

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO
CAMPUS DE IRATI, PARANÁ**

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO NO
CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO
CENTRO-SUL DO PARANÁ**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOÃO MAURÍCIO PACHECO

IRATI – PR

JOÃO MAURÍCIO PACHECO

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* L. NA
REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Professor Dr. Afonso Figueiredo Filho
Professora Dra. Andrea Nogueira Dias
Professor Dr. Sebastião do Amaral Machado

IRATI – PR

2013

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

P116i PACHECO, João Maurício
 Influência do espaçamento no crescimento de *Pinus taeda* L. na
 região Centro-Sul do Paraná / João Maurício Pacheco. – Irati, PR :
 UNICENTRO, 2013.

58f.
ISBN

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro -
Oeste, PR. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais,
área de concentração em Manejo Florestal
Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho
Coorientadora: Prof^a Dr^a. Andrea Nogueira Dias
Coorientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

1. Engenharia Florestal – dissertação. I. Figueiredo Filho, Afonso.
II. Dias, Andrea Nogueira. III. Machado, Sebastião do Amaral. IV.
Título.

CDD 20^a ed. 585.2



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

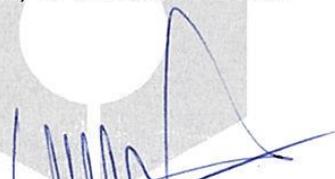
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

Defesa Nº 50

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir o mestrando **João Maurício Pacheco** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 17 de abril de 2013.


Dr. André Felipe Hess

Universidade do Estado de Santa Catarina
Primeiro Examinador



Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná
Segundo Examinador


Dr. Afonso Figueiredo Filho

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR

Campus CEDETEG: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR

Campus de Irati: PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

Dedico a Deus e Agradeço a todos que de maneira direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Laeres Teles Pacheco (Seu Pacheco) e Maria de Lourdes Pacheco (Dona Lourdes).

A Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Afonso Figueiredo Filho pela oportunidade e orientação.

Aos professores Andréa Nogueira Dias e Sebastião do Amaral Machado pela valiosa coorientação.

A todos os professores da pós-graduação em ciências florestais da UNICENTRO que a cada dia buscam melhorar a qualidade do ensino e da pesquisa.

A minha namorada Mariana Bussolo Stang.

Aos amigos Pedro Britto, Tiago Sorriso, Paula Vandresen e Marcelo Roveda.

Ao Rodrigo Lima pela parceria no trabalho de campo e pela amizade.

Aos amigos que contribuíram para execução do trabalho, Dr. Thiago F. Stepka, Egiéle Maria de Melo, Diego Brandes, José Alexandre Czerek, Dr. André F. Hess e Neumar Irineu Wolff II.

Aos amigos de convivência em Irati, Eliton Moreira, Jean Alberto Sampietro, André L. N. Pereira, Saulo Boldrini, Barbara Dalgallo e Lygia Maria Napoli.

A minha tia avó Lilia Hoffmann (*in memoriam*).

As minhas irmãs de sangue e a meus irmãos (Amigos) de Florianópolis, Clarissa Pacheco, Adriana Pacheco, Rafael Di Foggi, Pedro Piazzaroli, Rafael Jacondino, Danilo Di Foggi, Gabriel Brognoli, Rodrigo Block, Leonardo Vieira, Thiaguinho (Bogorne), Bruno Pereira Martendal, Lucas Moraes e Emanuel Burigo.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma maneira para a concretização do presente trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivos Gerais	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Plantio de <i>Pinus taeda</i> Linnaeus no Brasil	5
3.2 Fatores que afetam o crescimento das árvores e da floresta	7
3.3 Crescimento e produção.....	9
3.3.1 Diâmetro	11
3.3.2 Altura	12
3.3.3 Área Basal e Volume	13
3.4 Avaliação do crescimento e da produção	15
3.5 Modelos de crescimento	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 Local de estudo	19
4.1.1 Caracterização da área de estudo.....	20
4.2 Experimento.....	20
4.3 Amostragem para a análise de tronco completa (ANATRO)	23
4.4 Geração dos dados de crescimento e produção	26
4.4.1 Modelagem da produção	29
4.4.2 Construção das curvas de crescimento acumulado e incremento.....	30
4.4.3 Estimativa da área basal e do volume sem casca por hectare.....	30
4.4.4 Fator de forma artificial	32
4.4.5 Comparação do crescimento entre os tratamentos	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 Modelagem da produção.....	33
5.2 Crescimento das variáveis	35
5.2.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)	35

