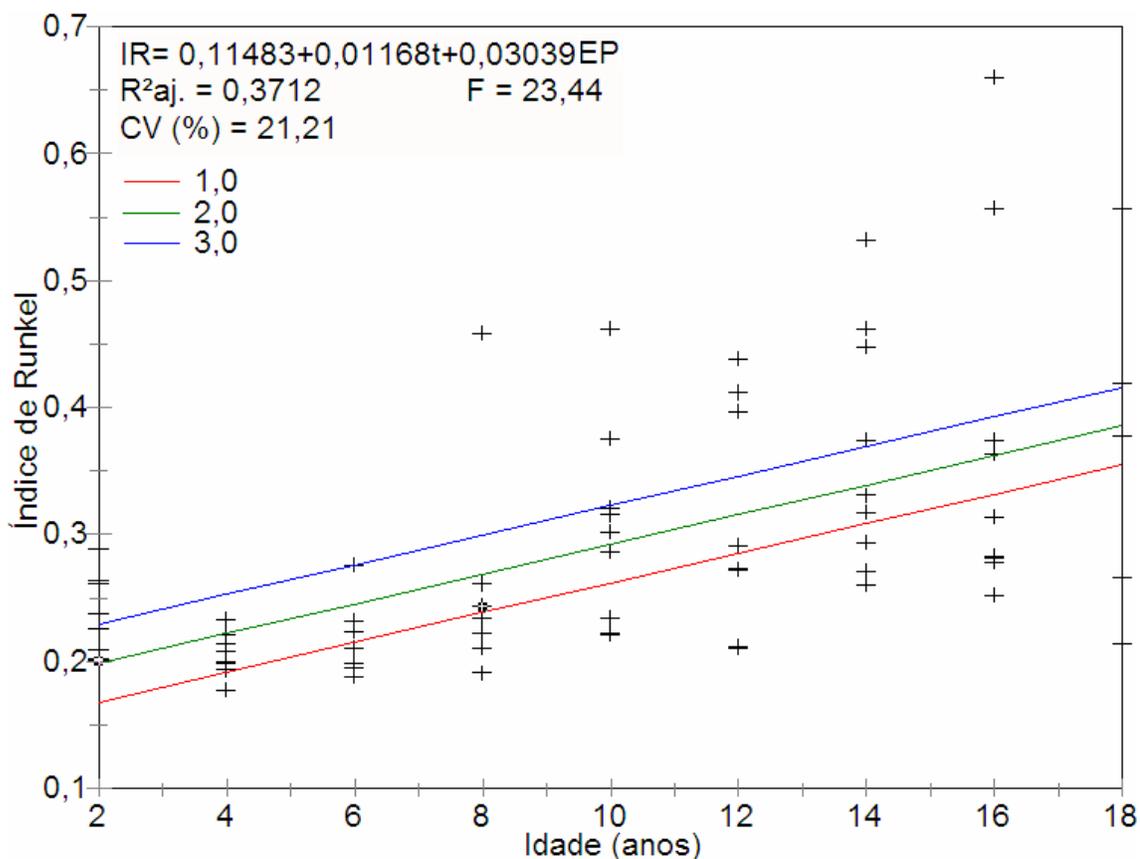


FIGURA 4.5 – Índice de Runkel (IR) por idade na madeira de *Pinus taeda* L.

O índice de Runkel apresenta um comportamento crescente no sentido medula-casca. Os maiores valores foram os do espaçamento na linha de plantio de 1 m; à medida que aumentou esse espaçamento, o IR diminuiu (Figura 4.5).

4.4.2.5 Índice de Boiler

Na Tabela 4.10 são apresentados os valores médios do índice de Boiler para cada idade, o valor médio para cada espaçamento e seu coeficiente de variação.

TABELA 4.10 – Índice de Boiler médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	0,22	0,23	0,33	0,22	0,25	0,23	0,30	0,29	0,26
4	0,22	0,23	0,24	0,19	0,26	0,21	0,23	0,25	0,22
6	0,26	0,21	0,25	0,23	0,24	0,22	0,31	0,31	0,21
8	0,25	0,21	0,55	0,27	0,25	0,29	0,26	0,32	0,23
10	0,36	0,25	0,55	0,39	0,25	0,37	0,27	0,34	0,26
12	0,33	0,49	0,52	0,31	0,31	0,47	0,67	0,23	0,21
14	0,33	0,36	0,64	0,38	0,29	0,44	0,13	0,55	0,32
16	0,32	0,31	0,67	0,32	0,42	0,44	0,53	0,36	0,79
18				0,24	0,50	0,30	0,42		0,73
Média	0,29	0,29	0,47	0,28	0,31	0,33	0,34	0,33	0,36
CV (%)	19,22	34,12	36,51	25,08	29,68	31,12	58,40	29,73	65,30

O índice de Boiler, variou de 0,19 (aos 4 anos) até 0,79 (aos 16 anos), nos espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 2,5 x 3,0 m, respectivamente. Avaliando por espaçamento os valores médios situaram-se entre 0,28 e 0,47 nos espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 1,5 x 3,0 m, respectivamente.

Foelkel (1976) obteve 0,24 para a mesma espécie aos 11 anos. Já Nigoski (2005) encontrou valores que variaram de 0,35, aos 15 anos, a 0,38, aos 16 anos, em clones de *Pinus taeda*.

A Figura 4.6 exibe o índice de Boiler em função do modelo estatístico selecionado. A análise de variância encontra-se no Apêndice 1 – Tabela 9.1.9.

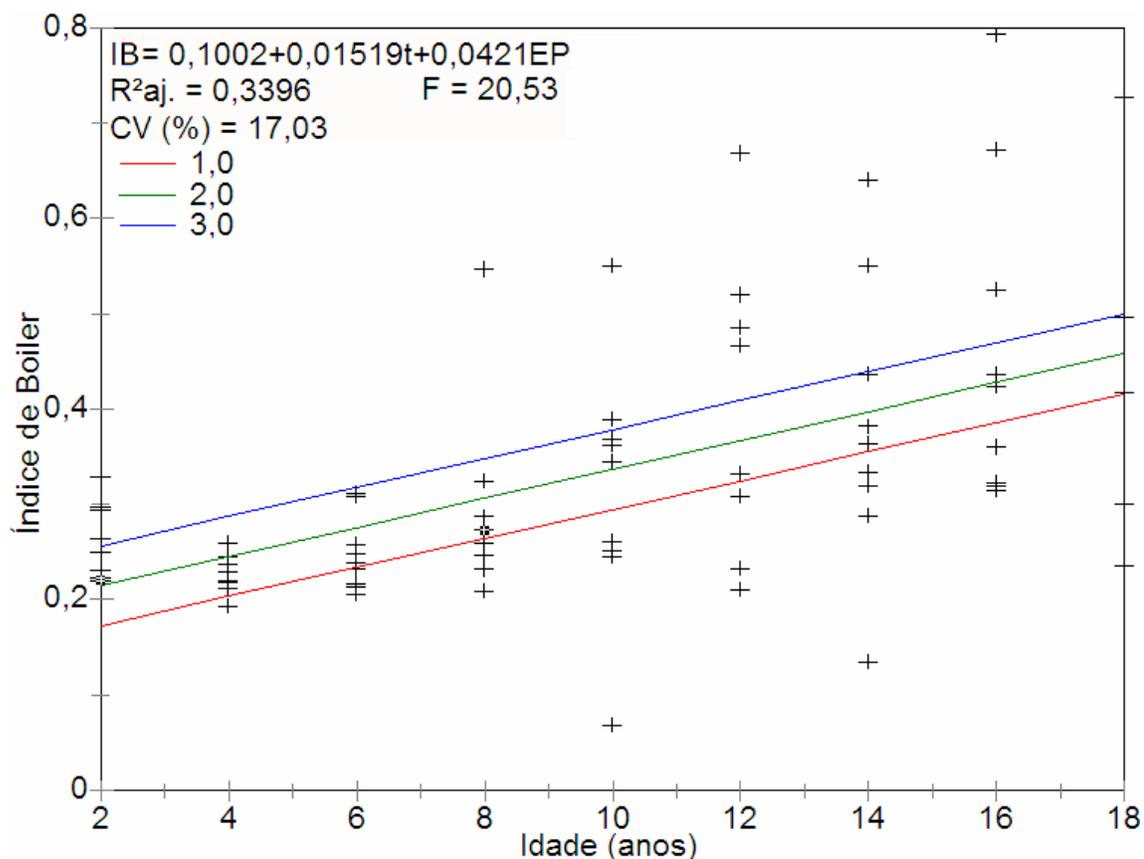


FIGURA 4.6 – Índice de Boiler por idade na madeira de *Pinus taeda* L.

Conforme observado na Figura 4.6, o índice de Boiler aumenta no sentido medula-casca, sendo também influenciado pelo espaçamento entre plantas: quanto maior o espaço, maior será o índice.

4.4.2.6 Índice de Mülsteph

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores médios do índice de Mülsteph para cada idade, o valor médio para cada espaçamento e seu coeficiente de variação.

TABELA 4.11 – Índice de Mülsteph médio dos traqueóides por idade em cada espaçamento para *Pinus taeda* L.

Idade	Espaçamentos								
	1,5x1,0	1,5x2,0	1,5x3,0	2,0x1,0	2,0x2,0	2,0x3,0	2,5x1,0	2,5x2,0	2,5x3,0
2	0,36	0,38	0,49	0,36	0,40	0,38	0,46	0,46	0,42
4	0,36	0,37	0,38	0,32	0,41	0,35	0,37	0,39	0,36
6	0,41	0,35	0,40	0,38	0,39	0,36	0,47	0,48	0,34
8	0,40	0,35	0,71	0,43	0,40	0,45	0,41	0,49	0,38
10	0,53	0,40	0,71	0,56	0,39	0,54	0,13	0,51	0,41
12	0,50	0,65	0,68	0,47	0,47	0,64	0,80	0,38	0,35
14	0,50	0,53	0,78	0,55	0,45	0,61	0,24	0,71	0,48
16	0,49	0,48	0,80	0,48	0,59	0,61	0,69	0,53	0,88
18				0,38	0,66	0,46	0,59		0,84
Média	0,44	0,44	0,62	0,44	0,46	0,49	0,46	0,49	0,50
CV (%)	15,47	24,38	27,36	19,33	21,16	23,42	45,47	20,73	42,61

Os valores médios encontrados, neste estudo, para o índice de Mülsteph situam-se na faixa de 0,32 (4º anel) até 0,88 (16º anel), nos espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 2,5 x 3,0 m, respectivamente (Tabela 4.11).

A classificação de fibras de Mülsteph (1940a, 1940b, 1941) em relação à qualidade da folha de polpa é baseada na área relativa da parede da célula à fibra toda. Sob esta classificação, as fibras são agrupadas de acordo com a possibilidade de colapso e, conseqüentemente, pela tendência de formar folhas de papel de baixa ou alta densidade.

Foelkel (1976) obteve um índice de 0,39 para *Pinus taeda* com 11 anos. Entretanto, Nigoski (2005) encontrou valores superiores que variaram de 0,52 (15 anos) a 0,55 (16 anos).

O modelo estatístico que melhor descreveu os dados do índice de Mülsteph teve como variável independente a idade (Figura 4.7). A análise de variância com a significância do modelo esta no Apêndice 1 – Tabela 9.1.10.

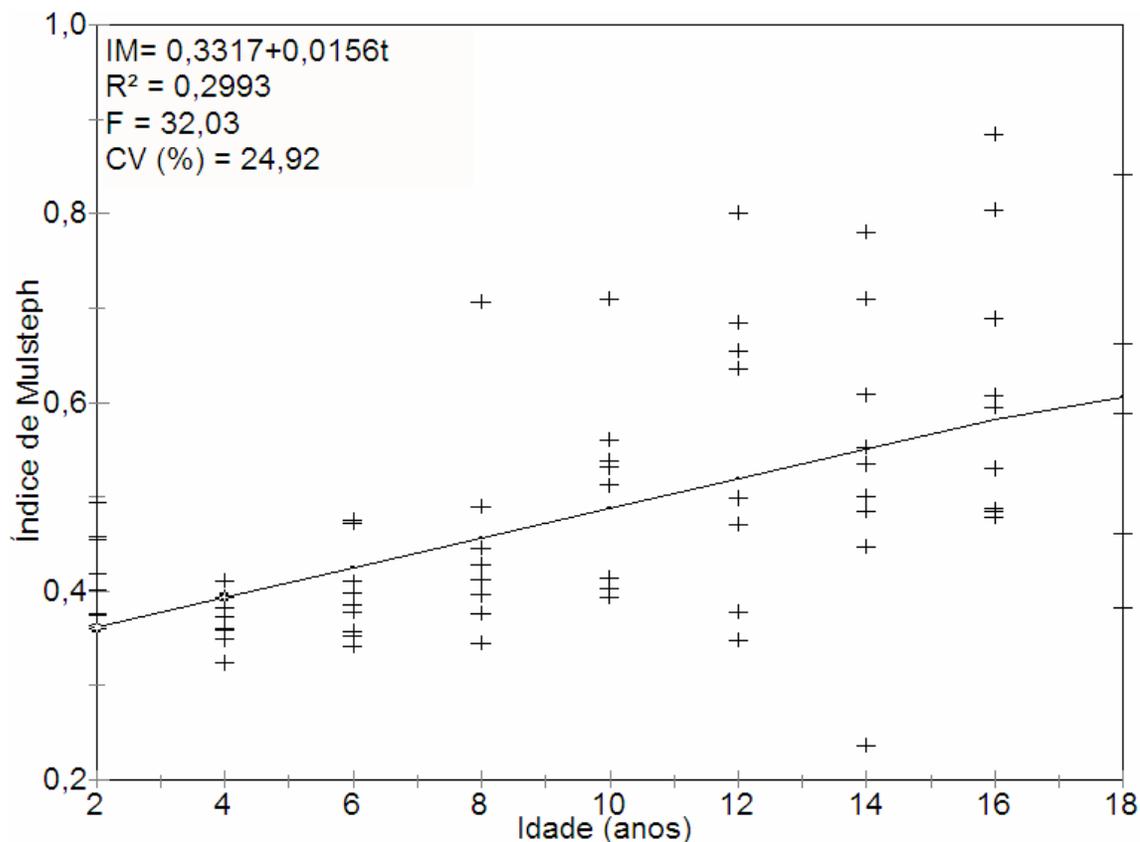


FIGURA 4.7 – Comportamento do Índice de Mülsteph com a idade para a madeira de *Pinus taeda* L.

De acordo com a Figura 4.7 o Índice de Mülsteph ao longo do tempo é crescente. À medida que aumenta a idade, o índice aumenta também.

4.4.3 Idade de segregação do lenho juvenil-adulto

A análise realizada com os dados de comprimento de traqueóides definido como parâmetro da idade de segregação, mostrou resultados diferentes de acordo com o método de cálculo utilizado. Esses valores foram, entretanto muito semelhantes.

4.4.3.1 Método de regressão simples

Uma regressão simples foi ajustada para a primeira parte (lenho juvenil, primeiros 12 anéis) e outra para a segunda parte (lenho adulto, anéis maiores que 12).

O modelo ajustado para o comprimento de traqueóides para todos os tratamentos e idade menor do que 14 anos foi o seguinte:

$$Ct = 1838,22 + 183,343t \quad (4.12)$$

Onde: Ct = comprimento de traqueóides (μm); t = idade (anos).

O modelo apresentou um coeficiente de determinação de 0,4774, um coeficiente de variação de 21% e magnitudes estatísticas, descritas na Tabela 4.12.

TABELA 4.12 - Estatísticas dos coeficientes do modelo de regressão ajustado para os 12 primeiros anéis de crescimento.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Limites a 95% de probabilidade		Valor de t	Pr.> t
			Inferior	Superior		
b_0	1838,22	30,9129	1773,63	1898,81	59,4645	0,0000
b_1	183,343	3,9711	175,56	191,126	46,1693	0,0000

O modelo ajustado para o comprimento de traqueóides para todos os tratamentos e idade maior ou igual a 14 anos foi o seguinte:

$$Ct = 4072,72 + 11,5584t \quad (4.13)$$

Onde: Ct = comprimento de traqueóides (μm); t = idade (anos).

O modelo apresentou um coeficiente de determinação de 0,0404, um coeficiente de variação de 27%, e magnitudes estatísticas, descritas na Tabela 4.13.

TABELA 4.13 – Estatísticas dos coeficientes do modelo de regressão ajustado para idade maior ou igual a 14 anos.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Limites a 95% de probabilidade		Valor de t	Pr.> t
			Inferior	Superior		
b ₀	4072,7200	290,3600	3502,9000	4642,5300	14,026400	0,0000
b ₁	11,5584	18,5742	-24,8924	48,0092	0,622286	0,5339

Para idade maior ou igual a 14, não foi possível ajustar modelo significativo a 95% de probabilidade de erro. Por esse motivo, a média dos valores foi usada como estimador do comprimento em função da idade. O valor médio do comprimento para idades superiores a 12 anos foi de 4,264 mm.

Igualando-se a primeira equação ao valor médio:

$$1838,22 + 183,343t = 4,264 \quad (4.14)$$

Chega-se a um valor de 13,23 anos para o ponto de transição entre lenho juvenil e adulto, considerando-se todos os tratamentos (espaçamentos). Essa análise é mostrada graficamente na Figura 4.8.

Ou igualando-se as duas equações:

$$1838,22 + 183,343t = 4072,72 + 11,5584t \quad (4.15)$$

Temos um valor de $t = 13anos$.

De acordo com este comportamento e utilizando a inspeção visual da tendência do comprimento dos traqueóides, a região do 13^o anel de crescimento foi considerada de transição, ficando definidas para este estudo a região de madeira juvenil desde o centro da árvore até o 13^o anel e a região de madeira adulta a partir deste, como mostra a Figura 4.8.

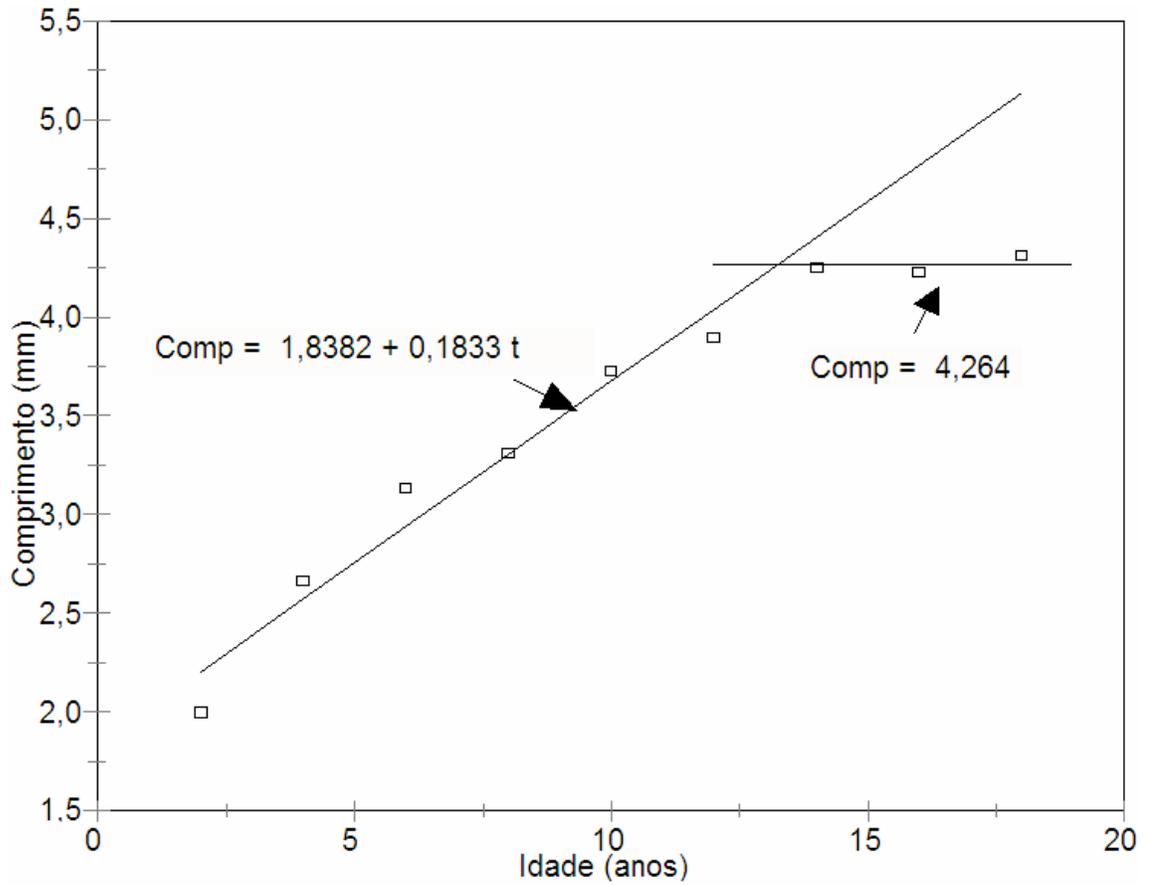


FIGURA 4.8 – Comprimento dos traqueóides em função da idade, mostrando os valores médios observados e estimados para todos os espaçamentos estudados (tratamentos).

A Tabela 4.14 mostra as equações ajustadas para a primeira parte (lenho juvenil), a média para valores maiores ou igual a 14 anos e a idade de transição estimada.

TABELA 4.14 – Idades de segregação para as 18 árvores de *Pinus taeda* L obtidas através de equações ajustadas e dos valores médios.