5.2.2	Área transversal (g)	39
5.2.3	Altura	41
5.2.4	Volume	44
5.2.5	Área basal e Volume por hectare.....	47
5.3	Fator de forma artificial	50
5.4	Análise global da influência do espaçamento no crescimento das variáveis utilizadas.....	51
6.	CONCLUSÕES.....	53
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tratamentos, número de árvores por tratamento e número de árvores por hectare.	22
Tabela 2: Classes de diâmetros por tratamento, usadas para a seleção da árvore amostrada para Análise de Tronco Completa.	23
Tabela 3: Mortalidade anual (ha) referente a cada espaçamento e por tratamento.	31
Tabela 4: Densidade inicial, mortalidade e sobrevivência referente a cada espaçamento por hectare na idade de 9 anos.	31
Tabela 5: Coeficientes e estatísticas da equação de Chapman-Richards para as variáveis DAP (cm), Área Transversal (m ²), Altura (m) e Volume (m ³) para cada tratamento.	34
Tabela 6: Médias por idade do diâmetro à altura do peito (DAP) sem casca para <i>Pinus taeda</i> L. em 9 diferentes espaçamentos, em Irati, PR.	35
Tabela 7: Diâmetro médio quadrático (dg) para todos os espaçamentos e idades.	38
Tabela 8: Médias por idade da Área transversal (g) sem casca para <i>Pinus taeda</i> L. em 9 diferentes espaçamentos, em Irati, PR.	39
Tabela 9: Médias por idade da altura total para <i>Pinus taeda</i> L. em 9 diferentes espaçamentos, em Irati, PR.	42
Tabela 10: Médias por idade do volume total para <i>Pinus taeda</i> L. em 9 diferentes espaçamentos, em Irati, PR.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre o crescimento e produção em povoamento equiâneo, sendo p o ponto de inflexão da curva de produção.	10
Figura 2: Perfil longitudinal de uma árvore utilizando análise de tronco completa.	16
Figura 3: Localização do Município de Irati, estado do Paraná.	19
Figura 4: Área do experimento: 2,52 hectares (1:1000).	20
Figura 5: Distribuição das parcelas (m x m) na área experimental.	21
Figura 6: Formas das parcelas do experimento.	22
Figura 7: Marcação no fuste para a retirada dos discos.	24
Figura 8: Número que identifica a posição (11) e o número da árvore (80).	24
Figura 9: Discos identificados por altura.	25
Figura 10: Lintab VI, utilizado para medição dos anéis de crescimento.	26
Figura 11: Dados gerados pelo equipamento Lintab VI.	27
Figura 12: Dados de diâmetro sem casca ao longo do tronco gerado pelo Suplemento Florexel.	27
Figura 13: Perfil longitudinal produzido pelo Suplemento Florexel.	28
Figura 14: Parâmetros para cada árvore em uma mesma idade (9 anos), gerados pelo Florexel.	28
Figura 15: Parâmetros para uma árvore (árvore 2) e por idade, gerados pelo Florexel.	29
Figura 16: Efeito da densidade inicial no crescimento acumulado do diâmetro (DAP) médio sem casca.	36
Figura 17: Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para o diâmetro a altura do peito (DAP) para espaço vital menor (1 m ²), médio (7,5 m ²) e maior (16 m ²).	38
Figura 18: Efeito da densidade inicial no crescimento acumulado da área transversal (g) média sem casca.	40
Figura 19: Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para a área transversal (g) no espaço vital menor (1 m ²), médio (7,5 m ²) e maior (16 m ²).	41
Figura 20: Efeito da densidade inicial no crescimento acumulado da altura total média.	43
Figura 21: Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para altura total no espaço vital menor (1 m ²), médio (7,5 m ²) e maior (16 m ²).	44
Figura 22: Efeito da densidade inicial no crescimento acumulado do volume individual médio sem casca.	46

Figura 23: Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para volume médio individual sem casca no espaço vital menor (1 m ²), médio (7,5 m ²) e maior (16 m ²).....	47
Figura 24: Área Basal (G) estimada por espaçamento para cada tratamento ao longo dos anos.....	48
Figura 25: Volume total sem casca estimado por hectare para cada tratamento ao longo dos anos.....	49
Figura 26: Fator de forma artificial médio para cada espaçamento aos 9 anos.	50
Figura 27: Curvas de produção para o diâmetro (DAP) área transversal (g) e volume destacando a curva para o espaço vital 7,5 m ² que divide os tratamentos em dois grupos (1: Regime de manejo pulpwood/2: regime de manejo utility).	52

RESUMO

João Maurício Pacheco. Influência do espaçamento no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro-Sul do Paraná.

Nesta pesquisa foi avaliado o efeito de nove densidades iniciais no crescimento de *Pinus taeda* L., utilizando-se a análise de tronco completa (ANATRO). O experimento foi instalado em 2002 e está localizado no município de Irati, região Centro-Sul do Estado do Paraná. Foram estabelecidos 9 tratamentos com os espaços vitais entre 1,0 e 16,0 m² (1,0 x 1,0 m; 2,0 x 1,0 m; 2,0 x 2,0 m; 3,0 x 2,5 m; 3,0 x 3,0 m; 3,5 x 3,0 m; 4,0 x 3,0 m; 4,0 x 3,5 m e 4,0 x 4,0 m). Os dados foram coletados nos meses de junho e julho de 2012, aos nove anos de idade, estratificando-se a distribuição diamétrica de cada tratamento em nove classes de diâmetro a 1,3 m (DAP), sendo amostrada uma árvore por classe, totalizando, 81 árvores para aplicação da ANATRO. O efeito da densidade inicial no crescimento do diâmetro (DAP), área transversal, altura total, volume individual, área basal e volume por hectare foi avaliado pelo Delineamento Inteiramente Casualizado. As curvas de produção dessas variáveis foram representadas pelo modelo biológico de Chapman-Richards, assim como os incrementos corrente e médio anual. Também foi estudada a evolução da forma dos troncos com o fator de forma comum. O diâmetro (DAP), área transversal, volume individual, área basal e volume por hectare sofreram influência da densidade inicial a partir do quinto ano de idade e os espaços vitais de 14 e 4 m² apresentaram, respectivamente, as maiores e menores taxas de incremento individuais. O espaço vital de 14 m² teve um crescimento médio em diâmetro (DAP), 37% maior do que o espaço vital de menor crescimento (4 m²) aos nove anos de idade. A altura média até os nove anos de idade não apresentou diferença estatística, demonstrando que essa variável é pouco influenciada pelo espaçamento, sendo a maior altura encontrada no espaço vital 14 m², 11% superior ao espaço vital de menor crescimento para essa variável (4 m²). A área basal (G) e o volume por hectare foram afetados pelo espaçamento e mostraram diferenças de crescimento entre tratamentos a partir do quinto ano de idade, onde o espaços vitais de 1 e 2 m² tiveram o maior crescimento para as duas variáveis, respectivamente. O fator de forma artificial indicou que densidades iniciais maiores resultam em troncos 17% mais cilíndricos do que os encontrados para as menores densidades iniciais. O crescimento avaliado com ANATRO e com Parcelas Permanentes (PP) apresentou resultados próximos para as médias individuais do diâmetro, área transversal e volume. Os resultados indicam que o espaço vital de 7,5 m² divide os tratamentos em dois grandes grupos,

ou seja, espaços vitais menores (1 a 7,5 m²) em rotações curtas poderiam ser empregados para produzir biomassa (regime de manejo pulpwood), enquanto os maiores (7,5 m² a 16 m²) seriam mais indicados para gerar multiprodutos em rotações mais longas. Espaços vitais com cerca de 7,5 m² poderiam ser usados quando ao implantar a floresta, o proprietário ainda não tem certeza do destino final do produto, podendo, portanto, optar pelo regime de manejo pulpwood ou utility.

Palavras-chave: Densidade Inicial e o incremento, Espaço vital por árvore, Evolução da forma do tronco.

ABSTRACT

João Maurício Pacheco. Influence of spacing on the growth of *Pinus taeda* L. in the Central-Southern region of Paraná.

This study evaluated the effect of nine initial densities on the growth of *Pinus taeda* L., using the complete stem analysis (ANATRO). The experiment was established in 2002 and it is located in the municipality of Irati, Central-Southern state of Paraná, Brazil. Nine treatments were implanted with vital spaces between 1.0 and 16.0 m² (1.0 x 1.0 m, 2.0 x 1.0 m, 2.0 x 2.0 m, 3.0 x 2.5 m, 3.0 x 3.0 m, 3.5 x 3.0 m, 4.0 x 3.0 m, 4.0 x 3.5 m and 4.0 x 4.0 m). Data were collected during June and July, 2012, at 9 years old, stratifying by the diameter distribution of each treatment in 9 classes of diameter at 1.3 m (DBH), being sampled one tree per class, totaling therefore, 81 trees to be applied the ANATRO. The effect of initial density on the growth of diameter (DBH), cross-sectional area, total height, individual volume, basal area and volume per hectare was evaluated by a randomized design. The variable production was represented by a Chapman-Richards biological model, as well as current and mean annual increments. It was also studied the stem taper evolution with the common form factor. The diameter (DBH), cross-sectional area, individual volume, basal area and volume per hectare were influenced by the initial densities from the fifth year of age and vital spaces of 14 and 4 m² presented, respectively, the highest and lowest rates of individual increment. The vital space of 14 m² had an average increment in diameter (DBH), 37% higher than the vital space of lower growth (4 m²) at the 9 years old. The average height up to 9 years of age showed no statistical difference, indicating that this variable is not affected by spacing, being that the greater total height, found in 14 m² vital space at the 9 years of age, is 11% higher than the vital space of lower growth for this variable (4 m²). The basal area (G) and volume per hectare were affected by spacing and showed different growth between treatments from the fifth years old, where the vital spaces of 1 and 2 m² had the highest growth for both variables at age 9. The form factor at age 9 years old indicated that higher initial densities result more cylindrical stems around 17% of that found for lower initial densities. The growth evaluated by ANATRO and permanent plots (PP) showed similar results to the individual average diameter, cross-sectional area and volume. The results indicated that the 7.5 m² vital space could be divided into two major groups, namely, smaller vital spaces (1 to 7,5 m²) with short

rotation which could be employed to produce biomass (pulpwood management regime) while the largest vital spaces (7,5 to 16 m²) would be more suitable to generate multiproduct on longer rotations. Vital spaces with about 7.5 m² could be used when to the planting of the stand, the owner is still not sure of the final destination of the product, and can therefore opt for the pulpwood or utility management regime.

Keywords: Initial density and the increment, Vital space per tree, Evolution of stem form.

1. INTRODUÇÃO

A demanda pela utilização de madeira aumentou significativamente ao longo dos últimos anos, juntamente com o crescimento populacional, com isto, técnicas de produção florestal vêm se aprimorando para melhor atender às necessidades humanas, sendo, portanto, indispensável o desenvolvimento de pesquisas nas várias áreas da ciência florestal, como por exemplo: inventário florestal, fisiologia vegetal, silvicultura, manejo, geoprocessamento, morfologia vegetal, etc.

As espécies nativas com maior potencial madeireiro, que antes eram encontradas em abundância, notadamente na região Sul do Brasil, desde algumas décadas se tornaram escassas e foram incluídas na lista das espécies em extinção. Várias avaliações sobre os remanescentes de Floresta Ombrófila Mista no Paraná apontam a existência de menos de 10% da cobertura original em vários estágios de sucessão em fragmentos alterados ou descaracterizados (LEITE e KLEIN, 1990).

Muito embora, algumas atividades de silvicultura no Brasil tenham iniciado há cerca de um século, com a introdução do gênero *Eucalyptus*, pela Companhia Paulista de Estrada de Ferro em 1904, e do gênero *Pinus* pela Companhia Melhoramentos de São Paulo, em 1922 (CSS, 2009), a implantação de florestas plantadas no Brasil teve impulso comercial somente a partir das décadas de 1960 e 1970, notadamente com plantios desses mesmos gêneros.

Assim, em 2011, as áreas de plantios florestais dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* totalizaram 6.515.844 hectares, sendo 74,8% deste total relativos ao gênero *Eucalyptus* e 25,2% ao gênero *Pinus* (ABRAF, 2012). Ainda segundo a mesma fonte, o Valor da Produção Bruta com florestas plantadas no Brasil foi da ordem de 53,91 bilhões de reais, gerando 4,73 milhões entre empregos diretos, indiretos e os devidos ao efeito-renda. Contribuiu com 3,1% das exportações brasileiras, indicando a relevância e a envergadura do setor e suas indústrias integradas para o desenvolvimento econômico e social do país.