Tratamento / Espaçamento	Repetição (R)	Equações ajustadas	Valor médio (x)	R ²	IS (anel)
1 ⇒ 1,5 x 1,0	1	$x = 1,7146 + 0,2153 * t$	4,435	0,5872	12,0
	2	$x = 1,925 + 0,2182 * t$	4,399	0,5924	11,3
2 ⇒ 1,5 x 2,0	1	$x = 1,6766 + 0,2280 * t$	4,301	0,4996	11,5
	2	$x = 1,3775 + 0,2212 * t$	4,392	0,4910	13,6
3 ⇒ 1,5 x 3,0	1	$x = 0,8505 + 0,3691 * t$	4,220	0,6284	9,1
	2	$x = 1,8057 + 0,1596 * t$	4,219	0,4960	15,1
4 ⇒ 2,0 x 1,0	1	$x = 1,9043 + 0,1696 * t$	4,130	0,3886	13,1
	2	$x = 2,3628 + 0,1119 * t$	4,138	0,2239	15,9
5 ⇒ 2,0 x 2,0	1	$x = 2,1360 + 0,1453 * t$	4,007	0,3798	12,9
	2	$x = 1,5600 + 0,2051 * t$	3,964	0,5118	11,7
6 ⇒ 2,0 x 3,0	1	$x = 1,5706 + 0,2585 * t$	4,461	0,6137	11,2
	2	$x = 1,5971 + 0,1565 * t$	4,270	0,4734	13,0
7 ⇒ 2,5 x 1,0	1	$x = 1,1355 + 0,3658 * t$	4,533	0,5397	9,2
	2	$x = 1,5015 + 0,2652 * t$	4,068	0,6744	9,7
8 ⇒ 2,5 x 2,0	1	$x = 1,7384 + 0,1846 * t$	4,480	0,5601	14,9
	2	$x = 1,8431 + 0,2082 * t$	4,068	0,4700	10,7
9 ⇒ 2,5 x 3,0	1	$x = 1,6301 + 0,2047 * t$	4,572	0,5558	14,4
	2	$x = 1,9086 + 0,1406 * t$	4,194	0,4272	16,3

Onde: IS=idade de segregação; t = idade (anos); x = média do comprimento dos traqueóides (mm). Os dados em negrito correspondem aos valores mínimo e máximo encontrados para a idade de segregação.

O valor médio da idade de segregação baseado nas estimativas individuais para cada árvore é de 12,5 anos.

Através das equações, foi possível elaborar gráficos para uma melhor visualização dos resultados obtidos e também para confirmação dos valores. Foi elaborado um gráfico para cada árvore em estudo. A título de exemplo, está representada a idade de segregação para uma árvore individual para o espaçamento 1,5 m x 3,0 m, que foi de 9,1 anos (Figura 4.9).

De forma visual se determina em que anel ocorre a estabilização no comprimento de traqueóides, no programa estatístico determina-se que a equação seja calculada até aquele anel, os demais anéis compõem o valor médio. Para elucidar, na Figura 4.8 temos $Ct = 0,8505 + 0,3692 * t$ e um valor médio do

traqueóides de 4,22, assim temos $t=(4220,83-850,369)/369,17$. O ponto de encontro destes valores determina a idade de segregação (Figura 4.9).

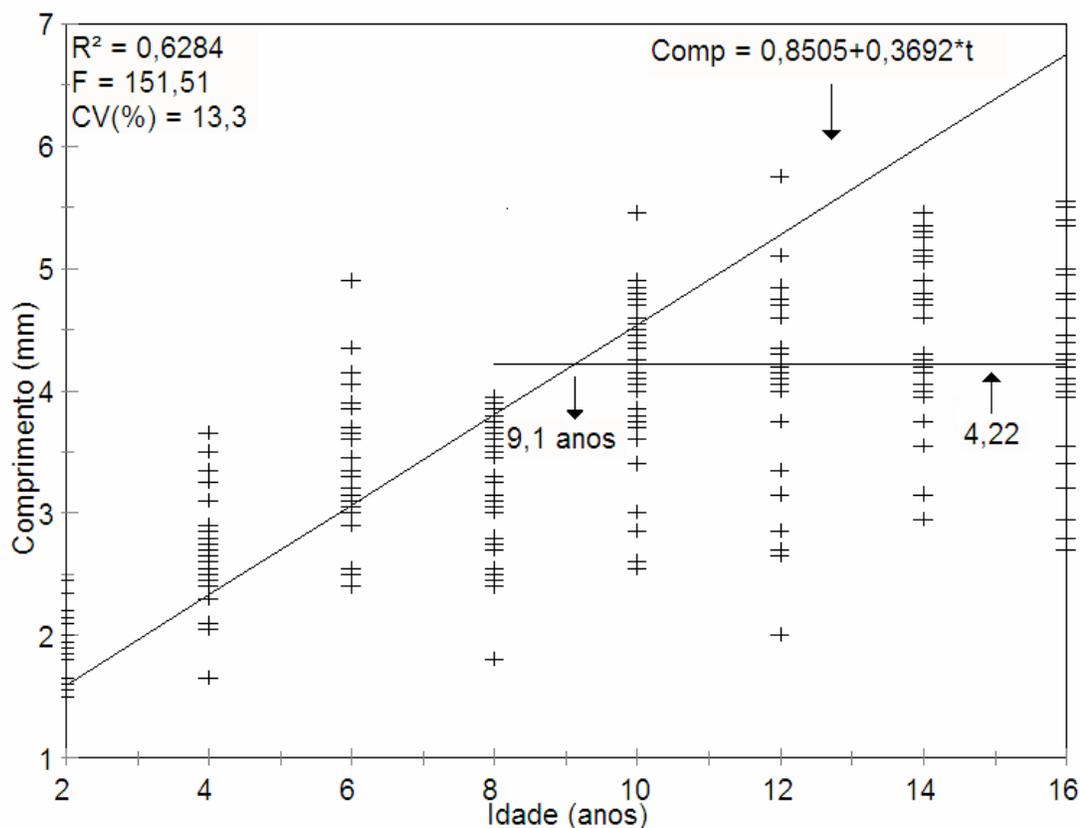


FIGURA 4.9 – Comprimento do traqueóide em função da idade para uma árvore individual, mostrando ponto de transição do lenho juvenil para o adulto – exemplo de como proceder.

Esses valores são condizentes com as estimativas feitas por outros autores que caracterizam a madeira adulta àquela que apresenta traqueóides estabilizados em crescimento. Para *Pinus taeda*, essa estabilização foi encontrada por Zobel (1971) a partir do intervalo do 11º ao 13º anel de crescimento para árvores de 30 anos de idade.

Foelkel; Barrichelo (1975), estudando a transição dos lenhos para a espécie florestal *Pinus elliottii* Engelm., estimaram que o término do período juvenil da espécie ocorre entre o 6º e o 8º anel, correspondendo às idades de 7 a 9 anos.

A análise de variância não identificou diferença na idade de segregação em relação aos tratamentos, podendo-se considerar que a idade é o fator determinante, independente do espaçamento (Tabela 4.15).

TABELA 4.15 – Análise de variância para comprimento dos traqueóides de *Pinus taeda* L.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento	8	44,50834	5,56354	1,3503 ^{ns}
Erro	9	37,08250	4,12028	
Total	17	81,59084		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 < p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$).

4.4.3.2 Método iterativo de regressão não-linear

A determinação da idade de segregação através da regressão Spline quadrática “Piecewise” apresenta as probabilidades estatísticas na Tabela 4.16.

TABELA 4.16 – Estatísticas dos coeficientes do modelo de regressão ajustado para o comprimento de traqueóides.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Limites a 95% de probabilidade		Valor de t	Pr.> t
			Inferior	Superior		
b ₀	1,3402	0,0773	1,1886	1,4918	17,34	<0,0001
b ₁	0,3751	0,0295	0,3173	0,4329	12,73	<0,0001
b ₂	-0,0142	0,0024	-0,0189	-0,0094	-5,88	<0,0001
b ₃	0,1412	0,0450	0,0530	0,2293	3,14	0,0017
b ₄	-0,0043	0,0056	-0,0154	0,0067	-0,77	0,4435
SEG	11,1512	0,5707	10,0321	12,2702	19,54	<0,0001

A Tabela 4.16 apresenta a idade de segregação em torno de 11,15 anos, esse valor pode variar desde 10,03 a 12,27 anos, o modelo ajustado apresenta um coeficiente de determinação ajustado de 0,5222 e um coeficiente de variação de 20,6%. O modelo selecionado para determinar a idade de segregação foi:

$$Ct = 1,3402 + 0,3751t - 0,0142t^2 + 0,1412(11,1 - t) - 0,0043(11,1 - t)^2 \quad (4.16)$$

Onde: Ct = Comprimento de traqueóides (mm); t = idade (anos).

A representação de forma gráfica do momento em que ocorre a mudança de lenhos foi representada na Figura 4.10, onde o ponto de junção dos quadrantes determina a idade de transição, no caso, 11,15 anos.

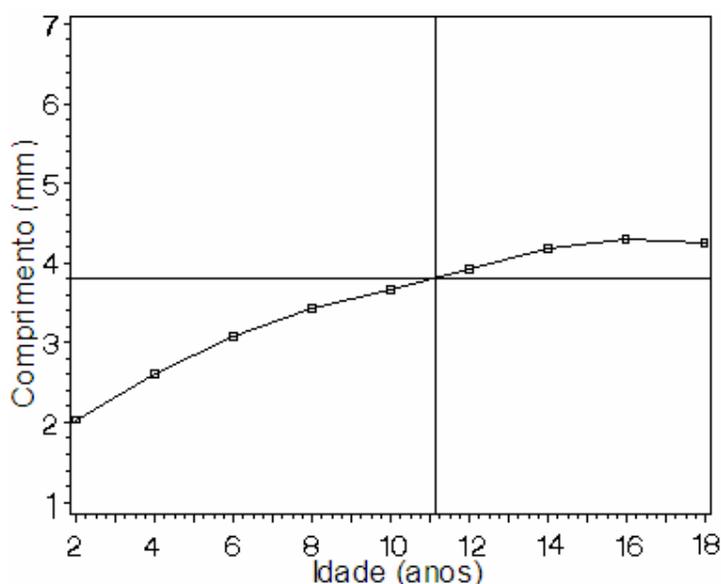


FIGURA 4.10 – Idade de segregação determinada pela função de Spline "Piecwise" para madeira de *Pinus taeda* L.

Tomaselli (1979), estudando *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, observou que o comprimento dos traqueóides aumenta em direção à casca até uma idade entre 9 e 13 anos, após a qual ocorre uma estabilização dimensional.

Qualquer uma das metodologias produz resultados coerentes com os citados na literatura para a espécie de *Pinus taeda*.

4.4.4 Volume produzido a partir da determinação da idade de segregação.

A partir dos dados fornecidos pela análise de tronco e da determinação da idade de segregação, adotada a partir dos 12 anos, foi possível demonstrar a produção de madeira adulta produzida por espaçamento. A Tabela 4.17 apresentou os valores reais de volume por hectare, com base no número de árvores vivas em cada espaçamento aos 18 anos.

TABELA 4.17 – Volume produzido por hectare de madeira adulta em *Pinus taeda* L aos 18 anos.

Tratamento	Espaçamento		Número de árvores vivas	IP _{V18-12} (m ³ /ha)
	Entre linha (m)	Entre planta (m)		Árvores do extrato médio
1	1,5	1,0	2769	150,6
2	1,5	2,0	2528	141,8
3	1,5	3,0	1873	229,9
4	2,0	1,0	3640	157,2
5	2,0	2,0	2153	155,8
6	2,0	3,0	1593	198,8
7	2,5	1,0	2918	154,8
8	2,5	2,0	1794	160,1
9	2,5	3,0	1257	189,0

Onde IP_{V18-12} (m³) = Incremento em volume dos 12 aos 18 anos.

O volume real produzido aos 18 anos de madeira adulta nas árvores de diâmetro médio os valores ficaram na faixa de 229,9 até 141,8 m³/ha nos espaçamentos 1,5 x 3,0 e 1,5 x 2,0 m, respectivamente (Tabela 4.17).

A Figura 4.11, mostra o incremento periódico entre dos 12 aos 18 anos em relação ao número de árvores vivas no momento do corte, onde os maiores volumes estão concentrados nos espaçamento 1,5 x 3,0 m, seguido pelo 2,0 x 3,0 m e 2,5 x 3,0 m, respectivamente tratamentos 3, 6 e 9. Observou-se que nestes espaçamentos o número de árvores por hectare é menor, em relação aos demais, mas concentram os maiores volumes de madeira adulta por hectare.

Esse resultado decorre do maior incremento individual, medido, após a idade de segregação na árvore do extrato médio.

A mesma tendência foi mostrada na Figura 3.14 onde o crescimento em diâmetro dos três tratamentos ficou posicionado acima das curvas dos tratamentos de menor espaço vital por planta.

Assim, embora os tratamentos de maior espaço vital, respectivamente, tratamentos 9, 6 e 3, tenham apresentado, nessa ordem os maiores incrementos periódicos entre os 12 e 18 anos, a maior produção volumétrica ocorreu na ordem inversa, ou seja, nos tratamentos 3, 6 e 9, devido ao maior número de árvores por hectare

Esse resultado mostrou que o espaçamento 1,5 x 3,0 m foi o que produziu a maior quantidade de madeira adulta por hectare, podendo assim, melhor suprir de matéria-prima as indústrias de celulose.

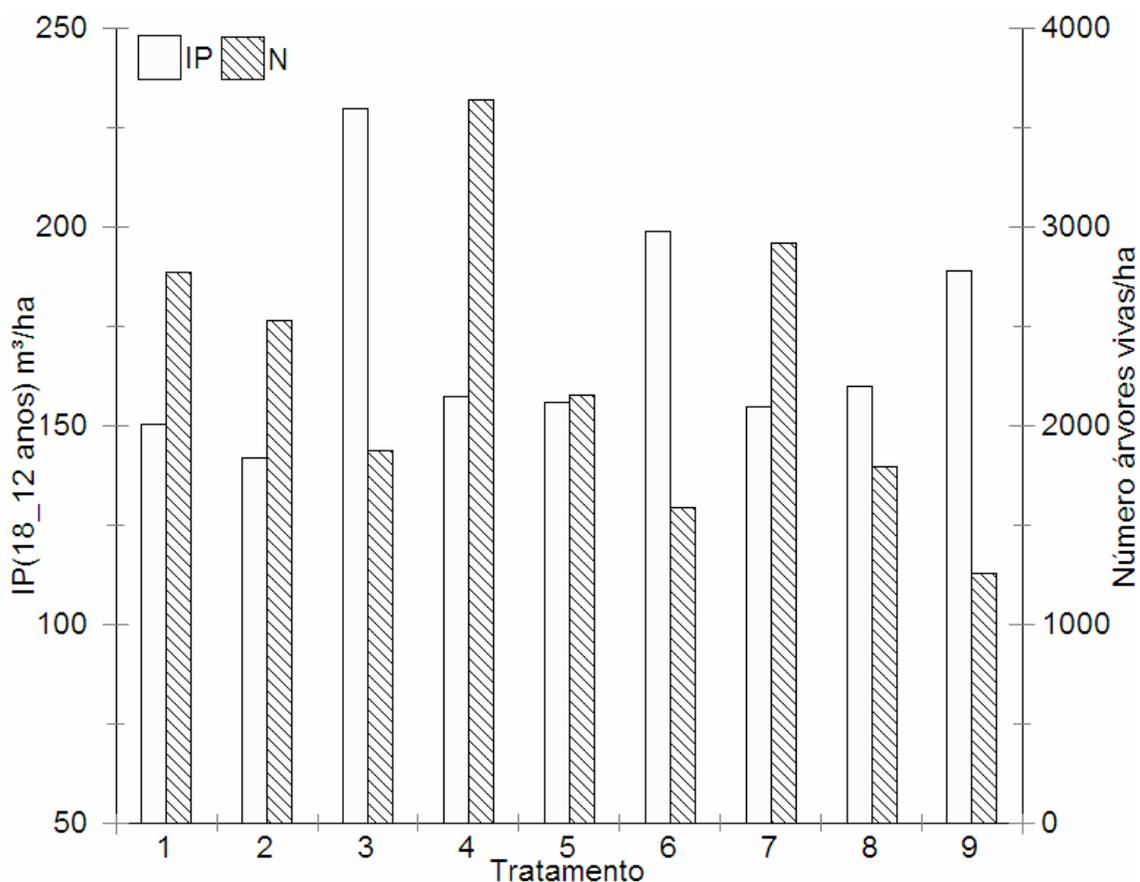


FIGURA 4.11 – Incremento volumétrico de madeira adulta de *Pinus taeda* L. do povoamento hectare.

4.5 Conclusões

Os resultados obtidos sobre o efeito do espaçamento nas características e coeficientes anatômicos, em árvores de *Pinus taeda* L., permitem concluir que:

- A idade de segregação independe do espaçamento.
- O espaçamento das árvores influencia na quantidade de lenho juvenil, pois árvores plantadas em espaçamentos maiores produzem maiores diâmetros e, conseqüentemente, maior proporção de lenho juvenil.
- A fase de transição entre o lenho juvenil baseado nas estimativas individuais para cada árvore é de 12,5 anos. No método de determinação com regressão simples ajustada, a idade foi de 13 anos, já no método que usa regressão Spline "Piecewise" foi de 11,15 anos.
- A idade de corte ideal para povoamentos de *Pinus taeda* deve ser superior a 12,5 anos, pois acima desta idade a árvore produz madeira com características tecnológicas mais consistentes e apropriadas para usos que requerem resistência e previsibilidade.
- O comprimento, que aumenta na direção medula-casca, o diâmetro do lume e a espessura da parede dos traqueóides são influenciados pelo espaçamento na linha de plantio.
- Os índices indicativos de qualidade da polpa, verificados, permitem afirmar que a madeira de *Pinus taeda*, plantada em diferentes espaçamentos é adequada à fabricação de celulose e papel.
- O espaçamento 1,5 x 3,0 m foi o que mais produziu madeira adulta por hectare.

4.6 Referências Bibliográficas

ABDEL-GADIR, A.Y.; KRAHMER, R. L. Estimating the age of demarcation of juvenile and mature wood in Douglas fir. **Wood and Fiber Science**, v. 25, n. 3, p. 242-249, 1993.

ARITA, G. S. et al. **Características morfológicas dos traqueóides de *Pinus taeda* L.** XI Encontro Anual de Iniciação Científica - de 1 a 4/10/2002 - Maringá – PR Universidade Estadual de Maringá/Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação.

BALDI, F. **Il processo di produzione dele paste chimiche e il loro trattamento.** Verona: 8° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari Edizione 2000/2001. 41 p.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**. v. 27, n. 3, p. 271-380, 2003.

BARREIROS, R. M. **Anatomia da madeira _Notas de aula.** 2009. Disponível em: <www.itapeva.unesp.br/docentes/ricardo.../Planos_anatomicos_corte1.pdf>. Acesso em: 22 de outubro de 2009.

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.

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

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, v.2, n.3, p.129-49, 1971.

BROWN, H.P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C.C. **Textbook of wood technology.** New York: McGraw-Hill, 1949. v.1. 652 p.

CASTELO, P. A. R. **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.** Curitiba, 2007. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CAUMO, M. **La raffinazione.** Verona: 10° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari. Edizione 2002/2003. 47 p.

CLARK III, A.; SAUCIER, J.R. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile formation in southern pine. **Forest Product Journal.** v.39, p. 42-48, 1989.

CHEN, S. X.; YANG, M. S.; WANG, L. P. Effect of spacing on volume, storm-resistance and wood quality of *Eucalyptus urophylla*. **Forest-Research.** v.11, n.4, p.435-438, 1998.

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.

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.

COWN, D. J.; KIBBLEWHITE, R. P. Effects of wood quality variation in New Zealand radiata pine on kraft paper properties. **New Zealand Journal of Forestry Science.** v. 10, n. 3, p. 521 - 532, nov. 1980.

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, jan. 1975.

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

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

ESAU, K. **Anatomy of Seed Plants.** 2º Ed. John Wiley & Sons. Inc. New York. 1977.

FLORSHEIM, S. M. B.; TOMAZELLO-FILHO, M.; SPEGIORIN, L. Variação das dimensões no sentido medula-casca e base-topo de árvores de "aroeira" *Myracrodruon urundeuva* F.F. & A.F. Allemão (Anacardiaceae). **Revista do Instituto Florestal**. 1999; v.11, n.2, p.159-171,1999.

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

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E.G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, v.36, n.9, p. 49-53, set 1975.

GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R.; BULIGON, E. A.; CALEGARI, L.; STANGERLIN, D. M.; OLIVEIRA, L. S. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto para *Platanus x acerifolia* (Ait.) Willd. **Revista Cerne**. v.13, n. 4, p.309-398.2007.

GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação**. Brasília DF: IPHAN/MONUMENTA, 2006. 246 p.: Il. Caderno Técnico, 6.

GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; GOMIDE, J. L.; SCHMIDT, C. Qualidade da madeira e da celulose kraft branqueada de treze espécies de *Eucalyptus*. ABCP. **III Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel**. São Paulo: ABCP. p.21-26. Nov. 1983.

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

HOSSEINI, S. Z.; RAFIGHI, A. Effect of spacing on fiber characteristics and extractive material of maple wood (*Acer velutinum*). **IAWA-Journal**. V.23, n.4, p.465-466, 2002.

ISHIGURI, F.; KASAI, S.; YOKOTA, S.; IIZUKA, K.; YOSHIZAWA, N. Wood quality of sugi (*Cryptomeria japonica*) grown at four initial spacings. **IAWA-Journal**. 2005; v.26, n.3, p.275-386, 2005.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Curitiba, 2000. 347 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. **Química da madeira**. 2.ed. Curitiba: FUPEF – Série didática n.2/98, 1998. 91 p.

KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. **Growndise der Forestbenutzung**. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin. 1966. 91 p.

KOLLMANN, F. P.; CÔTÉ Jr. A. **Principles of wood science and technology**. v. 1. Solid wood. Berlin: Springer Verlag, 1968. 592 p.

KRAHMER, R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: A technical workshop: juvenile wood-what does it mean to forest management and forest products, 1985, Washington. **Proceeding...**Madison: Forest Products Research Society, 1986. p. 12-16.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. EDUR, 1997.