Neste curto período de tempo da experiência brasileira com florestas plantadas, a tecnologia envolvida na atividade evoluiu e se aprimorou de tal forma, notadamente para os dois principais gêneros, obtendo incrementos para *Pinus* e *Eucalyptus* muito superiores àqueles gerados em seu próprio local de origem ou mesmo em outros países onde foram introduzidos. De acordo com ABRAF (2011), a média de crescimento do *Pinus* e do *Eucalyptus* no Brasil é de 37 m³/ha.ano e de 41 m³/ha.ano em média respectivamente.

O *Pinus*, principalmente o *Pinus taeda* é a espécie mais plantada no sul do Brasil. Tendo em vista o seu rápido crescimento e boa qualidade da madeira, é muito usado em vários segmentos industriais, gerando uma diversidade de produtos (DOSSA, 2005).

Sabe-se que o crescimento florestal é influenciado por inúmeros fatores, tais como: luminosidade, disponibilidade de nutrientes, densidade de plantio, genética, tipo de solo, clima, dentre outros. De acordo com Berger (2000), o espaçamento é um dos fatores que mais exerce influência sobre o crescimento de um povoamento florestal, e pode ser controlada eficientemente pelo silvicultor, desempenhando um papel importante quando se deseja produzir madeira para diferentes setores produtivos.

Scolforo (1998a) considerou que a escolha do espaçamento tem como objetivo proporcionar o espaço suficiente para obtenção do máximo crescimento com a melhor qualidade e menor custo, a fim de proporcionar a mais adequada relação custo/benefício.

Dependendo do espaço vital inicial utilizado se obtêm diferentes respostas de crescimento, determinar através de observações como a floresta cresce ao longo dos anos é uma informação valiosa para o planejador florestal, que pode tomar decisões mais acertadas e seguras em relação às épocas oportunas de realizar podas, desbastes e a rotação do povoamento. Conhecer como a floresta se desenvolve exige remedições periódicas e, normalmente, a técnica mais empregada para isto é o Inventário Florestal Contínuo com o uso de parcelas permanentes.

Por outro lado, povoamentos com espécies que têm como característica a formação de um anel de crescimento anual, podem dispor de uma tecnologia bastante acurada e rápida que é a análise de tronco parcial ou completa.

Análise de tronco completa é uma técnica utilizada para analisar o crescimento ao longo do tempo, em espécies que apresentam anéis de crescimento. É de grande utilidade quando não se conhece o crescimento passado do povoamento, pois, de acordo com Finger (2006), a vantagem do método está na rapidez, boa precisão e baixo custo para a obtenção dos dados. Machado *et al.* (2010) mencionaram que é possível reconstruir o crescimento de uma árvore a partir de seu primeiro ano de vida utilizando de análise de tronco, com isto, pode-se estudar a influência da densidade no crescimento florestal.

Muitos autores vêm realizando trabalhos estudando o efeito da densidade do povoamento no crescimento florestal, podendo-se citar, entre outros, Berenhauser (1971), Balloni e Simões (1980), Jones (1987), Crechi (1996), Leite *et al.* (2006), Pauleski *et al.* (2010), Lima (2010). Todavia, a maioria destas pesquisas não empregaram as novas tecnologias que vêm sendo utilizadas nos plantios florestais Brasileiros.

Desta forma, é importante a realização de estudos relacionados a diferentes densidades iniciais diante dessas novas tecnologias silviculturais (sementes melhoradas, clones, preparo do solo, técnicas de plantios, podas, desbastes, etc). Assim, a presente pesquisa objetivou analisar o efeito da densidade no crescimento de variáveis dendrométricas em nove diferentes espaçamentos em função da idade, envolvendo tecnologias de plantio mais atuais de *Pinus taeda* L., espécie economicamente mais valiosa para o setor florestal do sul do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a influência da densidade inicial no crescimento e na produção de *Pinus taeda* L., utilizando-se a análise de tronco completa (ANATRO).

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar o crescimento passado do diâmetro, altura, área transversal e volume.
- Ajustar o modelo biométrico não linear de Chapman-Richards por espaçamento com a finalidade de construir curvas médias de produção e incremento para as variáveis: diâmetro, altura, área transversal e volume.
- Avaliar o efeito da densidade inicial no crescimento em diâmetro, altura, área transversal e volume.
- Avaliar o efeito da densidade inicial no crescimento em área basal e volume por hectare.
- Analisar por meio de gráficos o efeito do espaçamento na culminação do crescimento e na evolução do fator de forma.
- Comparar os resultados da avaliação do crescimento por meio de ANATRO, com medições advindas de parcelas permanentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Plantio de *Pinus taeda* Linnaeus no Brasil

O gênero *Pinus* juntamente com o gênero *Eucalyptus* são os mais difundidos no Brasil, em termos de monocultivo com a finalidade de fornecer madeira para a indústria. Com isto, métodos silviculturais devem ser empregados para usufruir ao máximo a capacidade produtiva do local. O manejo do gênero *Pinus* no Brasil vem se aprimorando desde 1936, quando se iniciou a introdução de coníferas exóticas no país, incentivado pelo Serviço Florestal do Estado de São Paulo (SUASSUNA, 1977).

Shimizu (2005) mencionou que o *Pinus taeda* é a mais importante dentre as espécies florestais plantadas, comercialmente, no Sul e Sudeste dos Estados Unidos. Essa espécie ocorre nessa região, desde Delaware, no Nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi. A cobertura florestal com esta espécie, nos Estados Unidos, é estimada em 11,7 milhões de hectares.

A área reflorestada no Brasil com *Pinus taeda* era de aproximadamente 1,6 milhões de hectares no ano de 2011, não havendo incremento em termos de área de plantio da espécie em relação ao ano de 2010. Esta estagnação do crescimento da área plantada pode ser associada a restrições impostas pelo governo brasileiro para a compra de terras com capital estrangeiro. Também pela reduzida atividade econômica dos principais países importadores e pela excessiva burocratização nos processos de licenciamento ambiental (ABRAF, 2012).