KUCERA, B. A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in Normay spruce. **Wood and Fiber Science**, v.26,n.1,p.152-167, 1994.

LARSON, P.R.; KRETSCHMANN, D.E.; CLARK III, A.; ISEBRANDS, J.G. **“Formation and Properties of Juvenile Wood in Southern Pines: A Synopsis”**. General Technical Report. FPL-GTR-129. USDA Forest Products Laboratory. Madison. 42 p. 2001.

LISBOA, P. L. B. A anatomia da madeira. **Ciência Hoje**, v.13, n.74, p.44-51, jul. de 1991.

LUXMI, C.; SANGEETA, G.; MADHWAL, R, C.; RAJIV, P. Studies on the effect of spacing on the wood quality in some clones of *Populus deltoides*. **Indian-Forester**. v.127, n.1, p.101-106, 2001.

MELO, C. F. M.; WISNIEWSKI, A.; ALVES, S. M. Possibilidades papeleiras do açazeiro. **O papel**, v. 36, n. 1, p. 33 - 43, 1975.

MENDONÇA, M. A. **Características da Madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel**. Curitiba 1982.124 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.

MÜHLSTEPH, W. **Cellulosechemie**, v.18, n.6, p. 132, 1940a.

MÜHLSTEPH, W. **Holz Roh-u Werkstoff**, v.3, n.2, p .45, 1940b.

MÜHLSTEPH, W. **Papierfabr.** v.72. n.14, p.201, 1941.

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

NIGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 2005. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.

ODA, S.; MELLO, E.J.; MENCK, A.L.M. Variação da densidade básica da madeira de clones de *E. grandis* e *E. saligna* em diferentes espaçamentos, com 6 anos de idade. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990. Campos do Jordão, SP. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p.701-705.

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

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

PEREIRA, et al. Morfologia e densidade básica das folhas de tucum (*bactris inundata* martius) como fonte de fibras celulósicas para papel. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, 2002.

PETERI, R. Pulping studies with African tropical woods. **TAPPI**, v.35, n.4, p.157-160, 1952.

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. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.267-273, 2004.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. do. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, jun. 2004.

SAUCIER, J. R. **Forest Management and wood quality**. Proceedings of southern plantation wood quality workshop - United States Department of Agriculture Forest Service. Athens, Georgia June 6-7, 1989.

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

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.

SILVA, J. C. Características da madeira de eucalipto. **Revista da Madeira**, n.52,p. 30-8, 2000.

SPÄTH, H. **Spline-Algorithmen zur Konstruktion glatter Kurven und Flâchen**. Munchen: R. Oldenbourg Verlag GmbH, 1973, 134p.

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

TOMASELLI, I. Estudos da densidade básica e dimensões de traqueóides de povoamentos de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. Curitiba: **FUPEF**, jul. 1979. 70 f.

YANG, K, C. Impact of spacing on width and basal area of juvenile and mature wood in *Picea mariana* and *Picea glauca*. **Wood and Fiber Science**. v.26, n.4, p.479-488, 1994.

YANG, K, C.; HAZENBERG, G. Impact of spacing on tracheid length, relative density, and growth rate of juvenile wood and mature wood in *Picea mariana*. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 24, n.5, p.996-1007, 1994.

WATSON, A. J.; DADSWELL, H. E. Influence of fibre morphology on paper properties – Part I. Fibre length. **APPITA**, Carlton, v. 14, n. 5, p. 168 – 178, mar. 1961.

WHEELER, E. **Wood anatomy and properties**. Disponível em <http://legacy.ncsu.edu/WPS202/syllabus.html>. Acesso em 02 de outubro de 2005.

ZOBEL, B.J. Genetic manipulation of wood of southern pines, including chemical characteristics. **Paper presents at a general meeting of the international academy of wood science**. North Carolina State University, Raleigh. 1971.

ZOBEL, B.J.; SPRAGUE, J. R. **Juvenile wood in forest tress**. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1998. 300 p.

5 PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L. EM POVOAMENTOS COM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

5.1 Introdução

Atualmente tem sido constante a procura por novas alternativas para suprir uma possível escassez de madeira, e também um aproveitamento integral desse material. As indústrias requerem, cada vez mais, florestas produtivas e matéria-prima de qualidade uniforme, dando destinos variados aos povoamentos e agregando valor ao produto. Para que isso possa acontecer é necessário combinar técnicas silviculturais e de manejo, que sejam aliadas na busca por qualidade e quantidade de matéria-prima.

Dentre as variáveis importantes na produção florestal para obtenção destes resultados, pode-se destacar a escolha do espaçamento como um parâmetro fundamental na implantação e condução do povoamento, uma vez que tende a influenciar a taxa de crescimento das árvores, qualidade da madeira, idade de corte, bem como no manejo e colheita (BALLONI; SIMÕES, 1980).

A relação existente entre algumas propriedades da madeira, em função da aceleração da taxa de crescimento, que resulta da adoção de diferentes espaçamentos, ainda é pouco conhecida.

Diante de questões importantes e complexas que compõem o contexto do planejamento da produção de madeira, tornam-se indispensáveis as informações relacionadas às características e à qualidade da madeira que será produzida em função dos espaçamentos iniciais de plantio.

Diante do exposto, este capítulo teve por objetivo caracterizar a madeira de *Pinus taeda* L., com base no comportamento da massa específica básica e das propriedades mecânicas, em função da idade e dos diferentes espaçamentos.

5.2 Revisão Bibliográfica

5.2.1 Massa específica básica

A massa específica é um dos principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da madeira, pois, além de sua fácil determinação, se correlaciona intimamente com outras propriedades físicas e mecânicas desse material (DURLO, 1991; LIMA, 1994; SCHNEIDER, 2002).

A qualidade da madeira vem ganhando cada vez mais importância, principalmente em florestas de rápido crescimento. Nestas, acentua-se a sua importância quando as rotações curtas são usadas. Em muitos casos, a aceitação de um produto, ou sua rejeição, no mercado, pode estar diretamente relacionada aos valores de massa específica básica. Para alguns produtos, uma alta massa específica básica da madeira é desejável; para outros, uma baixa massa específica é mais adequada (ZOBEL, 1978; KAGEYAMA et al., 1982; SCHILLING, 1996).

Silva (2002) relata que a massa específica da madeira é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes internos, fornecendo inúmeras informações sobre as características da madeira, devido principalmente a sua íntima relação com várias outras propriedades. Segundo o mesmo autor, esta característica torna-se um parâmetro muito utilizado para qualificar a madeira nos diversos segmentos da atividade industrial. Haselein et al. (2002) afirmam existir uma estreita relação entre a massa específica da madeira e as propriedades mecânicas, sendo que, desta forma, qualquer fator que acarrete alteração na primeira irá produzir efeitos nas últimas.

De maneira geral, a massa específica básica é influenciada por diversos fatores, estando entre eles à espessura da parede celular, dimensões do traqueóide, teor de extrativos, origem da semente, condições edafoclimáticas, sistema de implantação e condução da floresta. Varia significativamente em função da taxa de crescimento, local de origem, espaçamento, idade, procedência, entre gêneros, espécies, entre árvores da mesma espécie, dentro da mesma espécie, dentro da mesma árvore e ainda no sentido base-topo e medula-casca (FERREIRA; KAGEYAMA, 1978; TOMAZELLO FILHO, 1985).

A variação da massa específica entre as espécies depende de sua interação com o ambiente e das variações verificadas nas propriedades dos traqueóides e a proporção entre os diversos elementos. Do ponto de vista tecnológico, tão importante quanto o estudo da variabilidade individual da massa específica é o diagnóstico de sua variabilidade dentro da árvore, tanto no sentido transversal (radial) como no sentido longitudinal (BARRICHELO et al., 1983).

Para Brasil; Ferreira (1972), qualquer modificação estrutural terá grande influência na utilização desta madeira e irá refletir na sua qualidade. Os índices primordiais, considerados pelos mesmos autores, na análise da qualidade da madeira são massa específica, comprimento e espessura da parede dos elementos fibrosos. Barrichelo et al. (1983) e, posteriormente, Silva (2002) relatam que as características anatômicas da madeira, como comprimento de fibra, espessura da parede, proporções dos vários tipos de células e tecidos, como vasos e parênquima, possuem certa correlação com a massa específica. Tal propriedade se correlaciona com as dimensões dos traqueóides, com exceção da largura, que permanece praticamente inalterada. Estas relações, segundo os autores, definem padrões de qualidade da madeira para determinados usos.

5.2.2 Porcentagem de lenho juvenil e adulto em relação às propriedades físicas e mecânicas da madeira

A massa específica da madeira tende a aumentar com a idade devido ao aumento da espessura da parede celular e diminuição do lume das células, ou seja, à medida que diminui a proporção de madeira juvenil no tronco da árvore (FERREIRA; KAGEYAMA, 1978; VITAL, 1984).

Segundo Bendsten (1978), a massa específica da madeira juvenil de várias espécies do gênero *Pinus* é baixa em relação à madeira adulta, 360 kg/m³ e 680 kg/m³, respectivamente, para madeira juvenil e adulta. A proporção encontrada foi de 60% de madeira juvenil em árvores de 40 anos de idade.

Outros estudos demonstram diferenças significativas entre a massa específica da madeira juvenil e adulta em coníferas. Bendtsen (1978), em *Pinus caribaea*, encontrou massa específica em torno de 0,36 e 0,68 g/cm³ para os lenhos

juvenil e adulto; Clark et al. (1989), em *Pinus taeda*, com 28 anos e em diferentes localidades geográficas, encontraram uma diferença que foi de 14 a 21% menor na madeira juvenil; McAlister; Clark (1992), em *Pinus taeda*, com 36 anos de idade e três localidades distintas, encontraram uma diferença de 22 a 28% menor entre a massa específica da madeira juvenil; Yang; Hazengerg (1994), em *Picea mariana* com 38 anos de idade, determinaram valores de 8% menores na massa específica de madeira juvenil, em árvores com espaçamento inicial de 1,8 x 1,8 m em relação a espaçamentos maiores; e Kretschmann (1997), em *Pinus taeda* com 28 anos de idade, encontrou valores 15% menores de madeira juvenil.

Para Dadswell (1957), as condições externas e a variação climática podem influenciar a porcentagem de lenho tardio nos diversos anos de crescimento. Pesquisas realizadas por Gurfinkel (1973) indicaram que a porcentagem de lenho tardio influencia diretamente a massa específica e a resistência da madeira.

A madeira juvenil apresenta, geralmente, traqueóides mais curtos e menor massa específica que a madeira normal. Conseqüentemente, possui propriedades físicas e mecânicas inferiores à madeira normal. A madeira juvenil ocorre tanto nas folhosas como nas coníferas, sendo que nas coníferas as diferenças entre madeira adulta e juvenil são maiores que nas folhosas. O comprimento dos traqueóides nas coníferas pode ser quatro vezes maior na madeira adulta; ao passo que, nas folhosas, os traqueóides podem aumentar até duas vezes mais na madeira adulta. Nas folhosas, a madeira juvenil não é considerada um problema significativo, porém a qualidade da madeira é mais influenciada em sua fase juvenil do que na fase adulta (JACOB; BALLONI, 1978 e ZOBEL, 1981).

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade de lenho juvenil apresentam classes de resistência inferiores, sendo este o motivo pelo qual as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira (McALISTER; CLARK, 1992; GEIMER et al., 1997).

Segundo Larson et al. (2001), os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) da madeira têm alta relação com a massa específica; portanto, são influenciados pela quantidade de madeira juvenil. Os autores relataram que existem poucos estudos comparativos entre estas propriedades nos dois tipos de lenho. Os trabalhos encontrados na literatura apresentam valores baixos para a madeira juvenil, nestas duas propriedades. As pesquisas têm reportado que o módulo de elasticidade, a resistência, a compressão paralela e normal a grã, a flexão estática e

a tração paralela são seriamente afetadas pela presença de madeira juvenil (PERSON; ROSS, 1984; BENTDSEN; SENFT, 1986; PEARSON, 1988; KRETSCHMANN; BENDTSEN, 1992; KRETSCHMANN, 1997; McALISTER et al., 1997; EVANS et al., 2000).

Ao analisar madeira proveniente de plantios de pinus com 25, 30 e 35 anos de idade, plantados em espaçamentos de 1,8 x 18 m, Biblis et al. (1993) observaram que parte da madeira não atendia aos valores de resistência estabelecidos pela SPIB. Com o aumento da idade, aumentou a porcentagem de peças que satisfaziam as exigências da norma em termos de resistência da classe.

Já McAlister; Powers Jr. (1992) encontraram, tanto para madeira de *Pinus taeda* como para a de *Pinus elliottii*, com 15 anos de idade, valores de MOE e MOR correspondentes a 1/5 e 1/2, respectivamente, daqueles publicados para madeira dessas espécies com mais de 50 anos de idade (USDA, 1987). As diferenças em massa específica básica foram apenas 10 a 20% menores do que as publicadas, evidenciando que essa variável, isoladamente, não explica a baixa resistência encontrada.

Kucera (1994), estudando a influência do espaçamento entre árvores de *Picea abies* observou que o início de formação de madeira adulta, na base do tronco, ocorre quando o incremento corrente anual e a altura atingem o valor máximo. Em espaçamento menor, o início da madeira adulta deu-se entre 18 e 19 anos e para o espaçamento maior, entre 28 e 29 anos.

Saucier (1989), em seus estudos com espécies do gênero *Pinus*, concluiu que o espaçamento não influenciou na idade de formação da madeira juvenil, mas sim influenciou na proporção produzida, sendo que nos menores espaçamentos se produziu menor proporção de madeira juvenil. Por outro lado, a idade de rotação influenciou significativamente na proporção de madeira juvenil, decrescendo esta proporção com o aumento da rotação.

Segundo Faust et al. (1999), o espaçamento inicial influencia a quantidade de lenho juvenil produzido no tronco, mas não a idade de transição do lenho juvenil/adulto. Observaram também que a idade de transição depende da região geográfica. Porém, para uma mesma localidade, não haveria variação da idade de transição entre *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

De acordo com Malan (1995), a qualidade da madeira varia de árvore para árvore, bem como dentro de troncos individuais. A variação no sentido radial é a

fonte de variação mais importante, sendo que a sua extensão é determinada pela proporção de madeira juvenil e de suas características físicas, mecânicas, químicas e anatômicas ao longo do raio.

De modo geral, a maioria dos trabalhos sobre madeira juvenil enfatiza que o crescimento rápido nas plantações origina a formação de madeira de qualidade inferior e que, atualmente, é grande a proporção de madeira juvenil comercializada, trazendo como resultado problemas de qualidade nos produtos obtidos deste tipo de matéria-prima (BROWN; McWILLIAMS, 1989).

A produção de madeira juvenil é o resultado do processo de crescimento fisiológico normal da árvore; portanto, não há muitas alternativas para os silvicultores. A quantidade de madeira juvenil, que pode ser reduzida pela mudança no modelo de crescimento das árvores, é muito pequena. Quase todas as alternativas para conseguir maior crescimento nas árvores resultam em maiores quantidades de madeira juvenil. Por exemplo, quando as árvores de *Pinus resinosa* são fertilizadas com nitrogênio, a região de madeira juvenil aumenta no tronco (ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

Muitos estudos têm sido conduzidos para determinar o ponto ou a idade de transição entre a madeira juvenil e a adulta em várias espécies, como: Loo et al. (1985) em *Pinus* sp; Bendtsen; Senft (1986) em *Pinus taeda* e *Populus deltoides*; Yang et al. (1986) em *Larix laricina*; Clark; Saucier (1989) em *Pinus taeda* e *Pinus elliotii*; Ross et al. (1990) em *Populus tremuloides*; Abdel-Gadir; Krahmer (1993) em *Pseudotsuga menziesii*; Yang; Hazenberg (1994) em *Picea mariana*; e Tasissa; Burkhart (1998) em *Pinus taeda*.

Loo et al. (1985) reportaram que a idade de transição da madeira juvenil para adulta, mensurada através das variações da massa específica ou do comprimento de traqueóides, é diferente de acordo com as espécies. Por exemplo, essa transição, avaliada pela variação da massa específica, ocorre entre 5 e 6 anos em *Pinus elliotii*, *Pinus caribaea* e *Pinus radiata*, aproximadamente aos 10 anos em *Pinus taeda* e 20 anos em *Pinus ponderosa*.

Zobel (1971) e Krahmer (1986) caracterizaram a madeira juvenil e adulta com base na evolução dos elementos anatômicos que as constituem; neste caso a madeira adulta refere-se ao lenho que apresenta traqueóides estabilizados em crescimento. Para *Pinus taeda* com 30 anos de idade, essa estabilização foi encontrada a partir do 11^o ao 13^o anel de crescimento.

Pesquisadores têm reportado a dificuldade na determinação precisa e consistente do limite entre a madeira juvenil e adulta, principalmente devido à transição gradual desta mudança e às variações existentes entre as espécies e a localização geográfica (BENDTSEN; SENFT, 1986; CLARK; SAUCIER, 1989; ROSS et al., 1990; ABDEL- GADIR; KRAHMER, 1993; EVANS et al., 2000).

A madeira juvenil, de modo geral, caracteriza-se por menor massa específica, maior ângulo das microfibrilas na camada S2, traqueóides mais curtos, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e hemicelulose, menor conteúdo de celulose e menor resistência, em relação à madeira adulta (BENDTSEN, 1978; ZOBEL, 1984; SENFT et al., 1985; ROWELL et al., 2000).

5.2.3 Propriedades mecânicas

Rocha et al. (1988) ressaltam que o termo resistência, aplicado aos materiais como a madeira, significa a habilidade que tem o material de resistir a forças externas ou cargas, tendendo a alterar seu tamanho e sua forma. A carga aplicada a um corpo sólido induz uma força interna que tende a resistir às alterações no tamanho e forma. Esta força é conhecida como tensão e pode ser expressa em kgf/cm^2 . As alterações de tamanho e forma são conhecidas como deformações. A deformação é proporcional ao carregamento aplicado até chegar a um ponto em que esta proporcionalidade deixa de existir. Este ponto é conhecido como limite de proporcionalidade. Além deste, é suficiente um pequeno incremento de carga para provocar a deformação irreversível (deformação plástica), chegando até a ruptura. O limite de resistência e o comportamento elástico são características próprias de cada material e, na madeira, de cada espécie. O ângulo formado pela linha reta entre dois pontos arbitrários e a abscissa no diagrama carga x deformação, dentro do limite de proporcionalidade, é conhecido como módulo de elasticidade.

Elasticidade é o nome que se dá à capacidade de um determinado material sofrer a aplicação de uma carga, apresentar deformação proporcional a sua intensidade e retornar a sua forma original. Assim, nas madeiras, o MOE é um

critério utilizado para a classificação mecânica e pode ser medido de diversas formas (USDA, 1987).

De acordo com a mesma fonte, normalmente mede-se o MOE aparente. Como a madeira é um material heterogêneo, o MOE aparente depende do comprimento do vão, da orientação da peça, do modo do teste (estático ou dinâmico) e do modo como será aplicada a carga, ou seja, tensão, flexão, concentrada, uniforme etc.

A resistência da madeira, segundo Nunes (2006), é, em primeiro lugar, função da espécie florestal e da qualidade das peças, avaliada de forma objetiva com o tipo e dimensão máxima dos defeitos presentes. Estes dois fatores determinam os valores característicos de resistência da madeira relativamente aos diversos esforços.

A resistência à compressão axial refere-se à carga suportável por uma peça de madeira quando esta é aplicada em direção paralela às fibras. Já nos ensaios de flexão estática, uma carga é aplicada tangencialmente aos anéis de crescimento em uma amostra apoiada nos extremos (NUNES, 2006). Segundo o autor, através do ensaio de resistência à tração, é possível obter índices que facilitam a seleção de madeiras capazes de serem empregadas em treliças de telhados, cujas seções tornam-se reduzidas em função de ligações e, portanto, sujeitas a este tipo de esforço.

A direção do plano de atuação das tensões de cisalhamento tem influência direta na resistência da madeira, para este tipo de solicitação. Quando este plano é perpendicular à direção das fibras (ou traqueóides), a madeira apresenta alta resistência pelo fato da ruptura cisalhar esses elementos. Antes de romper por cisalhamento, certamente a peça já apresentará problemas de resistência na compressão normal (BARREIROS, 2009).

No ensaio de compressão perpendicular às fibras, é aplicada uma carga sobre a peça de madeira a fim de se verificar o valor máximo que a espécie suporta sem ser esmagada. Já a resistência à flexão dinâmica é capacidade da madeira em suportar esforços mecânicos ou choques (NUNES, 2006).

A determinação do MOE (módulo de elasticidade) é uma estimativa do módulo médio da classe de resistência, usando-se o módulo de elasticidade para madeira limpa como base. A utilização de corpos de prova com dimensões apropriadas para estabelecer as propriedades mecânicas da madeira exige uma

amostragem representativa da população em estudo. Além disso, estas propriedades podem ser modificadas conforme as condições de uso, considerando o teor de umidade, a duração da carga e a segurança exigida (ASTM, 1995).

5.2.4 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. No entanto, esta mesma variabilidade, quando encarada ao nível individual ou dentro da mesma espécie, representa um inconveniente da madeira como material (BIRKLAND, 1990).

A madeira é julgada pela sua qualidade para o uso a que foi destinada: na fabricação de compensados, na produção de celulose e papel ou após o desdobro nas serrarias. A qualidade, por sua vez, é avaliada por parâmetros como densidade, comprimento de fibra, ângulos das fibrilas, que afetam diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira (JANKOWSKY, 1979).

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 dos traqueóides, composição química e teores de madeira juvenil e adulta (BRITO, 1983).

Kollmann; Côté (1968) explicam que os fatores ambientais, como solo, calor, precipitação e ventos, juntamente com as tendências hereditárias e influências fisiológicas e mecânicas, afetam a estrutura da madeira e, conseqüentemente, sua densidade. Segundo os mesmos autores, a estrutura da madeira é caracterizada pela soma proporcional de diferentes tipos celulares, traqueóides, vasos, canais resiníferos, raios e por suas dimensões, especialmente a espessura das paredes celulares.

A massa específica da madeira reflete a composição química e o volume de matéria lenhosa por peso, sendo considerada, por Burger; Richter (1991), a característica tecnológica mais importante da madeira, pois dela dependem outras propriedades, tais como: resistência mecânica, retratibilidade pela perda e/ou absorção de água. Além disso, é uma importante propriedade a ser considerada na determinação da utilidade de uma determinada madeira (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

Latorraca; Albuquerque (2000), estudando o efeito do rápido crescimento das árvores sobre as propriedades da madeira, observaram que a maioria dos problemas relacionados à qualidade da madeira origina-se de algumas características do lenho juvenil, ou seja, baixa massa específica, baixa resistência e a propensão de contração mais acentuada.

Jankowsky (1979) comenta que os diversos problemas ou inconvenientes que surgem, durante a industrialização das árvores, devem-se às diferenças de estrutura e propriedades existentes entre madeira juvenil e adulta. Em alguns processos de aproveitamento da madeira, é recomendável utilizar árvores que contenham uma grande proporção de madeira juvenil, por exemplo, para a produção de papel.

Porém, quando o objetivo for empregar a madeira para desdobro, a presença do lenho juvenil pode ser prejudicial.

A presença de nós na madeira tem grande influência no rendimento de seu processamento, por causa da diminuição da resistência mecânica. O efeito dos nós dependerá do seu tamanho, número, distribuição, características, se for solto ou vazado e associado ao desvio da grã e à madeira de reação. As desramas podem aumentar sensivelmente a proporção de madeira livre de nós (*clearwood*), o que eleva os custos de produção, mas agregam valor em todo processo produtivo, influenciando desde o rendimento de madeira serrada em classes de qualidade superior, até a redução de cortes a que se deve submeter a madeira para seu aproveitamento (AMBIENTE BRASIL, 2007b).

Os módulos de ruptura e de elasticidade sofrem influência direta da massa específica e esta se relaciona diretamente com a proporção de lenho juvenil presente nas árvores. Alguns autores fazem a relação de quanto menor a proporção de lenho juvenil, maior será a massa específica e maiores os módulos de ruptura e de elasticidade (BALLARIN; PALMA, 2003).

5.3 Material e Métodos

A localização e a caracterização da área experimental, bem como a descrição do experimento de espaçamento, seleção e amostragem das árvores utilizadas, seguem os procedimentos descritos nos itens 2.1 e 2.2, respectivamente.

5.3.1 Massa específica básica

Para o estudo da massa específica básica, foram retirados discos com, aproximadamente, dois centímetros e meio de espessura, coletados nas seguintes posições do tronco: base (0), DAP (1,30 m), 3,30 m e após de metro em metro até a altura total de cada árvore. Após o seccionamento, os discos foram numerados de acordo com sua posição relativa no tronco e localização experimental. Em seguida,

os mesmos foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde foram marcadas e seccionadas duas cunhas simetricamente opostas, contendo partes de cerne e alburno.

As cunhas de madeira foram submersas em água, onde permaneceram até atingir peso constante. O peso seco foi obtido após a secagem em estufa a 103°C, através de pesagens sucessivas até peso constante. Com o volume saturado e peso seco das cunhas determinados, realizou-se o cálculo da massa específica básica, conforme Equação 5.1.

$$\rho_{bas} = \frac{Po}{Vu} \quad (5.1)$$

Onde: ρ_{bas} = massa específica básica, g/cm³; Po = peso seco em estufa, g; Vu = volume saturado, cm³.

A massa específica básica da madeira em cada posição relativa do tronco foi então determinada pela média dos valores das duas cunhas. Em seguida, calculou-se a massa específica básica ponderada em função do volume de cada árvore. Esse cálculo baseia-se na ponderação dos valores de massa específica básica obtidos em cada posição relativa, com os volumes sem casca correspondentes, entre duas posições sucessivas (Equação 5.2).

$$\rho_{b\ pond.} = \frac{[(\rho_{b\ 0\%} + \rho_{b\ dap})/2]v_1 + [(\rho_{b\ "i"} + \rho_{b\ "i+1"})/2]v_i}{v_{total\ s/c}} \quad (5.2)$$

Onde: $\rho_{b\ pond.}$ = massa específica básica ponderada em função do volume da árvore, g/cm³; $\rho_{b\ "i"}$ = massa específica básica na posição "i", g/cm³; v_1, v_i = volume sem casca correspondente a duas posições sucessivas, m³; v_{total} = volume total sem casca da árvore, m³.

5.3.2 Variação radial da massa específica básica

Do disco retirado no DAP (diâmetro à altura do peito), foram seccionadas baguetas de 2 cm de largura, incluindo a medula. Pela impossibilidade de divisão da bagueta por anel de crescimento, no sentido medula-casca, foram retirados corpos de prova de 1 em 1 centímetro. A massa específica de cada corpo de prova foi determinada da mesma forma que descrito no item 5.3.1.

A bagueta foi fragmentada de centímetro em centímetro, sendo determinada a massa específica básica de cada centímetro. Para determinar a massa específica por anel, foram utilizados dados da análise de tronco. Sabendo-se a que distância cada anel se encontrava da medula foi feita a interpolação dos dados.

5.3.3 Flexão estática

Para a determinação das propriedades de flexão estática, foram retirados corpos de prova da primeira tora de cada árvore, a partir do DAP, com 2,0 m de comprimento, desdobrada num pranchão central orientado axialmente contendo a medula.

O pranchão tinha em torno de 10 cm de espessura com a medula incluída e bem-orientada. O pranchão central foi dividido em tantos pontaletes (corpos de prova) quanto possíveis, tomados a partir da medula, que foi eliminada.

Os pranchões foram gradeados em local arejado e coberto para uma secagem lenta e gradual. Depois de secos, a espessura foi reduzida de 10 para 8 cm, com auxílio de uma plaina desengrossadeira.

Os procedimentos de confecção, condicionamento e ensaio dos corpos de prova seguiram as recomendações da norma ASTM D143-94 (1995). Para o teste de flexão estática, usou-se corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 41 cm, com uma velocidade de ensaio de 1,3 mm/min. Os corpos de prova foram marcados na prancha e tiveram anotada a sua posição, para facilitar a análise dos resultados.

Após sua confecção, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada a uma temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%. Nessas

condições, foram mantidos até que não houvesse mais variações em peso, ou seja, até a madeira atingir uma umidade de equilíbrio de, aproximadamente, 12%.

Os corpos de prova tiveram suas dimensões (comprimento, espessura e largura) medidas com paquímetro digital e pesados em balança analítica com precisão de 0,01 g para determinar a massa específica de cada corpo de prova, dado este usado para relacionar com as propriedades de flexão estática (MOE e MOR).

Os ensaios mecânicos foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaio, marca Wolpert, com capacidade de 20 toneladas, do Laboratório de Produtos Florestais, do Departamento de Ciências Florestais da UFSM.

5.3.4 Análise estatística dos dados

Para a análise do efeito do espaçamento nas características tecnológicas, os dados amostrados das árvores dominantes e do extrato médio, foram processados pelo pacote estatístico STATGRAPHICS Plus e pelo SAS.

As análises de regressão foram feitas por meio do programa estatístico. A seleção dos modelos de regressão teve como base os menores valores de P , S_{yx} (erro padrão da estimativa), os maiores valores de F , R^2_{aj} (coeficiente de determinação ajustado) e através da análise visual dos gráficos dos resíduos.

5.4 Resultados e Discussão

5.4.1 Massa específica básica ponderada em função do volume de madeira

A Tabela 5.1 exibe os valores médios, mínimo e máximo, determinados para a massa específica básica ponderada das árvores amostradas juntamente com o coeficiente de variação.

TABELA 5.1 – Valores máximo, médio, mínimo e CV (%), de massa específica básica ponderada em função do volume total para as árvores dominantes e do extrato médio de *Pinus taeda* L.

Massa Específica Básica Ponderada (g/cm³)			
Tratamento/ Espaçamento (m)	Valores	Árvores dominantes	Árvores do extrato médio
1 ⇒ 1,5 x 1,0	Máximo	0,4209	0,4494
	Médio	0,3963	0,4251
	Mínimo	0,3712	0,4002
	CV (%)	6,27	5,78
2 ⇒ 1,5 x 2,0	Máximo	0,4550	0,4692
	Médio	0,4192	0,4068
	Mínimo	0,3835	0,3599
	CV (%)	12,06	13,82
3 ⇒ 1,5 x 3,0	Máximo	0,4314	0,4198
	Médio	0,4027	0,3969
	Mínimo	0,3549	0,3593
	CV (%)	10,35	8,26
4 ⇒ 2,0 x 1,0	Máximo	0,4081	0,4022
	Médio	0,3899	0,3938
	Mínimo	0,3670	0,3865
	CV (%)	5,32	1,99
5 ⇒ 2,0 x 2,0	Máximo	0,4668	0,4419
	Médio	0,4172	0,4240
	Mínimo	0,3662	0,4061
	CV (%)	17,30	6,00
6 ⇒ 2,0 x 3,0	Máximo	0,4057	0,4275
	Médio	0,4015	0,4159
	Mínimo	0,3990	0,4006
	CV (%)	0,90	3,32
7 ⇒ 2,5 x 1,0	Máximo	0,4494	0,4735
	Médio	0,4152	0,4443
	Mínimo	0,3904	0,4022
	CV (%)	7,36	8,41
8 ⇒ 2,5 x 2,0	Máximo	0,4375	0,4230
	Médio	0,4025	0,4067
	Mínimo	0,3552	0,3823
	CV (%)	10,55	5,30
9 ⇒ 2,5 x 3,0	Máximo	0,4174	0,4326
	Médio	0,3964	0,4304
	Mínimo	0,3765	0,4275
	CV (%)	5,16	6,12

Árvores dominantes apresentaram valores médios para a massa específica básica entre 419 kg/m³ e 390 kg/m³ nos espaçamentos 1,5 x 2,0 e 2,0 x 1,0 m, respectivamente, demonstrando uma amplitude na variação dos dados de 29 kg/m³. Já para árvores do extrato médio, os valores apresentaram variação de 50 kg/m³,

com valor superior de 444 kg/m³ no espaçamento 2,5 x 1,0 m e valor inferior de 394 kg/m³ no espaçamento 2,0 x 1,0 m.

Chies (2005), estudando *Pinus taeda* com 21 anos, observou que a massa específica básica apresentou valores decrescentes com o aumento do espaçamento entre árvores, sendo que os valores variaram entre 434 e 414 kg/m³, com amplitude de variação de 20 kg/m³. Castelo (2007) concorda que a massa específica básica decresce com o aumento do espaçamento. Este fato também foi comprovado por Harris (1963), que relatou a tendência decrescente da massa específica da madeira de *Pinus radiata*, com o aumento da taxa de crescimento.

Montagna et al. (1979 e 1980) descartam a influência do espaçamento na massa específica básica, em seu estudo com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 17 anos de idade, plantados em três diferentes espaçamentos, comentando que a massa específica básica não variou com os espaçamentos adotados, embora mostrasse ligeira tendência de aumentar nos espaçamentos maiores.

Estatisticamente, não foi possível encontrar um modelo significativo para a variação da massa específica básica ponderada das árvores amostradas, conforme análise de variância no Apêndice 2 – Tabela 9.2.1.

5.4.2 Variação da massa específica básica ao longo do fuste

5.4.2.1 Árvores dominantes

A relação entre a massa específica básica e a altura para as árvores dominantes foi expressa pela equação representada graficamente na Figura 5.1, onde somente a altura relativa foi significativa.

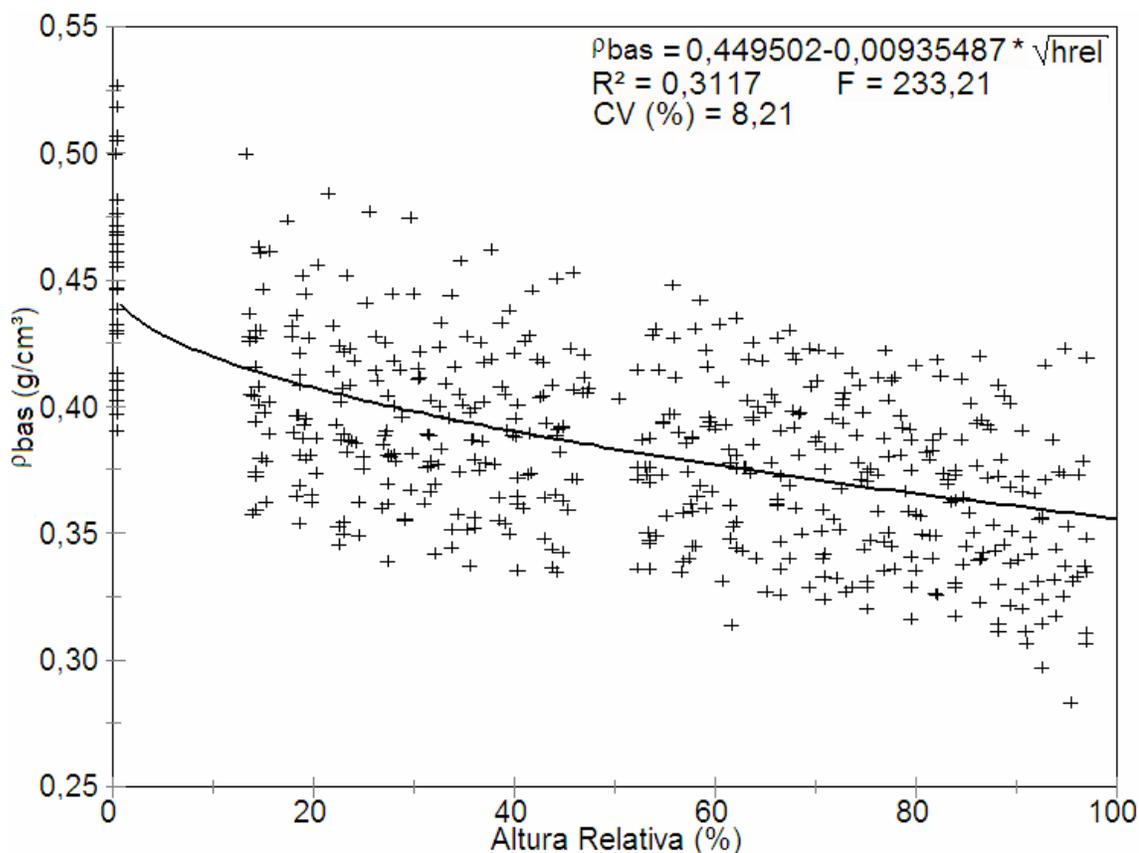


FIGURA 5.1 – Massa específica básica observada e estimada para as árvores dominantes de *Pinus taeda* L. em função da altura relativa.

Observa-se pela Figura 5.1 que a variação da massa específica básica a partir da base até a altura total decresce, mostrando assim a existência da influência do fator altura sobre a massa específica. Resultados semelhantes foram encontrados por Chies (2005), analisando o comportamento da massa específica básica em árvores de *Pinus taeda*.

A alta variabilidade da massa específica na árvore e entre árvores é característica reconhecida nas espécies do gênero *Pinus*, e é devida principalmente a fatores genéticos, ambientais, silviculturais, entre outros, podendo chegar a 30% em relação à média da espécie (TREDELENBURG; MAYER, 1956).

Para Kollmann (1951), Goggans (1961), Elliott (1970), Chong et al. (1989), entre outros, e constatada por Moreschi (1975), Tomaselli (1979), Klock (1998 e 2000) e Muñiz (1993), para espécies do gênero *Pinus* com rápido crescimento

plantadas no Brasil, a tendência é de diminuição da massa específica básica com a altura na árvore.

Shimoyama (2005) relata em seu estudo com *Pinus teada* com 28 anos a tendência de redução da massa específica básica, ao longo dos 5,6 m do tronco onde realizou a análise. Esta tendência é normalmente verificada para o gênero *Pinus*, tendo sido relatada por diversos pesquisadores (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; MUNER, 1983; KLOCK, 1998; MENDONÇA, 1982; TOMASELLI, 1979; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003).

5.4.2.2 Árvores do extrato médio

Para as árvores do extrato médio, além da altura relativa das árvores, o espaçamento na entre linha de plantio mostrou-se significativo na massa específica básica.

Para árvores do extrato médio, o comportamento da massa específica básica ao longo do fuste foi influenciado pelo espaçamento nas entre linhas. À medida que o espaçamento entre linhas aumenta, ocorre um aumento na massa específica (Figura 5.2). Árvores plantadas num espaçamento menor na entre linha de plantio alcançaram menor valor na massa específica. À medida que o espaçamento aumenta, esse valor tende a aumentar também. Observa-se que os comportamentos dos valores obedeceram à mesma tendência das árvores dominantes: à medida que a posição relativa axial aumenta, os valores de massa específica diminuem.

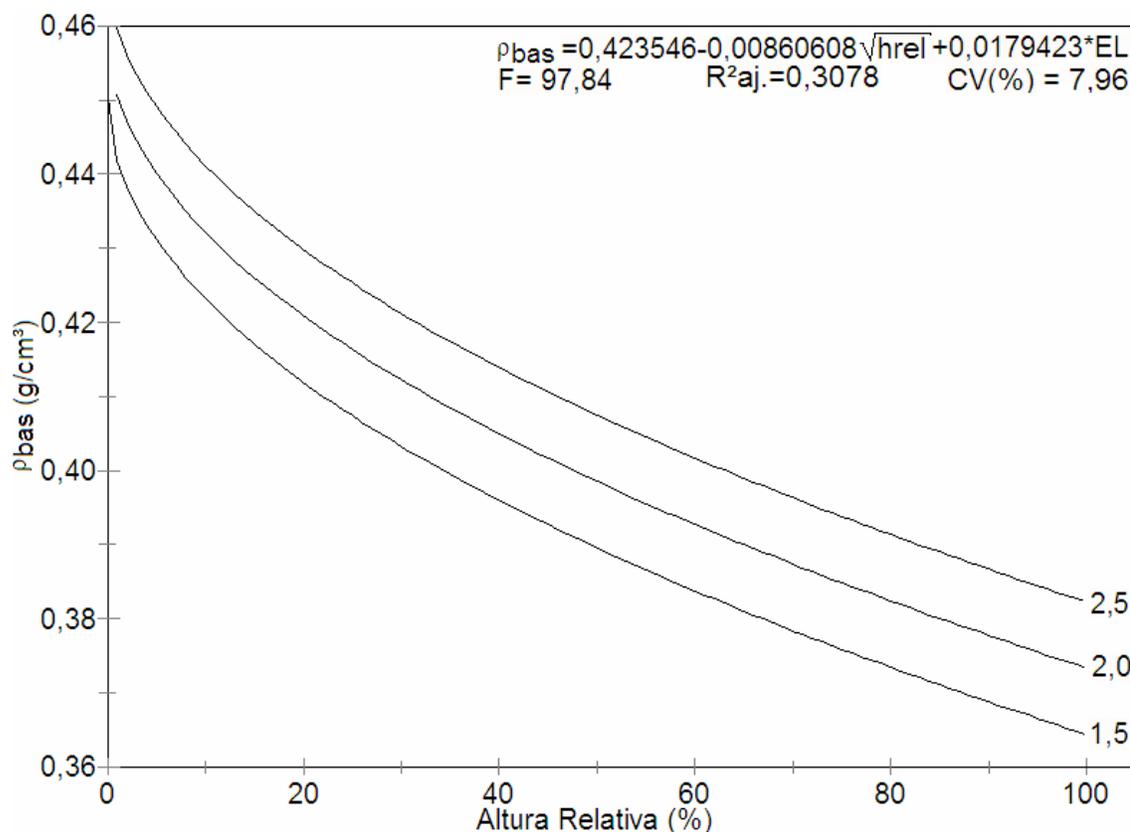


FIGURA 5.2 – Valores de massa específica básica para árvores do extrato médio de *Pinus taeda* L. em função da altura relativa e do espaçamento entre linhas de plantio (hrel=altura relativa (%); EL=espaçamento entre linhas).

5.4.3 Variação radial da massa específica básica nas árvores dominantes

A variação radial da massa específica básica nas árvores dominantes de *Pinus taeda*, plantadas em diferentes espaçamentos demonstra a influência de várias variáveis, como pode ser observado na Tabela 5.2, onde se encontram os modelos selecionados.

TABELA 5.2 – Modelos de regressão ajustados para a variação radial da massa específica nas árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

N.EQ	Modelo	R ² aj.	CV (%)	F
5.3	$\sqrt{ME} = 0,389708 + 0,019585 * t - 0,000442821 * t^2$ $+ 0,0791802 * EL + 0,0922944 * EP$ $- 0,0481807 * (EL * EP)$	0,7942	4,53	170,01
5.4	$ME = 0,382301 + 0,0882945 * DM - 0,242404 *$ $\sqrt{DM} - 0,001356 * DM^2 - 0,0428814(EL * EP)$ $+ 0,0672686 * EL + 0,072299 * EP$	0,7418	9,96	105,84
5.5	$ME = 0,233747 + 0,007449 * PREL - 0,057493 *$ $\sqrt{PREL} + 0,110212 * EL + 0,113897 * EP$ $- 0,0614317(EL * EP)$	0,7951	8,87	170,91

Onde: ME = massa específica; t = idade; EL = espaçamento entre linha; EP = espaçamento entre plantas; DM = distância da medula; PREL= posição relativa.