A razão da implantação do gênero *Pinus* no Brasil foi o suprimento de madeira para a indústria, onde possui uma demanda de matéria prima muito alta, principalmente na fabricação de papel, celulose, móveis, laminação, painéis etc.. Com a proibição da exploração da *Araucaria angustifolia* os monocultivos de espécies arbóreas ganharam força no Brasil, tornando cada vez mais profundos os estudos relacionados com o gênero *Pinus* (SUASSUNA, 1977).

Com os recursos disponibilizados pelo governo para o plantio de florestas, no começo da década de 60 até o final da década de 80 foi possível produzir matéria prima para diversas finalidades (SUASSUNA, 1977). Os plantios dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, no Brasil, têm importância para o mercado mundial, principalmente na exportação de celulose, onde o Brasil representa 21% desta fatia e 3,1% da exportação de todos os produtos advindos da madeira

(ABRAF, 2012), contudo, deve-se enfatizar que para produzir madeira de alta qualidade alguns cuidados no manejo devem ser observados.

Dependendo do objetivo com que é produzida a madeira, devem ser tomadas decisões importantes como o espaçamento inicial, os regimes de desbastes, de podas e a idade para o corte raso (OLIVEIRA e AHRENS, 2005). O espaçamento inicial é de grande importância para o desenvolvimento da floresta e esta decisão é geralmente uma questão controversa, uma vez que envolve a busca de um ideal financeiro. Os valores de mercado e as especificações (tamanho e qualidade da madeira) para cada espécie devem ser estabelecidos (JONES, 1987).

Os primeiros reflorestamentos no Brasil foram estabelecidos com uma densidade inicial de 2.000 a 2.500 árvores por hectare (espaçamentos de 2,5 x 2,0 m e 2,0 m x 2,0 m). Neste sistema há uma grande produção volumétrica por unidade de área. Este método não previa originalmente a adoção de podas e desbastes, dado que o interesse residia em produzir grande quantidade de biomassa (SANQUETTA, 2002).

Os plantios devem ser estabelecidos em áreas com declividade menor que 25 graus para diminuir custos de implantação e manutenção e, preferencialmente, que as estradas próximas liguem com o mercado consumidor (OLIVEIRA e AHRENS, 2005).

Basicamente, dois tipos de regimes de manejo podem ser distinguidos: O manejo com desbaste e o sem desbaste (SANQUETTA, 2002). Antigamente não havia uma definição padronizada de como realizar os desbastes. Hoje, geralmente se opta por combinar cortes seletivos por baixo com a retirada de algumas linhas (sistemático e seletivo). Este modelo passou a existir com a necessidade de produzir madeira para processamento mecânico (moveis e laminação), ainda hoje, o primeiro desbaste, salvo exceções, oferece baixa rentabilidade econômica. A definição de regimes de manejo para plantações de *Pinus* depende de uma série de fatores e principalmente, do objetivo que se pretende atingir.

De acordo com Scolforo (1998a), o desbaste se caracteriza pela remoção de algumas árvores para que as remanescentes tenham espaço para seu desenvolvimento futuro. Seu objetivo principal em plantios florestais homogêneos é produzir matéria prima com alto valor agregado para fábricas de laminados e compensados. Geralmente, retiram-se de 40 a 50% das árvores do plantio, sendo executado quando a curva de incremento corrente anual (ICA - primeira derivada da curva de produção) se cruza com a curva de incremento médio anual (IMA).

Além dos desbastes, outro tratamento silvicultural importante é a poda dos galhos vivos. Segundo Kronka *et al.* (2005), a poda se constitui em um método que agrega valor à madeira, pois livra a matéria prima de nós que depreciam o valor do produto. Normalmente a

primeira poda é efetuada de 4 a 6 anos em todo o plantio. Em algumas empresas, as linhas de desbaste sistemático não são podadas para diminuir custos e as que são podadas não podem passar de 50% da copa da árvore para evitar grandes perdas em incremento. A poda dos ramos vivos reduz a área fotossintética da copa das árvores, produzindo redução do crescimento dos mesmos (COSTAS *et al.*, 2006).

Conforme já mencionado, a produção média do *Pinus* no sul do Brasil está em torno de 37 m³/ha/ano (ABRAF, 2012), tendo-se uma variabilidade de cerca 14 a 43,4 m³/ha/ano, dependendo do sítio (DACOSTA, 2008). Esta grande variabilidade, por si, já sinaliza um potencial de ganho de produtividade em relação ao manejo, desde que se identifiquem os fatores que as restringem, os quais podem ser de caráter técnico (genótipos e nutrição) ou operacional (qualidade de preparo de solo, plantio e tratos culturais) (IPEF, 2011).

3.2 Fatores que afetam o crescimento das árvores e da floresta

Os principais fatores que afetam diretamente o crescimento de uma árvore são: luz, temperatura, água, nutrientes, CO₂ e conteúdo de clorofila. A disponibilidade desses elementos depende do espaço vital que pode ser controlado pelo silvicultor. O crescimento de povoamentos florestais é expresso em área basal, volume ou, em alguns casos, em peso (SCHNEIDER, 2006).

Fatores como a disponibilidade de água e nutrientes são importantes no crescimento, mas o conhecimento da idade é de fundamental importância, especialmente na estimativa de produção ao longo do tempo em povoamentos equiâneos. Fundamentalmente é utilizada nas avaliações do crescimento e da produtividade de um sítio e nos ordenamentos florestais. A idade é também utilizada como ferramenta para práticas silviculturais, na determinação do crescimento presente e futuro da floresta e nas decisões dos planos de manejo (ENCINAS *et al.*, 2005).