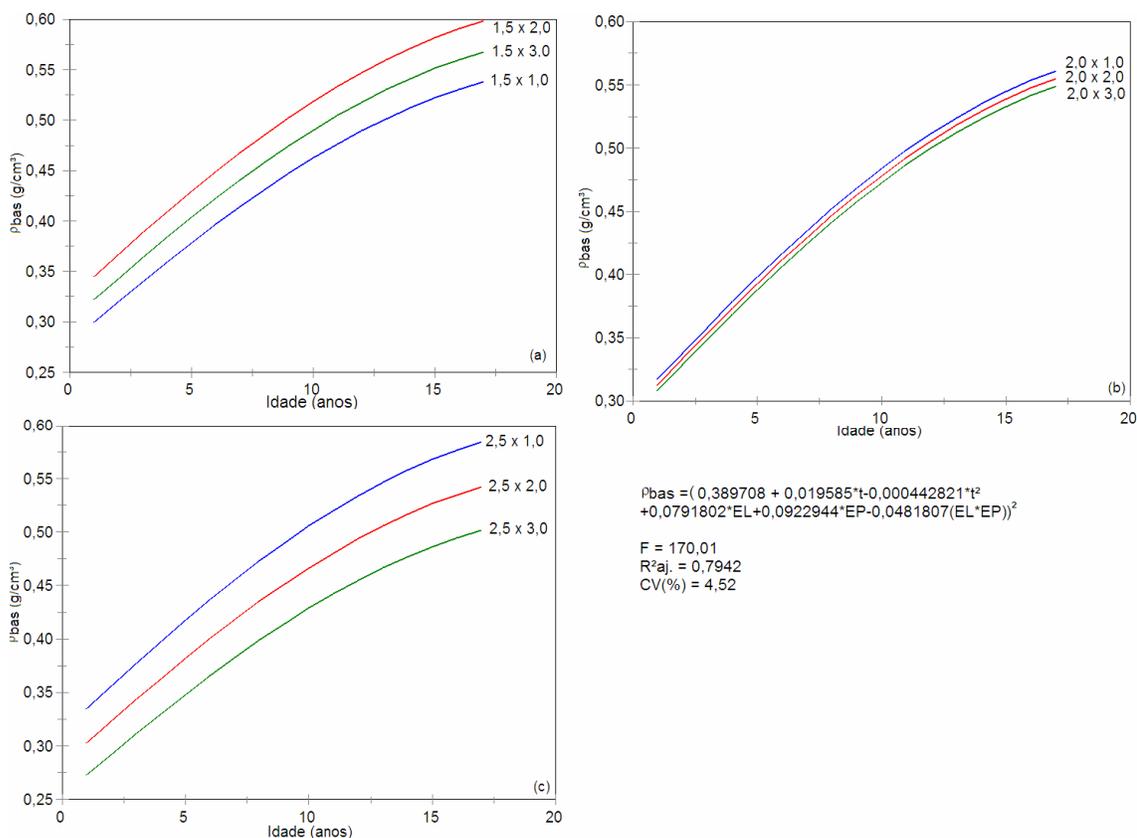


FIGURA 5.3 – Variação radial da massa específica básica nas árvores dominantes em função da idade e do espaçamento: (a) entre linha = 1,5 m; (b) entre linha = 2,0 m; (c) entre linha = 2,5 m.

Analisando a Figura 5.3 observou-se claramente que a massa específica básica aumentou no sentido medula-casca em todos os espaçamentos. De acordo com a Figura 5.3 (a), os maiores valores de massa específica básica ocorreram no espaçamento 1,5 x 2,0 m, comportamento esperado com exceção do espaçamento 1,5 x 1,0 m. Na Figura 5.3 (b), onde se teve espaçamentos intermediários os valores praticamente não diferem entre si. Já na Figura 5.3 (c), que representa o maior espaçamento entre as linhas de plantio, os maiores valores de massa específica básica aconteceram nos menores espaçamentos entre plantas.

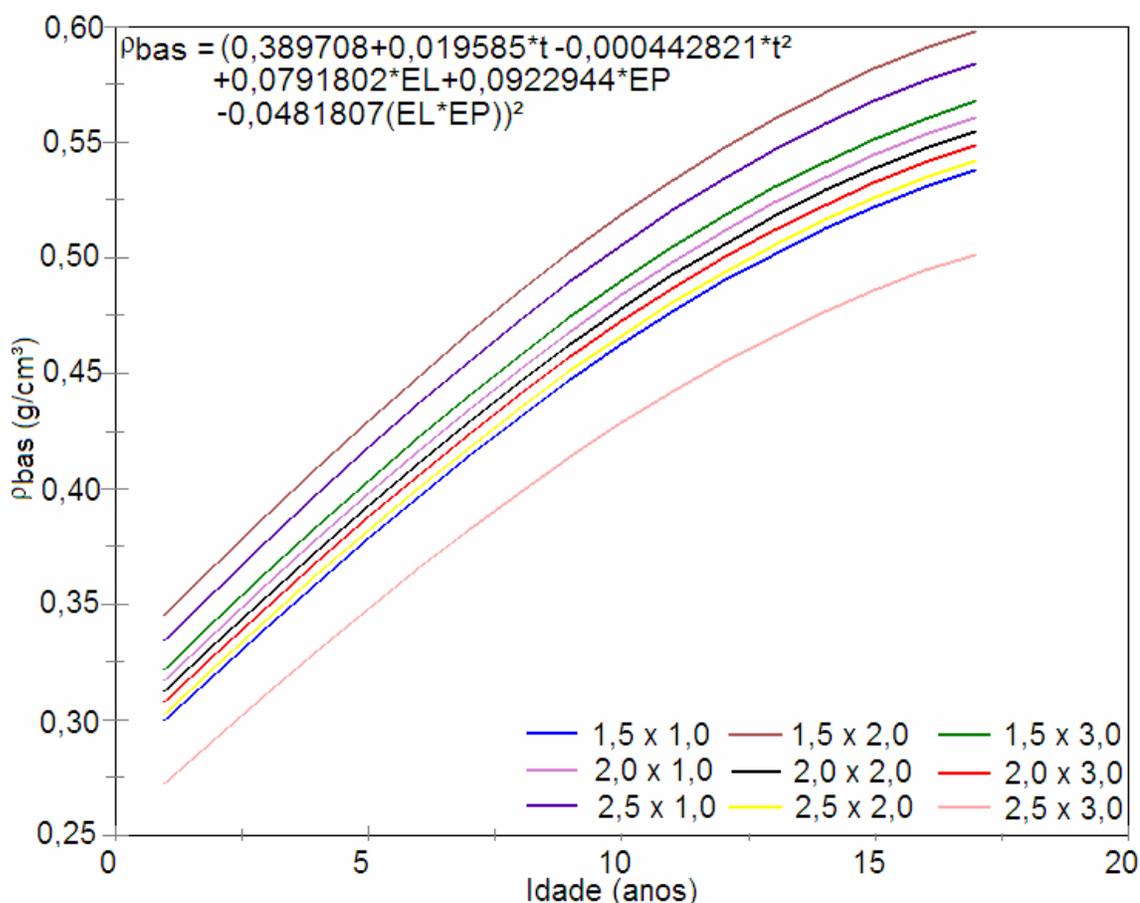


FIGURA 5.4 – Variação radial da massa específica básica em função da idade nas árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

De acordo com a Figura 5.4, a massa específica básica foi menor nos espaçamentos mais amplos, como por exemplo no espaçamento 2,5 x 3,0 m.

Observa-se que o tratamento 1 (1,5 x 1,0 m) apresentou um baixo valor de massa específica. A análise desse comportamento pode sugerir que por se tratar de um pequeno espaço vital para a planta, esta foi suprimida. Esse comportamento da massa específica básica (menores valores nos espaçamentos mais amplos) é esperado, já que, com um crescimento mais lento, tem-se uma maior proporção de lenho outonal, que é mais denso do que o primaveril e que encontra-se em maior proporção nas árvores com anéis de crescimento mais estreitos.

Panshin; Zeeuw (1970) classificaram a variação da massa específica no sentido radial para coníferas aumentando da medula para a casca, relatam também que quando considerados separadamente, os modelos de variação para os lenhos inicial e tardio não são semelhantes.

Foelkel et al. (1975), estudando a variação radial da massa específica em *Pinus elliottii*, observou uma elevação inicial rápida nos valores, correspondendo ao período juvenil, seguida de crescimento gradual até tornarem-se estáveis na madeira adulta.

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*. Siqueira (2004) confirma essa tendência ao avaliar *Pinus taeda* em diferentes sítios e idades, com valores médios para os anéis de crescimento desde 0,33 g/cm³ até 0,49 g/cm³, sugerindo que esse aumento estava associado ao maior percentual de lenho tardio favorecendo o aumento da massa específica.

Em relação à variação radial da massa específica básica, analisando o seu comportamento pela posição de retirada dos corpos de prova ao longo da fatia no sentido medula-casca, teve-se um comportamento diferente em alguns tratamentos do que quando apresentado por idade. Na Figura 5.5 (a), observou-se um valor maior de massa específica para o espaçamento intermediário, sendo que as três curvas se assemelham bastante. Já nas Figuras 5.5 (b) e (c), o comportamento é semelhante: árvores com maior espaço vital apresentam valores de massa específica menores. Isso pode ser devido ao crescimento em diâmetro ser maior resultando em maior porcentagem de lenho primaveril. No espaçamento entre linhas de 2,5 m, a diferença de nível entre as curvas é maior.

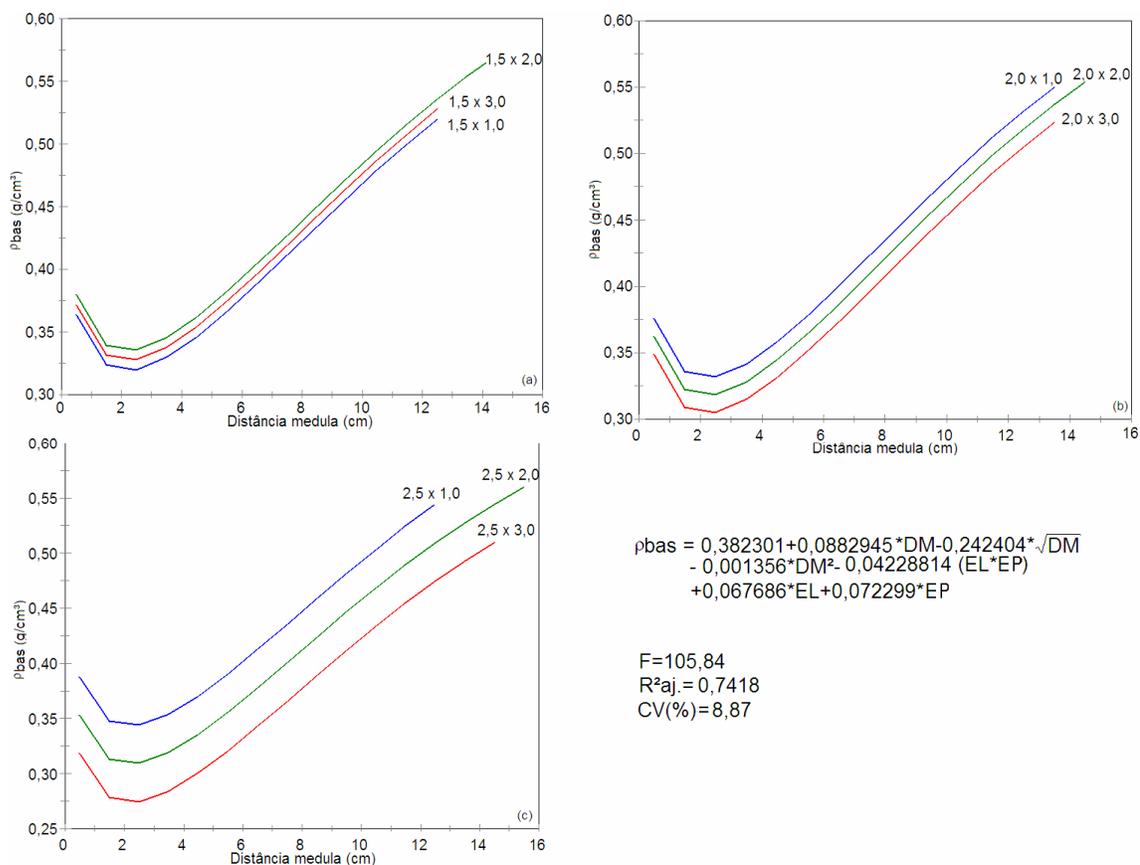


FIGURA 5.5 – Variação radial da massa específica básica em função da distância até a medula das árvores dominantes de *Pinus taeda* L..

Em geral, a massa específica básica do lenho inicial decresce nos primeiros anéis próximos à medula, estaciona no mínimo por alguns anéis e depois se eleva próximo à casca (Panshin; Zeeuw, 1970).

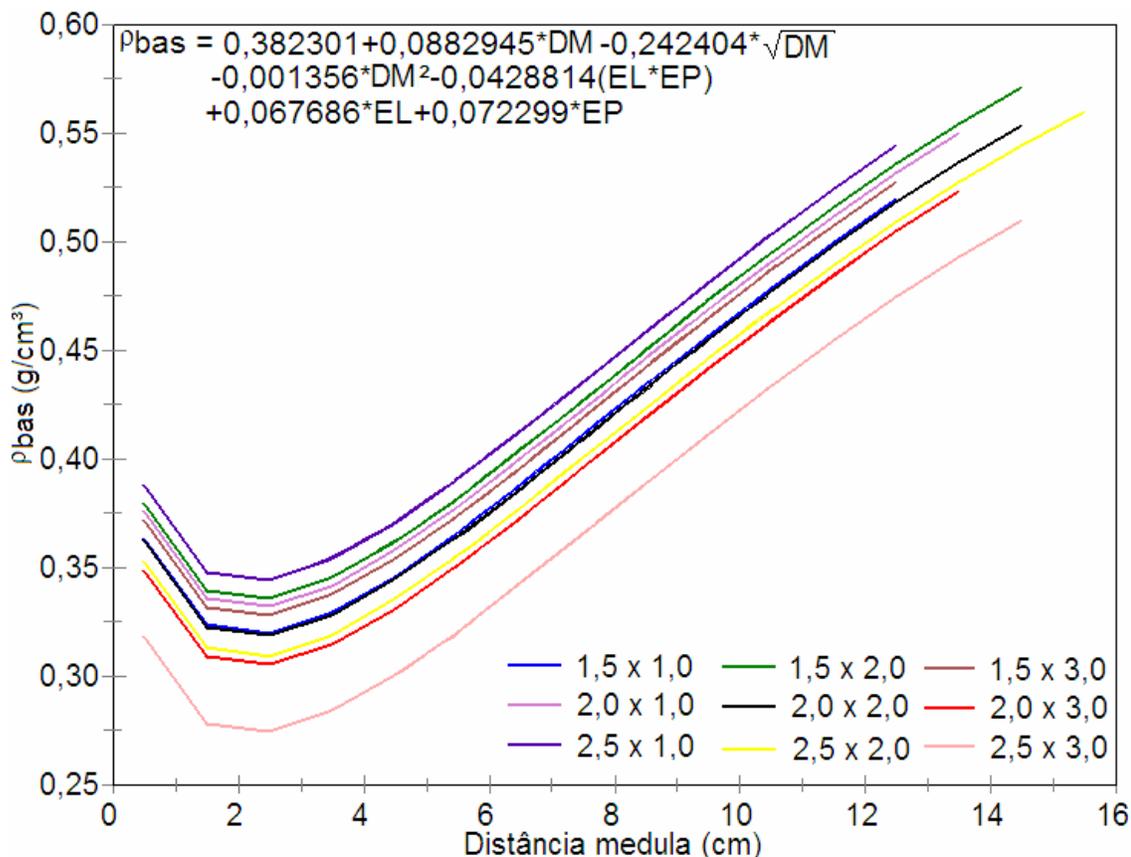


FIGURA 5.6 – Variação radial da massa específica básica em função da distância do anel até a medula.

Na Figura 5.6, observa-se que os maiores valores de massa específica básica radial estão nos menores espaçamentos, com exceção do espaçamento 1,5 x 3,0 m que apresentou um valor maior em relação aos demais que possuem um espaço vital por m² semelhante. Para o espaçamento 1,5 x 1,0 m, supõe-se que, com o passar do tempo, entrou, em competição ficando suprimido. Já os espaçamentos com maior espaço vital apresentam menores valores de massa específica, comportamento esperado, pois à medida que aumenta o ritmo de crescimento, diminuem os valores de massa específica.

5.4.4 Módulo de elasticidade

Os valores máximo, mínimo e médio determinados para o módulo de elasticidade para as árvores dominantes e do extrato médio estão apresentados na Tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Valores médios do módulo de elasticidade para as árvores dominantes e do extrato médio de *Pinus taeda* L.

Módulo de Elasticidade (kgf/cm²)			
Tratamento / Espaçamento (m)	Valores	Árvores Dominantes	Árvores Extrato médio
1 ⇒ 1,5 x 1,0	Máximo	78653	78452
	Médio	53742	61082
	Mínimo	32917	47528
	CV(%)	23,12	23,15
2 ⇒ 1,5 x 2,0	Máximo	100209	99299
	Médio	60672	55525
	Mínimo	26264	31274
	CV(%)	42,20	48,20
3 ⇒ 1,5 x 3,0	Máximo	96762	71738
	Médio	60634	43763
	Mínimo	25762	22935
	CV(%)	34,70	36,20
4 ⇒ 2,0 x 1,0	Máximo	147199	77618
	Médio	62659	53388
	Mínimo	29648	26553
	CV(%)	57,45	37,00
5 ⇒ 2,0 x 2,0	Máximo	113293	134030
	Médio	58738	87988
	Mínimo	25444	49925
	CV(%)	47,50	35,60
6 ⇒ 2,0 x 3,0	Máximo	103082	61846
	Médio	62354	44512
	Mínimo	26670	24427
	CV(%)	37,80	30,60
7 ⇒ 2,5 x 1,0	Máximo	145195	92901
	Médio	57934	42978
	Mínimo	26980	20169
	CV(%)	66,14	54,10
8 ⇒ 2,5 x 2,0	Máximo	126766	80942
	Médio	69838	52726
	Mínimo	40673	27641
	CV(%)	38,10	35,00
9 ⇒ 2,5 x 3,0	Máximo	66169	51957
	Médio	42571	41391
	Mínimo	29352	27037
	CV(%)	31,00	19,40

O módulo de elasticidade médio para as árvores dominantes varia desde um mínimo de 42571 até um máximo de 69838 kgf/cm² nos espaçamentos 2,5 x 3,0 e 2,5 x 2,0 m, respectivamente. Em relação às árvores do extrato médio, os valores médios variam de 41391 até 87988 kgf/cm² nos espaçamentos 2,5 x 3,0 e 2,0 x 2,0 m, respectivamente.

Os coeficientes de variação são altos tanto para as árvores dominantes como para as do extrato médio, o que demonstra a alta variação do módulo de elasticidade, observada geralmente na madeira juvenil. Como o estudo foi conduzido em árvores relativamente jovens, essa deve ser uma das explicações. O USDA (1999) sugere que em média esse valor seja de 22%.

Essa alta variabilidade nas propriedades na madeira juvenil de espécies do gênero *Pinus* já foi relatada por muitos pesquisadores, entre eles: Zobel et al. (1959); Kollmann; Côté (1968); Koch (1972); Bendsten (1978); Kellinson (1981). Muniz (1993), Bortoletto Júnior (1999) e Klock (2000) também relatam a alta variação nos resultados para as propriedades de flexão estática.

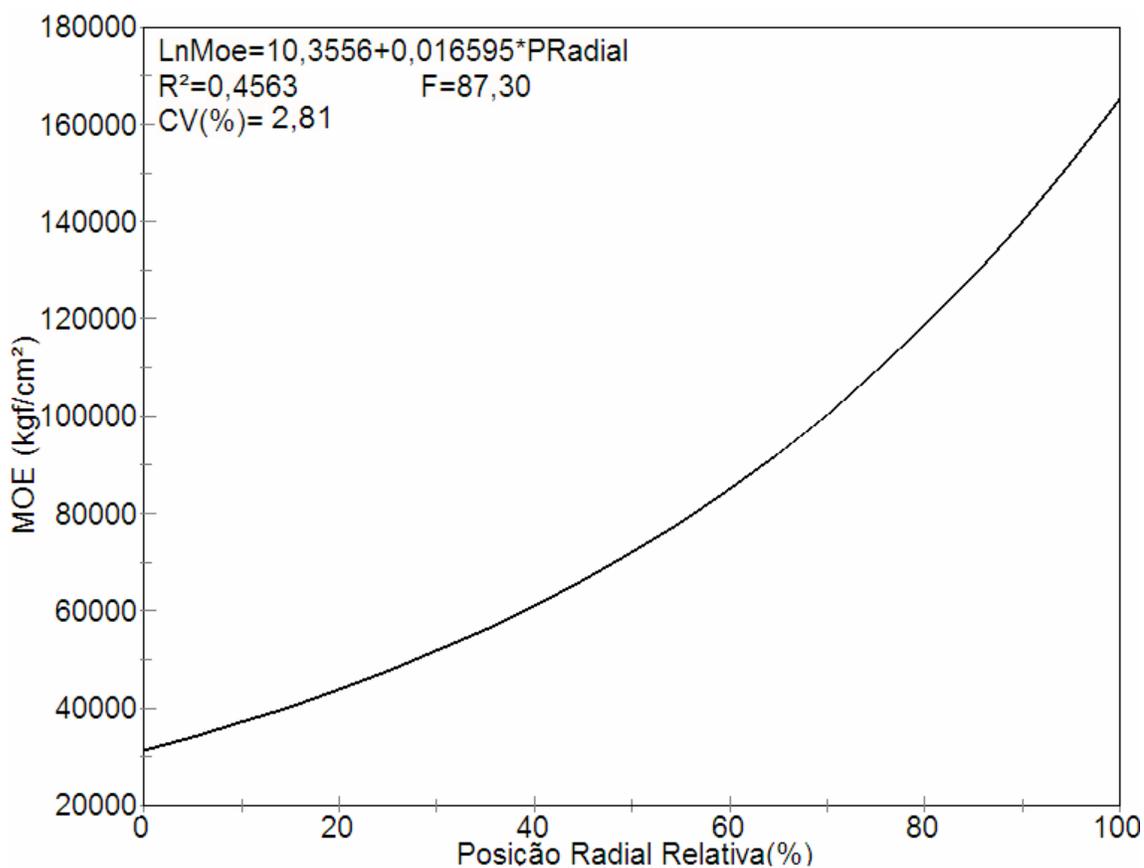
Os resultados encontrados neste trabalho apresentaram valores inferiores aos encontrados por outros pesquisadores, como: Tomaselli (1979), em estudo com plantios de *Pinus taeda* com 18 anos, encontrou valores de 61200 e 153300 kgf/cm² para o lenho juvenil e adulto, respectivamente. Muñoz (1993), estudando *Pinus taeda* com 30 anos, encontrou para o lenho juvenil um MOE de 88333,35 e 160438,15 kgf/cm² para o lenho adulto.

Os modelos encontrados são referentes às árvores dominantes, já que nas árvores do extrato médio não foi possível encontrar parâmetros significativos. O módulo de elasticidade respondeu significativamente a diferentes parâmetros, como pode ser observado na Tabela 5.4.

TABELA 5.4 – Modelos selecionados para o módulo de elasticidade em árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

N	Modelo	R ²	CV (%)	F
5.6	$MOE = 25639,9 + 1023,94 * PRadial$	0,4403	33,08	81,83
5.7	$\sqrt{MOE} = 171,355 + 2,03407 * PRadial$	0,4568	15,75	87,46
5.8	$LN(MOE) = 10,3556 + 0,016595 * PRadial$	0,4563	2,81	87,30
5.9	$MOE = 28813,6 + 5979,63 * DM$	0,3844	34,70	64,94
5.10	$\sqrt{MOE} = 177,047 + 12,0011 * DM$	0,4070	16,45	71,39
5.11	$LN(MOE) = 10,3981 + 0,0991096 * DM$	0,4134	2,92	73,30
5.12	$\frac{1}{MOE} = 0,00004247 - 0,0004729 * ME$	0,1631	36,46	20,28
5.13	$\sqrt{MOE} = 83,3027 + 325,715 * ME$	0,1941	19,18	25,05
5.14	$LN(MOE) = 9,64983 + 2,63499 * ME$	0,1892	3,43	24,27

MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm²); DM = distância da medula (cm); PRadial = posição radial relativa(%); ME = massa específica (g/cm³).

FIGURA 5.7 – Valores ajustados para o módulo de elasticidade em função da posição radial relativa nas árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

O MOE, em relação à posição radial relativa, aumenta no sentido medula-casca como pode ser observado na Figura 5.7.

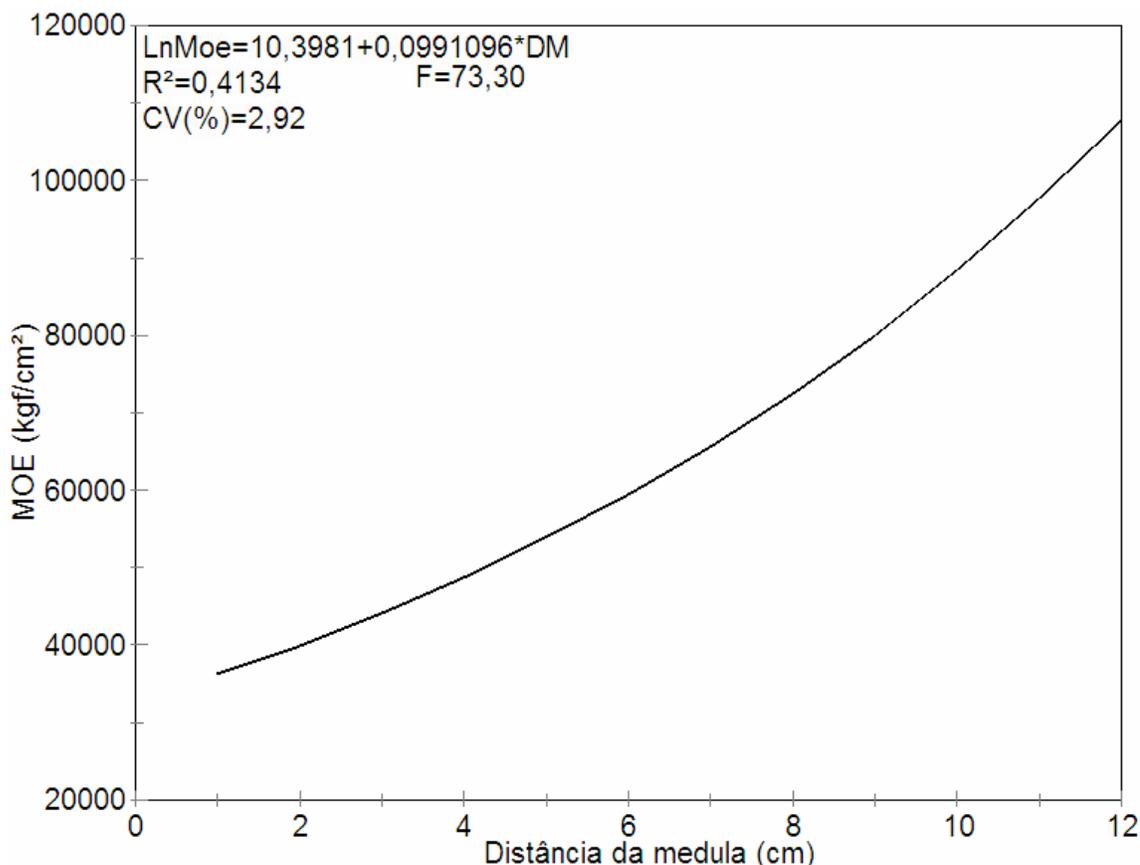


FIGURA 5.8 – Valores ajustados para o módulo de elasticidade em função da distância da medula nas árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

À medida que aumenta a distância da medula os valores do módulo de elasticidade também aumentam (Figura 5.8). Lara Palma (1994) apresentou resultados para árvores com 30 de idade de *Pinus taeda*, para as quais o autor determinou as propriedades de resistência à flexão em três posições no sentido medula-casca. Na posição correspondente à madeira interna (juvenil), o MOE foi de 86771 kgf/cm². Para a madeira das posições intermediária e externa (adulta), os valores médios obtidos para MOE foram, aproximadamente 90% superiores.

Lucas Filho (1997) obteve em seu trabalho com *Pinus taeda*, em árvores com 21 anos de idade, valores médios para o MOE, na madeira juvenil, de 7502 MPa e, na madeira adulta, de 9819 MPa.

Baseado em observações e comparações discutidas, vários pesquisadores observaram a tendência e heterogeneidade das características da madeira no sentido medula-casca para as espécies de *Pinus*, entre eles Zobel et al. (1959), Bendsten (1978), Pearson; Gilmore (1980), Klock; Muñiz (1998), Muñiz (1993), Lara Palma (1994), entre outros.

Mesmo não tendo se determinado especificamente valores separados para as propriedades da madeira entre o lenho juvenil e adulto, os resultados indicam que as características da madeira juvenil são, portanto, reconhecidamente, de menor massa específica, menor porcentagem de lenho tardio e resistência mecânica inferior, apresentando também maior variação entre estas propriedades.

Ballarin; Palma (2003) estudando *Pinus taeda* L., com 37 anos de idade, procedente do Horto Florestal de Manduri, SP, encontraram resultados médios do MOE da madeira mais externa (adulta) sensivelmente maiores que os da madeira interna (juvenil). As diferenças observadas nos valores médios do MOE na madeira adulta, em relação à juvenil, foram maiores em, aproximadamente, 54%, onde concluíram que o módulo de elasticidade sofreu maior influência da massa específica na madeira adulta.

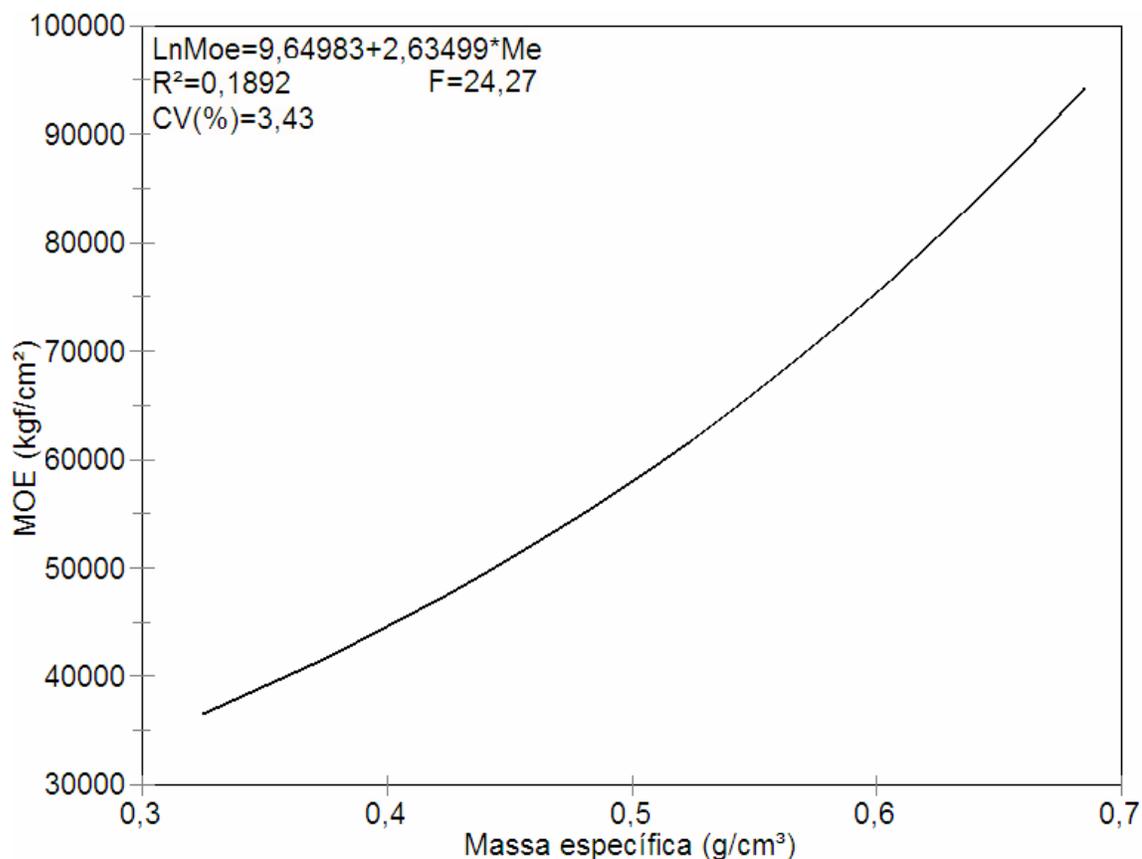


FIGURA 5.9 – Valores ajustados para o módulo de elasticidade em função da massa específica nas árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

A Figura 5.9 mostra a relação entre o módulo de elasticidade e a massa específica, sendo que, à medida que aumenta a massa específica, o MOE também aumenta.

Segundo Cave; Walker (1994), a grande diferença de resistência e rigidez entre a madeira adulta e juvenil não ocorre exclusivamente pelas diferenças na massa específica, sendo o maior ângulo fibrilar dos traqueóides da madeira juvenil o maior responsável por estas propriedades.

5.4.5 Módulo de ruptura

Os resultados médios, máximo e mínimo obtidos na determinação do módulo de ruptura para a madeira de *Pinus taeda*, com seu respectivo coeficiente de variação são apresentados na Tabela 5.5.

TABELA 5.5 – Valores médios do módulo de ruptura para as árvores dominantes e do extrato médio de *Pinus taeda* L.

Módulo de Ruptura (kgf/cm²)			
Tratamento/ Espaçamento	Valores	Árvores dominantes	Árvores do extrato médio
1 ⇒ 1,5 x 1,0	Máximo	704	720
	Média	552	566
	Mínimo	356	427
	CV (%)	20,3	23,4
2 ⇒ 1,5 x 2,0	Máximo	710	933
	Média	494	566
	Mínimo	223	212
	CV (%)	35,5	45,7
3 ⇒ 1,5 x 3,0	Máximo	969	864
	Média	648	494
	Mínimo	335	173
	CV (%)	24,4	38,5
4 ⇒ 2,0 x 1,0	Máximo	862	819
	Média	575	510
	Mínimo	406	226
	CV (%)	23,3	49,8
5 ⇒ 2,0 x 2,0	Máximo	989	899
	Média	574	707
	Mínimo	302	418
	CV (%)	44,8	28,8
6 ⇒ 2,0 x 3,0	Máximo	871	779
	Média	654	498
	Mínimo	441	245
	CV (%)	20,1	40,7
7 ⇒ 2,5 x 1,0	Máximo	1256	879
	Média	655	386
	Mínimo	319	105
	CV (%)	39,8	67,2
8 ⇒ 2,5 x 2,0	Máximo	982	740
	Média	683	531
	Mínimo	435	339
	CV (%)	26,3	30,4
9 ⇒ 2,5 x 3,0	Máximo	796	628
	Média	564	534
	Mínimo	210	396
	CV (%)	32,8	16,6

A alta variação nos resultados obtidos para o módulo de ruptura tanto em árvores dominantes como nas do extrato médio chama a atenção. Para as árvores dominantes, temos valores médios desde 494 kgf/cm² no espaçamento 1,5 x 2,0 m até 683 kgf/cm² no espaçamento 2,5 x 2,0 m. Já para as do extrato médio, os valores médios foram de 386 a 707 kgf/cm² nos espaçamentos 2,5 x 1,0 e 2,0 x 2,0 m, respectivamente. Klock (2000) também comenta essa variação nos dados.

Tomaselli (1980), estudando madeira de árvores com 18 anos de idade de *Pinus taeda*, obteve valores médios de 497 kgf/cm² para o lenho juvenil e 1065 kgf/cm² para o lenho adulto. Muñiz (1993) obteve valores médios para o MOR de 638,2 kgf/cm² para a madeira juvenil e 941 kgf/cm² na madeira adulta de *Pinus taeda*, em árvores de 30 anos. Comparando-se os resultados obtidos, observou-se que os valores se situam abaixo dos encontrados pelos demais autores citados.

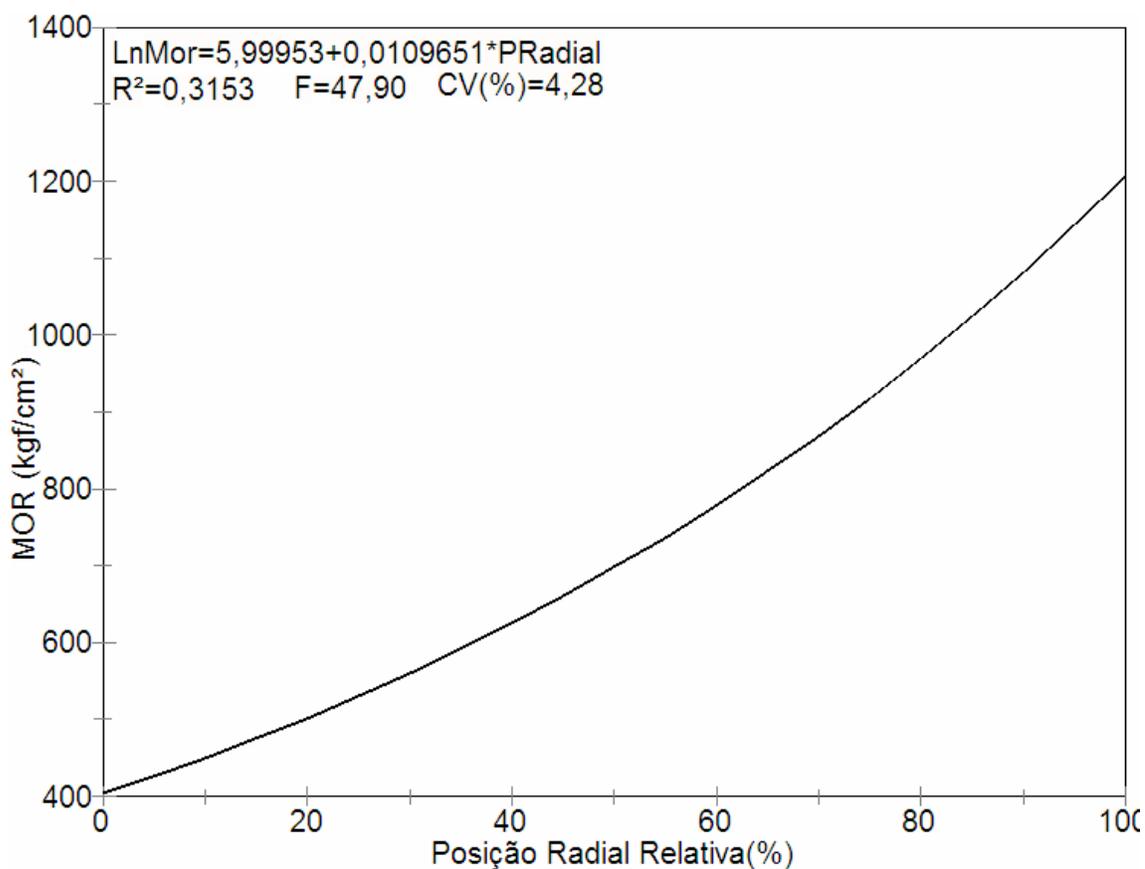
As propriedades mecânicas da madeira de uma espécie podem variar muito, pois, dependem de vários fatores como sítio, tratos silviculturais, origem, espaçamento, tipo do povoamento. Macpeak et al. (1990) observaram que uma quantidade significativa da madeira de *Pinus elliotii* de 20 anos de idade, plantada em espaçamentos de 3,5 x 3,5 m, não atendia às classes visuais das normas norte-americanas (SPIB, 1994) de inspeção da madeira de pinus. Por outro lado, toda madeira proveniente de um povoamento com 50 anos de idade, plantada em espaçamento de 1,8 x 1,8 m, atendia, em termos de resistência mecânica, às classes visuais da referida norma. Biblis (1990) também encontraram para *Pinus elliotii*, com 27 anos de idade, plantado em espaçamento de 1,8 x 1,8 m, que a grande maioria das peças testadas atendia a essas exigências. Já McAlister et al. (1997) não encontraram efeito significativo do espaçamento (1,8 x 2,4; 2,4 x 2,4; 3 x 3 e 4,5 x 4,5 m) nas propriedades de flexão da madeira de *Pinus elliotii* com 40 anos, em povoamentos que não haviam sofrido desbastes.

A Tabela 5.6 apresenta os modelos selecionados para o módulo de ruptura em árvores dominantes com base nas estatísticas do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa (S_{yx}), coeficiente de variação (CV%), valor de F calculado e análise gráfica dos resíduos.

TABELA 5.6 – Modelos selecionados para o módulo de ruptura em árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

N	Modelo	R ²	CV (%)	F
5.15	$MOR = 389,5750 + 6,6258 * PR_{Radial}$	0,3699	24,1	61,07
5.16	$\sqrt{MOR} = 19,9812 + 0,1330 * PR_{Radial}$	0,3491	12,6	55,55
5.17	$LN (MOR) = 5,9995 + 0,01097 * PR_{Radial}$	0,3153	4,3	47,90
5.18	$MOR = 402,6220 + 40,1902 * DM$	0,3484	24,5	55,62
5.19	$\sqrt{MOR} = 20,2267 + 0,8103 * DM$	0,3306	12,7	51,36
5.20	$LN (MOR) = 6,01879 + 0,06698 * DM$	0,3011	4,3	44,82
5.21	$MOR = -51,5880 + 1387,83 * Me$	0,2690	25,9	38,28
5.22	$\sqrt{MOR} = 11,5251 + 27,0154 * Me$	0,2379	13,6	32,47
5.23	$LN (MOR) = 5,3485 + 2,1291 * Me$	0,1971	4,6	25,53

Onde: MOR= módulo de ruptura (kgf/cm²); PR_{Radial} = posição radial relativa; DM = distância da medula; Me = massa específica.

FIGURA 5.10 – Módulo de ruptura em função da posição relativa em árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

A proporção de madeira juvenil tem uma grande influência sobre a qualidade da madeira, pois interfere nas suas propriedades. A Figura 5.10 demonstra que, à medida que a posição radial relativa da retirada dos corpos de prova aumenta, tem-se um aumento no módulo de ruptura, pois à medida que se afasta da medula, a proporção de madeira juvenil tende a diminuir.

Resultados apresentados por Lara Palma (1994), em árvores 30 anos de idade de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, da região de Irati-PR, para as quais o autor determinou as propriedades de resistência à flexão em três posições no sentido medula-casca, indicam que na posição correspondente à madeira interna (juvenil) de *Pinus taeda*, o MOR médio foi de 593 kgf/cm² e para a madeira das posições intermediária e externa (adulta), os valores médios obtidos para MOR foram aproximadamente 90% superiores.