Outra ferramenta do planejamento floresta é a determinação da capacidade produtiva de cada local que recebe o nome de classificação de sítios florestais, utilizado como fator determinante no planejamento florestal, classificando áreas que somam fatores biológicos e não biológicos que influenciam no crescimento. Para proceder a essa classificação, existem dois métodos, os diretos e os indiretos, porém, o método direto geralmente resulta em melhores avaliações. O método direto expressa a relação entre a altura das árvores dominantes em função da idade, sendo o mais empregado, também pela sua praticidade (SELLE, 2008).

De acordo com Chies (2005), qualquer sítio é capaz de suportar o crescimento inicial de um povoamento, mesmo com alta densidade. Todavia, após alguns anos de crescimento, há um aumento na demanda e as árvores entram em competição por água, nutrientes, luz e espaço para crescimento da copa e do sistema radicular, estagnando o crescimento. Gomes *et al.* (1997) mencionaram que o conhecimento dos índices de sítio torna-se imprescindível, pois possibilita considerar no planejamento, a combinação dos efeitos do sítio com o espaçamento inicial.

Ao avaliar o crescimento e a produtividade de *Pinus taeda* L., Dacosta (2008) indicou que os valores de volume total aumentam à medida que cresce a capacidade do sítio e a idade da floresta. Schneider (1993) demonstrou que essa produção aumenta também com o número de árvores, até que se alcança certa densidade (densidade crítica), depois da qual o incremento no número de árvores ocasiona uma redução do volume total.

Dentro deste contexto, o conhecimento sobre as possíveis implicações ecológicas e silviculturais do espaçamento de plantio em relação à idade e sítio, assume uma importância fundamental no sentido de avaliação do crescimento (BALLONI e SIMÕES, 1980). No entanto, o espaçamento por si só, não leva em conta as alterações na quantidade de árvores por unidade de área ao longo do tempo, ou seja, a mortalidade e desbastes realizados na área, sendo obrigação do manejador o conhecimento destas variáveis para os cálculos relacionados ao crescimento (JONES, 1987).

Conforme Nascimento (2007), o crescimento das plantas em diferentes espaçamentos de plantio é influenciado pelos fatores bióticos e abióticos do meio, sendo os fatores abióticos os que governam a disponibilidade de água, luz e nutrientes para as plantas. No Brasil, os estudos sobre espaçamentos estão enfocados com espécies de rápido crescimento, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, e em menor escala com espécies florestais nativas da flora brasileira, em povoamentos puros.

O arranjo espacial das plantas pode variar, mantendo-se a mesma densidade no povoamento. Para a definição do espaço vital é necessário o conhecimento do comportamento da espécie em relação à luz, crescimento radicular, dos objetivos do plantio e do custo de produção. O espaçamento pode ser definido como regular (em linha reta e/ou simétrico), semirregular (baixa simetria) e irregular (não existe alinhamento em nenhuma direção) (SCOLFORO, 1998a).

As empresas reflorestadoras têm escolhido os espaçamentos visando possibilitar a mecanização das atividades de implantação, manutenção e exploração. Tem sido dada preferência para espaçamentos mais abertos, em torno de 3 metros a distância entre linhas, o

que possibilita a movimentação de veículos para efetuar capinas e remoção de árvores nos desbastes, com pouco risco de causar danos às plantas (SCOLFORO, 1998b).

A maioria dos plantios comerciais tem sido implantada em função de estudos desenvolvidos com vistas à produção de madeira para celulose e/ou chapas de fibras. Com a diversidade de comportamento das espécies florestais e as diferentes qualidades de madeira exigidas para cada uso, espera-se que o espaçamento ideal para celulose não seja o mesmo indicado para produção de lenha, carvão ou madeira para energia. A diferenciação entre espaçamentos também pode ocorrer por espécie, ou seja, espécies diferentes podem apresentar comportamentos diferentes dentro de um mesmo espaçamento de plantio (BALLONI e SIMÕES, 1980).

3.3 Crescimento e produção

O crescimento refere-se ao acréscimo das variáveis: altura, diâmetro, área basal, volume ou no valor de um sistema orgânico (árvores individuais ou povoamentos), enquanto a produção é relacionada ao seu tamanho final após um período definido de observação. A curva (ideal) de crescimento mostra um aumento progressivo e uma diminuição depois de um ponto de inflexão (SPATHELF e NUTTO, 2000).

De acordo com Schneider (2006), o crescimento de uma árvore pode ser dividido em três fases distintas, seguindo as descrições a seguir:

- Período inicial (A) ou jovem, de crescimento lento, mas crescente;
- Período de incremento rápido (B), crescimento mais acelerado;
- Período de maturação (C), crescimento lento, diminuindo naturalmente.

A curva do crescimento acumulado com suas três fases se comporta como um sigmoide, ou seja, formato de “S” (SCHNEIDER, 2006).

A curva de produção mostrada na Figura 1 tem quatro elementos básicos, onde sua origem parte do zero, possui um ponto de inflexão, um ponto de máxima tangência e uma assíntota, descrevendo uma forma sigmoideal (HOSOKAWA *et al.*, 1998). A taxa de incremento corrente anual é obtida ao derivar a curva de produção (dY/dI) (CAMPOS e LEITE, 2009).

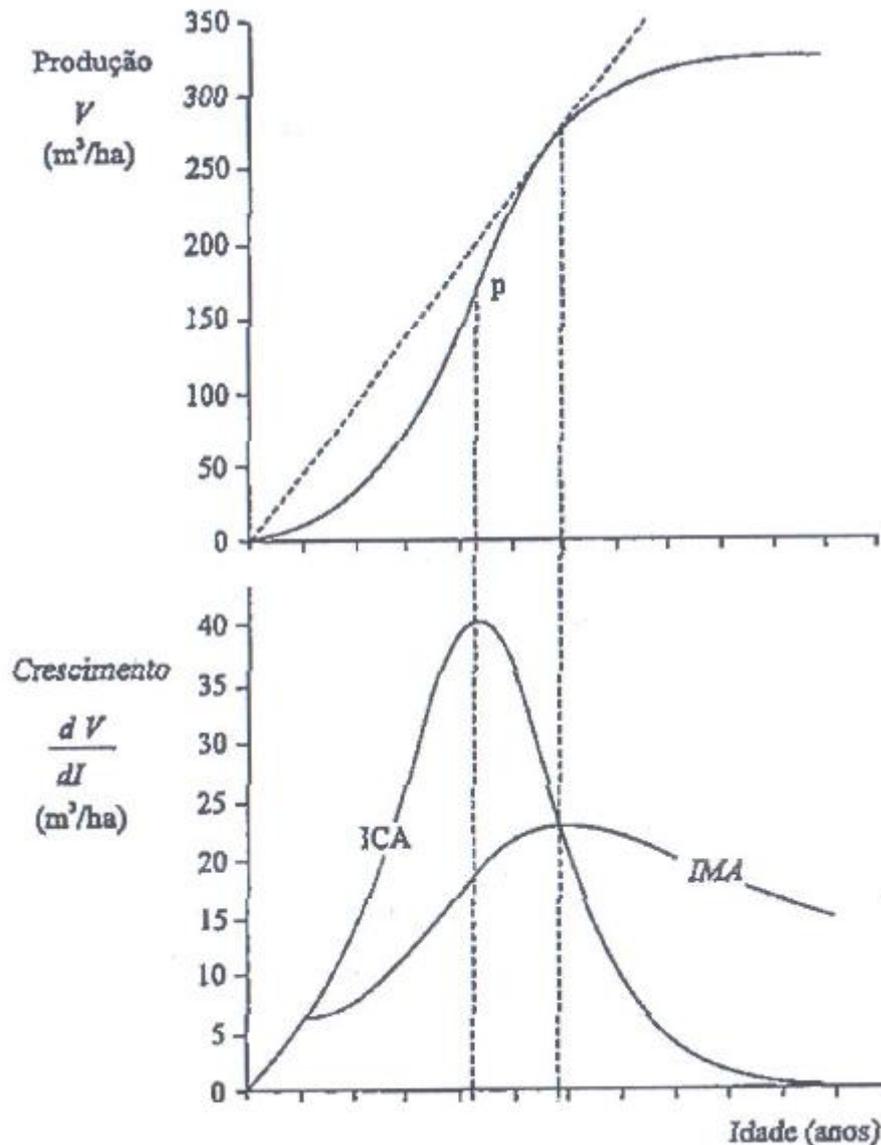


Figura 1: Relação entre o crescimento e produção em povoamento equiâneo, sendo p o ponto de inflexão da curva de produção.

Fonte: Campos e Leite (2009).

A idade em que se verifica a interseção entre as duas curvas de incremento (IMA e ICA) coincide com o ponto de máxima tangência, sendo definida como a idade ideal para o corte raso, quando se considera a maior eficiência na produção em volume (lei dos rendimentos decrescentes) (CAMPOS e LEITE, 2009).

Portanto, é necessário um conhecimento apropriado do comportamento do crescimento de cada variável, para assim entender como é o seu desenvolvimento ao longo do tempo e

com isto pode-se definir estratégias de manejo, seja sob a ótica silvicultural, econômica, ambiental e/ou social (SCOLFORO, 1998a).

A competição é um dos fatores mais importantes relacionados à produção e crescimento, sendo quase todas as intervenções de manejo relacionadas com a manipulação deste fator ou de condições que o afetam. Conforme as árvores crescem, cada indivíduo necessita de mais espaço, e se algumas árvores são retiradas, as remanescentes conseguem aproveitar melhor a quantidade de nutrientes devido a menor competição. O crescimento das árvores individuais pode ser influenciado mais pela restrição do espaço para as raízes que pela restrição de copa (SCHNEIDER, 2008).

Segundo DaCosta (2008), as dimensões de uma árvore (diâmetro, área basal, altura e volume) variam devido a seu desenvolvimento e, como consequência destas mudanças, sua forma também se modifica com o passar do tempo.

3.3.1 Diâmetro

O diâmetro refere-se ao crescimento longitudinal da árvore, onde o câmbio é responsável por este desenvolvimento. A medida mais comum do diâmetro das árvores é realizada à altura de 1,30 m, isto é, o diâmetro à altura do peito (DAP), sendo uma das variáveis mais fáceis de ser obtida e pode ser medida tanto com fita ou com suta (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003). As seções do tronco raramente são circulares e, portanto, as medições com suta ou fita podem estar sujeitas a pequenos erros de superestimação (CAMPOS e LEITE, 2009).

O diâmetro é diretamente afetado pela densidade e, por consequência, sofre influência direta dos desbastes. Após um desbaste, as árvores de uma mesma classe diamétrica inicial atingem outras classes, num curto período de tempo (REINSTORF, 1970; SCHNEIDER (1993) citado por SCHEEREN, 2004).

O crescimento em diâmetro define a utilização final da produção florestal, sendo de fundamental importância para o silvicultor. As árvores dominantes respondem em melhor grau às mudanças de densidade, já que estão numa posição mais favorável para competir com as demais, pela luz, umidade e elementos nutritivos (SCHNEIDER, 2006).

A distribuição do crescimento diametral em diferentes partes do fuste varia com o peso da copa e tensões no fuste, provocada pelo vento, o que está relacionado com a densidade. Com maior peso de copa e tensão, o crescimento diametral se orienta até às partes inferiores do fuste, para fortalecer a base. Isto afeta diretamente a forma do fuste, o que demonstra a

relação entre a forma e a densidade. Geralmente, com maior densidade a forma do fuste é mais cilíndrica (SCHNEIDER, 2006).