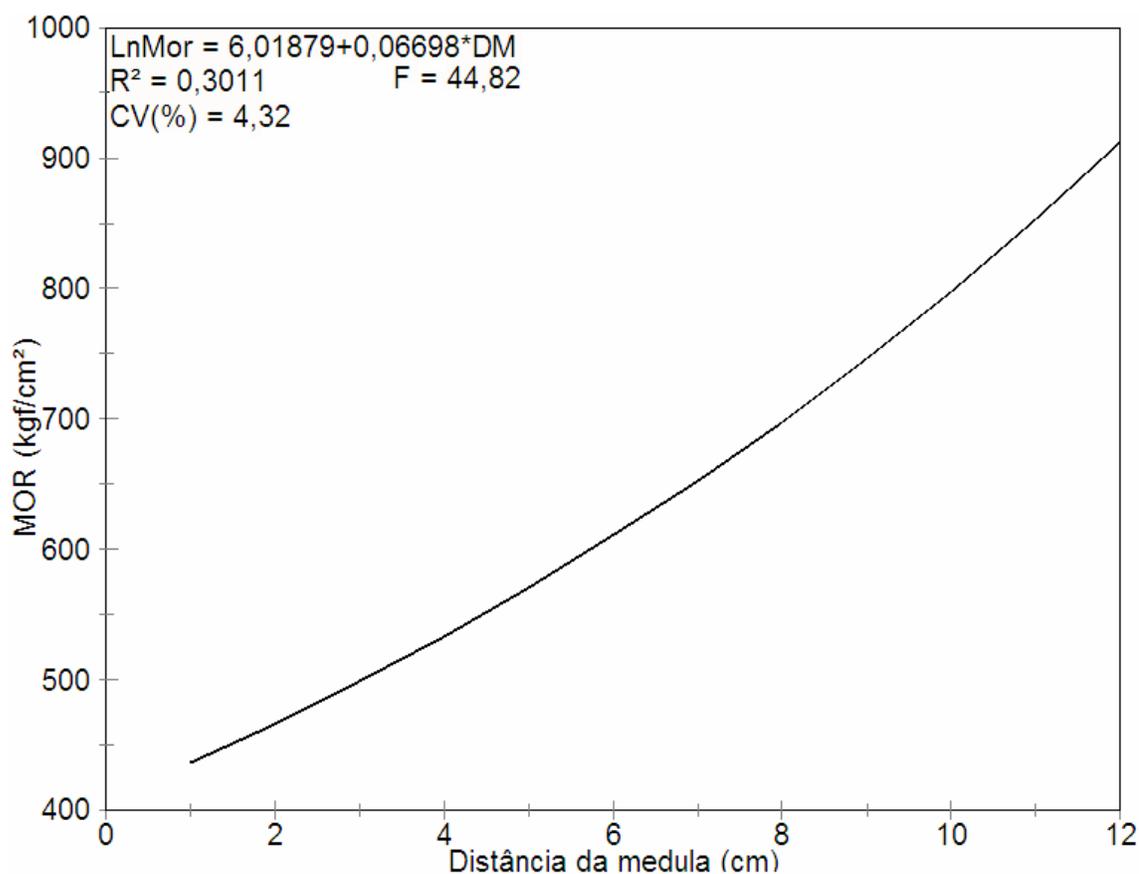


FIGURA 5.11 – Módulo de ruptura em função da distância da medula nas árvores dominantes de *Pinus taeda* L.

Analisando a Figura 5.11, observa-se o comportamento crescente do módulo de ruptura à medida que se afasta da medula.

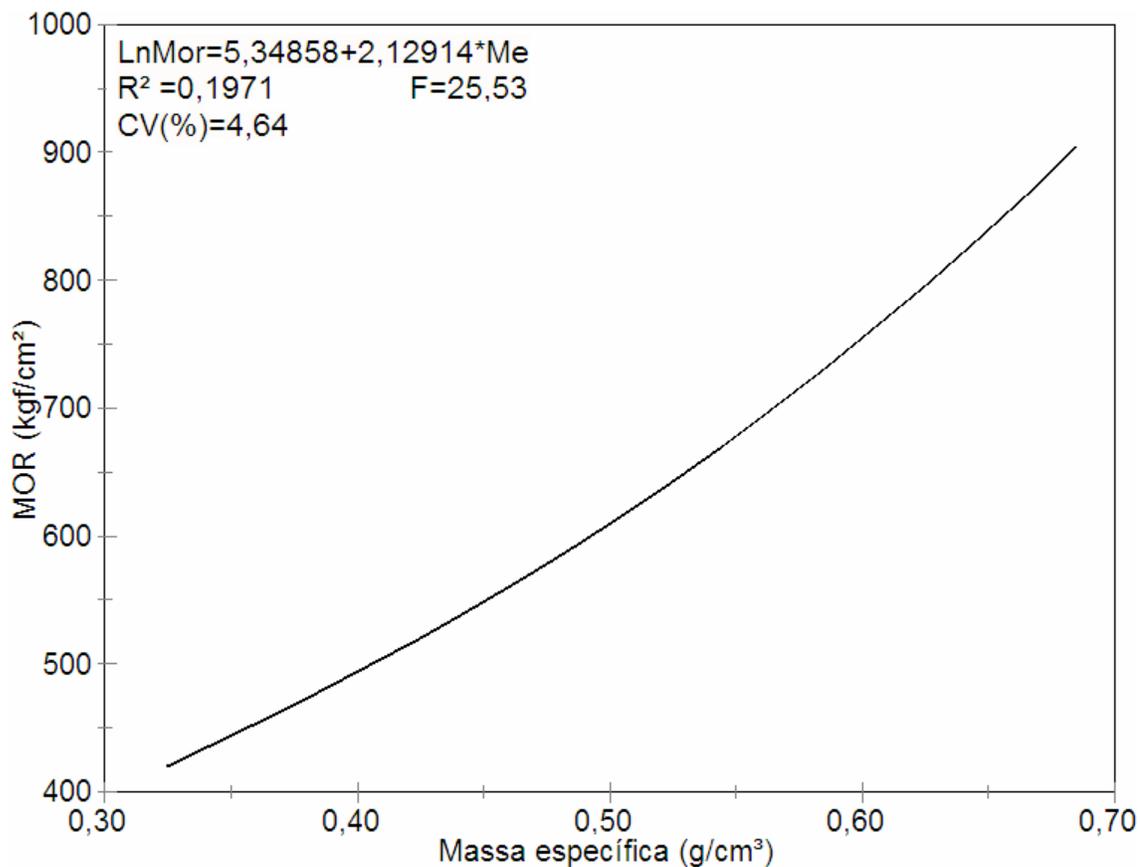


FIGURA 5.12 – Módulo de ruptura em função da massa específica nas árvores dominantes de *Pinus taeda* L..

As propriedades mecânicas da madeira geralmente estão intimamente ligadas à massa específica, como podemos observar na Figura 5.12, onde os valores do módulo de ruptura aumentam na medida em que a massa específica aumenta.

5.5 Conclusões

Os resultados do efeito do espaçamento sobre a massa específica e as propriedades de flexão estática da madeira de *Pinus taeda* L permitem concluir que:

- A massa específica básica ponderada não foi influenciada pelos espaçamentos a que foram submetidas às árvores de *Pinus taeda*.
- A variação axial da massa específica básica decresce com o aumento da altura da árvore tanto para as dominantes como para as do extrato médio.
- A variação axial da massa específica básica nas árvores do extrato médio foi influenciada pelo espaçamento na entre linha. A massa específica básica foi crescente com o aumento do espaçamento na entre linha.
- A massa específica básica no sentido radial para as árvores dominantes foi crescente com a idade. Para os menores espaçamentos entre plantas, houve um aumento da massa específica básica, já para os espaçamentos maiores (2,0 e 2,5 m), essa relação se inverteu.
- Nas árvores do extrato médio não houve influência do espaçamento na massa específica básica no sentido radial.
- Os módulos de elasticidade e ruptura para as árvores dominantes aumentam no sentido medula-casca e com o aumento da massa específica básica.
- Os diferentes espaçamentos não interferiram nos resultados dos módulos de elasticidade e ruptura.

5.6 Referências Bibliográficas

ABDEL-GADIR, A.Y.; KRAHMER, R. L. Estimating the age of demarcation of juvenile and mature wood in Douglas fir. **Wood and Fiber Science**, v. 25, n. 3, p. 242-249, 1993.

AMARAL, A. C. B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira**. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

AMBIENTE BRASIL. **Estatísticas e economia**. 2007. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&cont_eudo=./florestal/economia.html>. Acesso em: 18 jun. 2007.

AMBIENTE BRASIL. **Industrialização**. 2007. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&cont_eudo=./florestal/industrializacao.html>. Acesso em: 24 maio 2007.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard methods of testing small clear specimens of timber: ASTM D 143 – 94. Philadelphia, PA, 1995.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**. V. 27, n. 3, p. 271-380, 2003.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, 1980. 16p. (Série Técnica, 3).

BARREIROS, R. M., **Anatomia da madeira _Notas de aula**. 2009. Disponível em: <www.itapeva.unesp.br/docentes/ricardo.../Planos_anatomicos_corte1.pdf>. Acesso em: 22 de outubro de 2009.

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

BENDSTEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forestry Product. Journal**. v.28, n. 10, p.61-72. 1978.

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

BIBLIS, E.J. Properties and grande yield of luber from a 27-year-old slash pine plantation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 40, n. 3, p. 21-24, 1990.

BIBLIS, E.J.; BRINKER, R.; CARINO, H.F. et al. Effect of stand age on flexural properties and grade compliance of lumber from loblolly pine plantation timber. **Forest Products Journal**. Madison, v. 43, n.2, p. 23-28, Feb. 1993.

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

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

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden ao nível do dap. **Revista IPEF**, Piracicaba – SP, n. 5, p. 81 – 90, 1972.

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.

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

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

CASTELO, P. A. R. **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**. Curitiba, 2007. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CAVE, I. D.; WALKER, J. C. F. Stiffness of wood in fast grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. **Forest Product Journal**, v. 44, n. 5, p. 43-48, 1994.

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.

CHONG, E.T. et al. Cultural Treatment and wood type effects on wood properties. **Wood and fiber science**, v.21, n. 2, p. 193 – 206, 1989.

CLARK III, A.; SAUCIER, J.R. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile formation in southern pine. **Forest Product Journal**. v.39, p. 42-48, 1989.

DADSWELL, H.E. **The growth characteristic and their influence in wood structure and properties.** Div. Of Build Res., 19 p. 1957.

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

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico.** Santa Maria: Cepef, 1991. 29 p.

ELLIOTT, G.K. **Wood density in conifers.** Oxford: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1970. 44 p. (Comunicação Técnica, 8).

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

FAUST, T.D.; CLARK III, A.; COURCHENE, C.E. et al. Effect of intensive forest management practices on wood properties and pulp yield of young, fast growing southern pine. **Proceedings Tappi International Enviromental Conference**, Nashville, v. 2, p. 501-512, Apr., 1999.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **Boletim Informativo IPEF**, v.6, n.20, A1-A15, 1978.

FOELKEL, C. E. B.; et al. Variabilidade no sentido radial de madeira de *Pinus elliottii*. **IPEF**, n. 10, p. 1-11, 1975.

GEIMER, R. L.; HERIAN, V. L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flake board. **Wood and Fiber Science**, v. 29, n. 2, p. 103- 120, 1997.

GOGGANS, J.F. **The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity**. Raleigh:Technical Report n. 11. North Carolina State University. 1961.

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 *Radiata pine* grow in New Zeland. **World Consultation on forest genetics and tree improvement**, 1. Stockolm. Proceedings. Rome FAO. Cap 7/3. 1963.

HASELEIN, C. R.; TREVISAN, R.; BERGER, R.; STAHL, J.; GOULART, M.; SANTINI, E. J.; LOPES, M. C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12 % de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith quando submetido a diferentes espaçamentos e doses de adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147 - 152, 2002.

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

JACOB, W. S.; BALLONI, E. A. Efeitos da fertilização na qualidade da madeira. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-12, 1978.

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

KAGEYAMA, P. Y.; MORA, A. L.; BARRICHELO, L. E. G.; MIGLIORINI, A. J.; SANSIGOLO, C. A. Variação genética para a densidade da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* – RS In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 813-820.

KELLINSON, R.C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In.: **IUFRO XVII World Congress**. (17. Kioto: 1981) Division 5 Forest Products. p. 77-87.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Curitiba, 2000. 347f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. **Química da madeira**. 2.ed. Curitiba: FUPEF – Série didática n.2/98, 1998. 91 p.

KOCH, P. **Utilization of the southern pines**. Washington: Agriculture Handbook, 1972. 1663 p. (US Department of Agriculture, 420)

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. v. 1.

KOLLMANN, F. **Technologie des holzes und der holzerkstoffe**. Erter Band. Spriger Verlag. Berlin, Göttingen, Heidelberg, J. F. Bermann, München, 1951. 1050p.

KRAHMER, R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: A technical workshop: juvenile wood-what does it mean to forest management and forest products, 1985, Washington. Proceeding...Madison: **Forest Product Research Society**, 1986. p. 12-16.

KRETSCHMANN, D. E. Effect of juvenile wood on shear parallel and compression perpendicular-to-grain strength for loblolly pine. In: CTIA/IUFRO INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1997, Quebec. **Proceedings...** Quebec: Forintek Canada, 1997. p. 23-30.

KRETSCHMANN, D. E.; BENDTSEN, B. A. Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fast-grown plantation Loblolly Pine lumber. **Wood and Fiber Science**, v. 24, n. 2, p. 189-203, 1992.

KUCERA, B. A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in Normay spruce. **Wood and Fiber Science**, v.26,n.1,p.152-167, 1994.

LAHR, F. A. R., MASCIA, N. T. Metodologia do ensaio de peças de madeira à flexão estática. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2., 1986, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1986. p.114-132.

LARA PALMA, H. A. **Determinação dos parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensados de *P. elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1994. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LARSON, P.R.; KRETSCHMANN, D.E.; CLARK III, A.; ISEBRANDS, J.G. "Formation and Properties of Juvenile Wood in Southern Pines: A Synopsis". General Technical Report. FPL-GTR-129. USDA. **Forest Products Laboratory**. Madison. 42 p. 2001.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan/dez 2000.

LIMA, J. T. The wood density of three *Eucalyptus saligna* Smith clones in relation to age. **Ann Sci For**, v. 52, p. 347- 352. 1994.

LOO, J. A.; TAUER, C. C.; McNEW, R. N. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in Loblolly Pine (*Pinus taeda*). **Silvae Genet**, n. 34, p. 14-19, 1985.

LUCAS FILHO, FC. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1997. 101 p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

MALAN, F. S. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.1-19.

MATOS, J. L. M. **Qualidade da Madeira da Pinus.** Revista da Madeira – Edição especial – Pinus Uma alternativa de mercado. p. 104 - 108, dez 2002.

McALISTER, H.; POWERS Jr., H.R. Physical and mechanical properties of half-sib families of rust resistant loblolly and slash pine. **Forest Products Journal**. Madison, v. 42, n. 11/12, p. 15-20, 1992.

McALISTER, R.; CLARK III, A. Shrinkage of juvenile and mature wood of loblolly pine from three locations. **Forest Products Journal**, v. 42, n. 7/8. p. 25-28, 1992.

McALISTER, R.; CLARK III, A.; SAUCIER, J. Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned Slash Pine at age 40. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 7/8, p. 107-109, 1997.

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

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

MUNER, T. S. **Influência de diferentes intensidades de desbaste na qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. para produção de celulose Kraft**. Piracicaba, 1983. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento em Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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

NUNES, P. Dicionário de gestão. 2006. Disponível em: <http://www.notapositiva.com/dicionario_gestao/taxa_interna_rentabilidade.htm>. Documento acessado em: 15 set. 2007.

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

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

PEARSON, R. G. Compressive properties of clear and knotty Loblolly Pine juvenile wood. **Forest Products Journal**, v. 38, n. 7/8, p. 15-22, 1988.

PEARSON, R. G.; 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.

PEARSON, R. G.; ROSS, B. E. Growth rate and bending properties of selected Loblolly Pines. **Wood and Fiber Science**, n. 16, p. 37-47, 1984.

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.

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazônia**, v.18, n.1/2, p.147- 162, 1988.

ROSS, K. D.; SHOTTAFER, J. E.; SHEPARD, R. K. The relationship between selected mechanical properties and age in Quaking aspen. **Forest Products Journal**, v. 40, n. 7/8, p. 54-56, 1990.

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

SAUCIER, J. R. Forest Management and wood quality. Proceedings of southern plantation wood quality workshop - United States Department of Agriculture Forest Service. **Athens**, Georgia june 6-7, 1989.

SCHILLING, A. C. **Influência da desrama sobre a qualidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliotti* Engelm.** 1996. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,1996.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal: Planejamento da produção florestal**. Santa Maria, RS: UFSM, 2002. 492 p.

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

SHIMOYAMA, V. R. S. **Avaliação de propriedades da madeira através de método não destrutivo visando a geração de produtos de alto valor agregado**. Curitiba, 2005. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 148 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2002.

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

TOMASELLI, I. Estudos da densidade básica e dimensões de traqueóides de povoamentos de *Pinus elliotii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. Curitiba: **FUPEF**, jul. 1979. 70 f.

TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia*, e *Pinus* spp produzida em reflorestamentos. In.: PESQUISAS EM RECURSOS FLORESTAIS DO ESTADO DO PARANÁ (Curitiba, 1980), **Relatório final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPF**, n. 29, p 37-45, 1985.

TREDELENBURG, R.; MAYER, W. H. **Das Holz als rohstoff.** Munchen: Carl Hanser Verlag. 541 p. 1956.

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

YANG, K. C.; BENSON, C. A.; WONG, J. K. Distribution of juvenile wood in two stems of *Larix laricina*. **Canadian Journal Forest Research**, v. 16, p. 1041-1049, 1986.

YANG, K. C.; HAZENBERG, G. Impact of spacing on tracheid length, relative density, and growth rate of juvenile wood and mature wood in *Picea mariana*. **Canadian Journal Research**, v. 24, p. 996-1007, 1994.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Forest Service. Wood Handbook: wood as an engineering material.** Washington: Department of Agriculture, 1987. 466 p.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood as an engineering material**. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook N. 72. Washington, DC. 1999.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. SIF/UFV Boletim Técnico, n. 1, p. 1-21, 1984.

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

ZOBEL, B.J. **Genetic manipulation of wood of southern pines, including chemical characteristics**. Paper presents at a general meeting of the international academy of wood science. North Carolina State University, Raleigh. 1971.

ZOBEL, B.J. **Wood quality from fast-grown plantations**. TAPPI. v.64, n.1, p. 4 71. 1981.

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

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

ZOBEL, B. J. A review of the contributions on wood quality. In: World Consultation on Forest Tree breeding, 3. Canberra, 1977. **Proceedings...** Canberra: CSIRO, v. 1, p. 143-144, 1978.

6 CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos nesse estudo sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L., sob influência do espaçamento de plantio, permitem concluir que, de maneira geral, os diferentes espaçamentos influenciaram em alguns parâmetros dendrométricos e na qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.

Os maiores espaçamentos entre plantas proporcionaram um aumento do diâmetro à altura do peito, tanto em árvores dominantes como nas do extrato médio e, conseqüentemente, no volume individual das árvores.

Os maiores espaços vitais proporcionaram maior crescimento por árvore, porém, o maior volume por hectare é encontrado em espaçamentos de plantio intermediários, resultado da melhor ocupação do solo pelas árvores.

Em relação à massa específica básica e às propriedades de flexão estática não foi observado efeito significativo em relação aos espaçamentos analisados.

Os espaçamentos pouco influenciaram as características anatômicas, sendo a idade de segregação definida apenas pela idade das árvores.

A idade de segregação ocorreu entre o 11^o e 13^o anel, sendo que as árvores do espaçamento 1,5 x 3,0 metros produziram maior volume de madeira adulta por hectare.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização deste trabalho, visando pesquisas futuras e auxiliar nos planejamentos e tomada de decisão, sugere-se:

Verificar, através do cálculo de incrementos, qual o melhor momento para realização de intervenções silviculturais, como a realização de desbaste, nos diferentes espaçamentos, a fim de evitar a excessiva mortalidade em algumas densidades populacionais.

Conduzir estudos de crescimento de longo prazo relacionando as variáveis dendrométricas com a dimensão de copa e concorrência entre árvores.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-GADIR, A.Y.; KRAHMER, R. L. Estimating the age of demarcation of juvenile and mature wood in Douglas fir. **Wood and Fiber Science**, v. 25, n. 3, p. 242-249, 1993.

AMARAL, A. C. B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira**. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

AMBIENTE BRASIL. **Estatísticas e economia**. 2007. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&cont_eudo=./florestal/economia.html>. Acesso em: 18 jun. 2007.

AMBIENTE BRASIL. **Industrialização**. 2007. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&cont_eudo=./florestal/industrializacao.html>. Acesso em: 24 maio 2007.

ARITA, G. S. et al. **Características morfológicas dos traqueóides de *Pinus taeda* L.** XI Encontro Anual de Iniciação Científica - de 1 a 4/10/2002 - Maringá – PR Universidade Estadual de Maringá/Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard methods of testing small clear specimens of timber: ASTM D 143 – 94. Philadelphia, PA, 1995.

BALDI, F. **Il processo di produzione dele paste chimiche e il loro trattamento**. Verona: 8° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari Edizione 2000/2001. 41 p.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**. v. 27, n. 3, p. 271-380, 2003.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, 1980. 16p. (Série Técnica, 3).

BAMPI, P. Manejo de Pinus na empresa Papel e Celulose Catarinense - PCC. In: SIMPÓSIO MANEJO DE FLORESTAS PLANTADAS, Esteio, 1991. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1991. p.48-66.

BARREIROS, R. M. **Anatomia da madeira _Notas de aula.** 2009. Disponível em: <www.itapeva.unesp.br/docentes/ricardo.../Planos_anatomicos_corte1.pdf>. Acesso em: 22 de outubro de 2009.

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

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

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

BIBLIS, E.J. Properties and grande yield of luber from a 27-year-old slash pine plantation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 40, n. 3, p. 21-24, 1990.

BIBLIS, E.J.; BRINKER, R.; CARINO, H.F. et al. Effect of stand age on flexural properties and grade compliance of lumber from loblolly pine plantation timber. **Forest Products Journal**. Madison, v. 43, n.2, p. 23-28, Feb. 1993.

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

BLANCO, J. J.; RAMOS, L.; ROMERO, F. A. et al. Comportamiento de *Pinus tropicalis* en cinco espaciamentos de plantación en los suelos ferralíticos cuarcíticos amarillos de Viñales, Cuba. **Revista Forestal Baracoa**, v.18, n.2, p.21-30, 1988.

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Estatísticas do Setor – Relatório 2008-2009.** Disponível: < <http://www.bracelpa.com.br/>>, Documento acessado em 09/2009.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, v.2, n.3, p.129-49, 1971.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden ao nível do dap. **Revista IPEF**, Piracicaba – SP, n. 5, p. 81 – 90, 1972.

BRITO, J. O. **Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *P. caribaea* var. *bahamensis***. Piracicaba, 1983. 113 f.

BROWN, H.P.; PANSIN, A.J.; FORSAITH, C.C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1949. v.1. 652 p.

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

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

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

CAMPOS, J. C. C. H.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2002. 407 p.

CASTELO, P. A. R. **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**. Curitiba, 2007. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CAUMO, M. **La raffinazione**. Verona: 10° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari. Edizione 2002/2003. 47 p.

CAVE, I. D.; WALKER, J. C. F. Stiffness of wood in fast grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. **Forest Product Journal**, v. 44, n. 5, p. 43-48, 1994.

CHEN, S. X.; YANG, M. S.; WANG, L. P. Effect of spacing on volume, storm-resistance and wood quality of *Eucalyptus urophylla*. **Forest-Research**. v.11, n.4, p.435-438, 1998.

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.

CHONG, E.T. et al. Cultural Treatment and wood type effects on wood properties. **Wood and fiber science**, v.21, n. 2, p. 193 – 206, 1989.

CLARK III, A.; SAUCIER, J.R. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile formation in southern pine. **Forest Product Journal**. v.39, p. 42-48, 1989.

COUTO, L.; BRANDI, R. M.; CONDÉ, A. R. Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla*, de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, v.1, n.2, p.57-71, 1977.

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.

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, jan. 1975.

COWN, D. J.; KIBBLEWHITE, R. P. Effects of wood quality variation in New Zealand radiata pine on kraft paper properties. **New Zealand Journal of Forestry Science**. v. 10, n. 3, p. 521 - 532, nov. 1980.

DA COSTA, L. P. E. **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes**, República Argentina. 2008. 128f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

DADSWELL, H.E. **The growth characteristic and their influence in wood structure and properties**. Div. Of Build Res., 19 p. 1957.

DANIEL, T.W.; HELMS, J.A.; BACKER, F.S. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill, 1979. 492 p.

DAVIS, K.P. **Forest managment, regulation and valuation**. USA: Mc Graw –Hill, 1966. 519 p.

DE SOUZA, D. R. **Efeito do espaçamento na produtividade volumétrica de madeira em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* até os 16 anos de idade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1995.

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

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

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Santa Maria: Cepef, 1991. 29 p.

ELLIOTT, G.K. **Wood density in conifers**. Oxford: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1970. 44 p. (Comunicação Técnica, 8).

EMBRAPA. **Zoneamento Pedoclimático para *Pinus taeda* no Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n. 10, 21 p.1999.

ESAU, K. **Anatomy of Seed Plants**. 2^o Ed. John Wiley & Sons. Inc. New York. 1977.

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

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Practicas de plantacion forestall en America Latina**. Roma, 1960.

FAUST, T.D.; CLARK III, A.; COURCHENE, C.E. et al. Effect of intensive forest management practices on wood properties and pulp yield of young, fast growing southern pine. **Proceedings Tappi International Enviromental Conference**, Nashville, v. 2, p. 501-512, Apr., 1999.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **Boletim Informativo IPEF**, v.6, n.20, A1-A15, 1978.

FISHWICK, R. W. Estudo de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. Rio de Janeiro: **Brasil Florestal**, v.7, p. 13 – 23, 1976.

FLORSHEIM, S. M. B.; TOMAZELLO-FILHO, M; SPEGIORIN, L. Variação das dimensões no sentido medula-casca e base-topo de árvores de "aroeira" *Myracrodruon urundeuva* F.F. & A.F. Allemao (Anacardiaceae). **Revista do Instituto Florestal**. 1999; v.11, n.2, p.159-171,1999.

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

FOELKEL, C. E. B.; et al. Variabilidade no sentido radial de madeira de *Pinus elliottii*. **IPEF**, n. 10, p. 1-11, 1975.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E.G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, v.36, n.9, p. 49-53, set 1975.

GARCIA E., L.; GUINDEO C., A., de PALACIOS., P. **Maderas de Coníferas: anatomia de gêneros**. Madrid: Fundación conde Del Valle de Salazar. 1996. 349 p.

GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R.; BULIGON, E. A.; CALEGARI, L.; STANGERLIN, D. M.; OLIVEIRA, L. S. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto para *Platanus x acerifolia* (Ait.) Willd. **Revista Cerne**. v.13, n. 4, p.309-398.2007.

GEIMER, R. L.; HERIAN, V. L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flake board. **Wood and Fiber Science**, v. 29, n. 2, p. 103- 120, 1997.

GOGGANS, J.F. **The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity**. Raleigh:Technical Report n. 11. North Carolina State University. 1961.

GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação**. Brasília DF: IPHAN/MONUMENTA, 2006. 246 p.: Il. Caderno Técnico, 6.

GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; GOMIDE, J. L.; SCHMIDT, C. Qualidade da madeira e da celulose kraft branqueada de treze espécies de *Eucalyptus*. ABCP. **III Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel**. São Paulo: ABCP. p.21-26. Nov. 1983.

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

HAAG, H.P. **Nutrição mineral de eucalyptus, pinus, araucaria e gmelina no Brasil**. Campinas, Fundação Cargill, 1983, 210 p.

HARRIS, J. M. The influence of environment on the wood density of *Radiata pine* grow in New Zeland. **World Consultation on forest genetics and tree improvement**, 1. Stockolm. Proceedings. Rome FAO. Cap 7/3. 1963.

HASELEIN, C. R.; TREVISAN, R.; BERGER, R.; STAHL, J.; GOULART, M.; SANTINI, E. J.; LOPES, M. C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12 % de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith quando submetido a diferentes espaçamentos e doses de adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147 - 152, 2002.

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

HOSSEINI, S. Z.; RAFIGHI, A. Effect of spacing on fiber characteristics and extractive material of maple wood (*Acer velutinum*). **IAWA-Journal**. V.23, n.4, p.465-466, 2002.

ISHIGURI, F.; KASAI, S.; YOKOTA, S.; IIZUKA, K.; YOSHIZAWA, N. Wood quality of sugi (*Cryptomeria japonica*) grown at four initial spacings. **IAWA-Journal**. 2005; v.26, n.3, p.275-386, 2005.

JACOB, W. S.; BALLONI, E. A. Efeitos da fertilização na qualidade da madeira. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-12, 1978.

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

KAGEYAMA, P. Y.; MORA, A. L.; BARRICHELO, L. E. G.; MIGLIORINI, A. J.; SANSIGOLO, C. A. Variação genética para a densidade da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* – RS In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 813-820.

KELLINSON, R. C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In.: **IUFRO XVII World Congress**. (17. Kioto: 1981) Division 5 Forest Products. p. 77-87.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Curitiba, 2000. 347 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. **Química da madeira**. 2.ed. Curitiba: FUPEF – Série didática n.2/98, 1998. 91 p.

KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. **Growndise der Forestbenutzung**. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin. 1966. 91 p.

KOCH, P. **Utilization of the southern pines**. Washington: Agriculture Handbook, 1972. 1663 p. (US Department of Agriculture, 420)

KOLLMANN, F. **Technologie des holzes und der holzerkstoffe**. Erter Band. Spriger Verlag. Berlin, Göttingen, Heidelberg, J. F. Bermann, München, 1951. 1050p.

KOLLMANN, F. P.; CÔTÉ Jr. A. **Principles of wood science and technology**. v. 1. Solid wood. Berlin: Springer Verlag, 1968. 592 p.

KRAHMER, R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: A technical workshop: juvenile wood-what does it mean to forest management and forest products, 1985, Washington. **Proceeding...**Madison: Forest Products Research Society, 1986. p. 12-16.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. EDUR, 1997.

KRETSCHMANN, D. E. Effect of juvenile wood on shear parallel and compression perpendicular-to-grain strength for loblolly pine. In: CTIA/IUFRO INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1997, Quebec. **Proceedings...** Quebec: Forintek Canada, 1997. p. 23-30.

KRETSCHMANN, D. E.; BENDTSEN, B. A. Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fast-grown plantation Loblolly Pine lumber. **Wood and Fiber Science**, v. 24, n. 2, p. 189-203, 1992.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; HERRERA-PONCE, R. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 160 p., 2005.

KUCERA, B. A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in Normay spruce. **Wood and Fiber Science**, v.26,n.1,p.152-167, 1994.

LAHR, F. A. R., MASCIA, N. T. Metodologia do ensaio de peças de madeira à flexão estática. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2., 1986, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1986. p.114-132.

LARA PALMA, H. A. **Determinação dos parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensados de *P. elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1994. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LARSON, P.R.; KRETSCHMANN, D.E.; CLARK III, A.; ISEBRANDS, J.G. "Formation and Properties of Juvenile Wood in Southern Pines: A Synopsis". General Technical Report. FPL-GTR-129. USDA. **Forest Products Laboratory**. Madison. 42 p. 2001.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan/dez 2000.

LIMA, J. T. The wood density of three *Eucalyptus saligna* Smith clones in relation to age. **Ann Sci For**, v. 52, p. 347- 352. 1994.

LISBOA, P. L. B. A anatomia da madeira. **Ciência Hoje**, v.13, n.74, p.44-51, jul. de 1991.

LOO, J. A.; TAUER, C. C.; McNEW, R. N. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in Loblolly Pine (*Pinus taeda*). **Silvae Genet**, n. 34, p. 14-19, 1985.

LUCAS FILHO, FC. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1997. 101 p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

LUXMI, C.; SANGEETA, G.; MADHWAL, R, C.; RAJIV, P. Studies on the effect of spacing on the wood quality in some clones of *Populus deltoides*. **Indian-Forester**. v.127, n.1, p.101-106, 2001.

MALAN, F. S. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.1-19.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Gimnospermas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1996. 158 p.

MATOS, J. L. M. **Qualidade da Madeira da Pinus**. Revista da Madeira – Edição especial – Pinus Uma alternativa de mercado. p. 104 - 108, dez 2002.

McALISTER, H.; POWERS Jr., H.R. Physical and mechanical properties of half-sib families of rust resistant loblolly and slash pine. **Forest Products Journal**. Madison, v. 42, n. 11/12, p. 15-20, 1992.

McALISTER, R.; CLARK III, A. Shrinkage of juvenile and mature wood of loblolly pine from three locations. **Forest Products Journal**, v. 42, n. 7/8. p. 25-28, 1992.

McALISTER, R.; CLARK III, A.; SAUCIER, J. Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned Slash Pine at age 40. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 7/8, p. 107-109, 1997.

MELLO, H. A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J.; SIMÕES, J. W. Influência do espaçamento na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, v.2/3, p.3-30, 1971.

MELO, C. F. M.; WISNIEWSKI, A.; ALVES, S. M. Possibilidades papeleiras do açazeiro. **O papel**, v. 36, n. 1, p. 33 - 43, 1975.

MENDONÇA, M. A. **Características da Madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel.** Curitiba 1982.124 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.

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.

MORA, A. L. **Interação com espaçamento e locais em clones de *Eucalyptus* spp. no norte do Estado da Bahia.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986.

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

MOTTA, F. S.; BEIRSDORF, M. J. C.; GARCEZ, R. B. **Zoneamento agrícola do Rio Grande do Sul e Santa Catarina: normas agroclimáticas.** Pelotas: Ministério da Agricultura, 1971. 80 p.

MÜHLSTEPH, W. **Cellulosechemie**, v.18, n.6, p. 132, 1940a.

MÜHLSTEPH, W. **Holz Roh-u Werkstoff**, v.3, n.2, p .45, 1940b.

MÜHLSTEPH, W. **Papierfabr.** v.72. n.14, p.201, 1941.

MUNER, T. S. **Influência de diferentes intensidades de desbaste na qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. para produção de celulose Kraft.** Piracicaba, 1983. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento em Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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

NAHUZ, M. A. R. Tendência do mercado de produtos florestais. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, n.78, p.10-18, 2004.

NIGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 2005. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.

NUNES, P. Dicionário de gestão. 2006. Disponível em: <http://www.notapositiva.com/dicionario_gestao/taxa_interna_rentabilidade.htm>. Documento acessado em: 15 set. 2007.

ODA, S.; MELLO, E. J.; MENCK, A. L. M. Variação da densidade básica da madeira de clones de *E. grandis* e *E. saligna* em diferentes espaçamentos, com 6 anos de idade. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990. Campos do Jordão, SP. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p.701-705.

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

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

PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com espaçamento**. Piracicaba:ESALQ/USP, 1986. 192 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986.

PEARSON, R. G. Compressive properties of clear and knotty Loblolly Pine juvenile wood. **Forest Products Journal**, v. 38, n. 7/8, p. 15-22, 1988.

PEARSON, R. G.; 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.

PEARSON, R. G.; ROSS, B. E. Growth rate and bending properties of selected Loblolly Pines. **Wood and Fiber Science**, n. 16, p. 37-47, 1984.

PEREIRA, et al. Morfologia e densidade básica das folhas de tucum (*bactris inundata* martius) como fonte de fibras celulósicas para papel. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, 2002.

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.

PETERI, R. Pulping studies with African tropical woods. **TAPPI**, v.35, n.4, p.157-160, 1952.

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. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.267-273, 2004.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, jun. 2004.

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazônia**, v.18, n.1/2, p.147- 162, 1988.

ROSS, K. D.; SHOTTAFER, J. E.; SHEPARD, R. K. The relationship between selected mechanical properties and age in Quaking aspen. **Forest Products Journal**, v. 40, n. 7/8, p. 54-56, 1990.

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

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística. Geografia e Informática. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro. 1986. 173 p.

SAUCIER, J. R. **Forest Management and wood quality**. Proceedings of southern plantation wood quality workshop - United States Department of Agriculture Forest Service. Athens, Georgia June 6-7, 1989.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Estatística**. Disponível em: <www.sbs.org.br/estatistica>. Acesso em: 2 de setembro de 2005.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. **SBS dia a dia**. Disponível em: <www.sbs.org.br/estatistica>. Acesso em: 16 de maio de 2006.

SCHILLING, A. C. **Influência da desrama sobre a qualidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliotti* Engelm.** 1996. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal: Planejamento da produção florestal**. Santa Maria, RS: UFSM, 2002. 492 p.

SCHNEIDER, P. S. P. **Autodesbaste e diagrama de manejo da densidade em povoamentos de *Pinus taeda* L.** / 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1993. 348 p.

SCHÖNAU, A.P.G. The effect of planting spacing and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, n.88, p.16-23, 1974.

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. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**. Lavras: FAEPE, 1994.

SELLE, G. L. **Influência dos fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L, na região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

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. **Avaliação de propriedades da madeira através de método não destrutivo visando a geração de produtos de alto valor agregado.** Curitiba, 2005. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

SILVA, J. C. Características da madeira de eucalipto. **Revista da Madeira**, n.52, p. 30-8, 2000.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 148 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2002.

SIMÕES, J. W. et al. Crescimento e produção de madeira de eucalipto. **IPEF**, v.20, p.77-97, 1980.

SPÄTH, H. **Spline-Algorithmen zur Konstruktion glatter Kurven und Flächen.** Munchen: R. Oldenbourg Verlag GmbH, 1973, 134p.

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

TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia*, e *Pinus* spp produzida em reflorestamentos. In.: PESQUISAS EM RECURSOS FLORESTAIS DO ESTADO DO PARANÁ (Curitiba, 1980), **Relatório final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.

TOMASELLI, I. Estudos da densidade básica e dimensões de traqueóides de povoamentos de *Pinus elliotii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. Curitiba: **FUPEF**, jul. 1979. 70 f.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPF**, n. 29, p 37-45, 1985.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do Sudeste, Rio Grande do Sul.** 2003, 289 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TONINI, H. **Crescimento em altura de *Pinus elliottii*. Engelm. em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no Estado do Rio Grande do Sul.** 2000, 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a depressão Central e serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 27-43, jan./ mar. 2006.

TREDELENBURG, R.; MAYER, W. H. **Das Holz als rohstoff. Munchen:** Carl Hanser Verlag. 541 p. 1956.

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

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Forest Service. Wood Handbook: wood as an engineering material.** Washington: Department of Agriculture, 1987. 466 p.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood as an engineering material.** U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook N. 72. Washington, DC. 1999.

VALE, A. B.; PAIVA, H. N.; FELFILI, J. M. Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal. **Boletim Técnico SIF**, n.4, 1982. 20 p.

VALERI, S. V.; ISMAEL, J. J.; VALLE, C. F. Produção de madeira para celulose e energia de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos quatro anos de idade em função da densidade de plantio. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, 1997. v.3.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** SIF/UFV Boletim Técnico, n. 1, p. 1-21, 1984.

WATSON, A. J.; DADSWELL, H. E. Influence of fibre morphology on paper properties – Part I. Fibre length. **APPITA**, Carlton, v. 14, n. 5, p. 168 – 178, mar. 1961.

WHEELER, E. **Wood anatomy and properties**. Disponível em <http://legacy.ncsu.edu/WPS202/syllabus.html>. Acesso em 02 de outubro de 2005.

YANG, K, C. Impact of spacing on width and basal area of juvenile and mature wood in *Picea mariana* and *Picea glauca*. **Wood and Fiber Science**. v.26, n.4, p.479-488, 1994.

YANG, K, C.; HAZENBERG, G. Impact of spacing on tracheid length, relative density, and growth rate of juvenile wood and mature wood in *Picea mariana*. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 24, n.5, p.996-1007, 1994.

YANG, K. C.; BENSON, C. A.; WONG, J. K. Distribution of juvenile wood in two stems of *Larix laricina*. **Canadian Journal Forest Research**, v. 16, p. 1041-1049, 1986.

YARED, J. A. G.; LEITE, H. G.; SILVA, R. R. F. Volumetria e fator de forma de morotó (*Didymopanax morototonii* Aubl. Decne. et Planch.) sob diferentes espaçamentos. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, 1993. Curitiba, PR. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993.

YERO, L.; GONZALEZ, A; MOLINA, G.; TORRES, J. Y.; HERRERO, G. Estudio sobre el desarrollo del *Pinus maestrensis* Bajo Nueve, tipos de espacimientos en su habitat natural, la Sierra Maestra. **Revista Baracoa**, Habana. v.22. n.1. p.73-83, 1992.

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

ZOBEL, B.J. **Genetic manipulation of wood of southern pines, including chemical characteristics**. Paper presents at a general meeting of the international academy of wood science. North Carolina State University, Raleigh. 1971.

ZOBEL, B. J. A review of the contributions on wood quality. In: World Consultation on Forest Tree breeding, 3. Canberra, 1977. **Proceedings...**Canberra: CSIRO, v.1, p.143-144, 1978.

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

ZOBEL, B. Silvicultural effects on wood properties. **IPEF International**, v.2, p.31-38, 1992.

ZOBEL, B.J. **Wood quality from fast-grown plantations**. TAPPI. v.64, n.1, p. 4 71. 1981.

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

ZOBEL, B.J.; SPRAGUE, J. R. **Juvenile wood in forest tress**. Sringer-Verlag, Berlin, Germany,1998. 300 p.

9 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Tabelas de análise de variância e da relação entre as dimensões dos traqueóides do capítulo Efeito do espaçamento nas características de traqueóide da madeira de *Pinus taeda* L.

TABELA 9.1.1 - Análise de variância do comprimento dos traqueóides.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	3	1832,54	610,848	1217,06	<,0001**
Erro	3291	1651,77	0,501904		
Total	3294	3484,31			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.2 - Análise de variância para o diâmetro total do traqueóide.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	5	13852,9	277057	46,23	<,0001**
Erro	3289	197124,0	59,9344		
Total	3294	210977,0			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.3 - Análise de variância para o diâmetro do lume.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	5	35256,8	7051,35	74,48	<,0000**
Erro	3289	311380,0	94,6731		
Total	3294	346637,0			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.4 - Análise de variância para a espessura da parede do traqueóide.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	4	6723,23	1680,81	262,86	<,0001**
Erro	3290	21037,1	6,39426		
Total	3294	27760,3			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.5 - Análise de variância para o coeficiente de flexibilidade em função da idade.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	1	2741,5	2741,5	31,14	0,0000**
Erro	75	6602,4	88,032		
Total	76	6602,4			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.6 - Análise de variância para a fração de parede em função da idade e do espaçamento na linha de plantio.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	2	3076,2	1538,1	24,00	0,0000**
Erro	74	3743,33	64,099		
Total	76	7819,52			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.7 - Análise de variância para o índice de enfeitramento da idade

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	1	18080,3	18080,3	328,55	0,0000**
Erro	75	4127,28	55,0304		
Total	76	22207,5			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.8 - Análise de variância para o índice de Runkel em função da idade e do espaçamento na linha de plantio.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	2	0,30589	0,1530	23,44	0,0000**
Erro	74	0,4830	0,00653		
Total	76	0,788831			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.9 - Análise de variância para o índice de Boiler em função da idade e do espaçamento na linha.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	2	0,52862	0,26431	20,53	0,0000**
Erro	74	0,952479	0,01287		
Total	76	1,4811			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9.1.10 - Análise de variância para o Índice de Mülsteph em função da idade.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	1	0,461082	0,461082	32,03	0,0000**
Erro	75	1,07966	0,0143955		
Total	76	1,54074			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 2. Tabelas de análise de variância e covariância do capítulo
Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em povoamentos com diferentes
espaçamentos.

TABELA 9.2.1 - Análise de variância para a massa específica básica ponderada para árvores de *Pinus taeda* L. aos 18 anos.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	4	0,000258181	0,0000645453	0,03	0,9976 ^{ns}
Erro	49	0,0912614	0,00186248		
Total	53	0,0915195			

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.