Schneider (2008a) mencionou que somente as árvores que tenham sido restringidas pela competição respondem ao desbaste com aumento de crescimento diametral. As árvores dominantes, com maior altura e tamanho de copa, serão as últimas a sofrerem as consequências do aumento de densidade até o grau excessivo.

Em geral, e segundo preceitos teóricos silviculturais, o espaçamento tem uma influência maior no desenvolvimento do DAP do que no desenvolvimento em altura das árvores. O crescimento maior do DAP nos espaçamentos maiores entre árvores foi comprovado por centenas de trabalhos experimentais desenvolvidos nas mais diversas regiões do mundo (BALLONI e SIMÕES, 1980).

Alguns resultados pertinentes ao efeito do espaçamento no crescimento das variáveis dendrométricas foram citados por Scolforo (1998a), que comparou cinco diferentes espaçamentos de *Pinus taeda*; Coelho *et al.* (1970) e Pauleski (2010) analisaram o efeito dos espaçamentos para o gênero *Eucalyptus*; Berenhauser (1971), que salientou a diferença no crescimento de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* em diferentes espaçamentos. Crechi (1996) comparou o efeito da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia*; Jones (1987) analisou o efeito de diferentes espaçamentos no crescimento de *Pinus taeda* L.

3.3.2 Altura

Há inúmeras definições da altura encontradas na literatura, como Machado e Figueiredo Filho (2003), os quais se referem à altura como a distância linear ao longo de seu eixo principal, partindo do solo até o topo ou até outro ponto referencial. Finger (1992) resumiu a altura da árvore na sua expressão mais simples como a distância linear entre o nível do solo e ápice (altura total).

Em geral, em inventários de florestas plantadas medem-se todos os diâmetros da parcela e certo número de alturas representativas. Isto porque a medição de todas as alturas custaria muito, sem acrescentar maiores vantagens comparativa, do ponto de vista de precisão, devido à fadiga, erro de medição com instrumentos hipsométricos, etc. (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

A altura é pouco influenciada pelo espaçamento, sendo diretamente ligada à capacidade de sítio, a menos que o excesso de densidade seja tão grande que o crescimento

seja afetado, sendo visível o crescimento maior em altura que em diâmetro produzindo árvores mais cilíndricas (SCHNEIDER, 2008).

Outros autores acreditam que o crescimento em altura é influenciado pela densidade. Segundo Scolforo (1998a), há controvérsias a respeito da culminação do crescimento em relação à densidade. Em um experimento conduzido pelo IPEF, verificou-se uma tendência em diminuir a altura média das árvores à medida que se diminuía o espaçamento. Entretanto, a altura média de 15% das árvores dominantes das parcelas não sofreu alterações significativas para ambas às espécies estudadas, aos 6,16 anos de idade. A explicação é que, com a diminuição do espaçamento, dentro de certos limites, tende-se a aumentar o número de árvores dominadas, as quais contribuem efetivamente para a diminuição da altura média do povoamento (BALONI e SIMÕES, 1980).

3.3.3 Área Basal e Volume

A área da seção de um plano, cortando o tronco de uma árvore à altura do DAP é definida como área de secção transversal ou área basal individual, simbolizada por “g”. O somatório das áreas basais de todas as árvores da unidade de área (hectare) é definido como “área basal por unidade de área” e simbolizado por “G”. A área basal (G) é uma variável importante, pois é uma medida de densidade da floresta e é diretamente relacionada com o volume por hectare (FINGER, 2006).

A relação da área basal/ha com a idade é de grande importância, pois pode servir para a determinação do ponto de culminação do crescimento da floresta. Serve também para indicar, matematicamente, o ponto de máximo crescimento da espécie, em função das condições de solo, espaçamento etc. Com seu conhecimento, podem ser realizadas avaliações econômicas e potenciais da floresta. A associação da área basal com a altura e a um fator de forma permite determinar o volume do povoamento ($V = G \cdot h \cdot f$), ou da própria árvore ($v = ghf$) (FINGER, 2006).

A área basal é um índice de densidade muito usado para a tomada de decisões, fundamentalmente nas decisões de oportunidade e intensidade dos desbastes. Daí, a importância de poder descrever para cada densidade, a evolução da área basal expressa em m²/ha, em função da idade, com o objetivo de analisar distintas alternativas de manejo, e poder fazer a escolha mais conveniente (CRECHI, 1996).

Costas *et al.* (2005) verificaram em povoamentos de *Pinus taeda* L. que em densidades maiores, a área basal foi superior aos das densidades intermediárias e esta superior

à encontrada nas densidades menores. Schneider (1993) constatou que a área basal tende a manter-se estável à taxa de crescimento, quando o povoamento for maduro, e que uma pequena melhora na qualidade de um sítio empobrecido ocasiona um notável incremento na acumulação de área basal.

Um valor de área basal alto pode ser devido, tanto a um grande número de árvores de pequenos diâmetros, como a um pequeno número de árvores com grandes diâmetros. Neste ponto o desbaste pode ser o divisor desta relação, aumentando o espaço vital e garantindo uma maior disponibilidade de nutrientes e luz para o aumento da área basal individual, o que compensaria a retirada de árvores menores e manteria a área basal total da floresta quase inalterada, obtendo-se ao final, árvores de maiores diâmetro (GLUFKE *et al.*, 1997).

Lima (2010) afirmou que, basicamente, os mesmos fatores que favorecem o crescimento em diâmetro também contribuem para o crescimento em área basal, entretanto, o incremento em diâmetro difere do incremento em área basal. De acordo com Schneider (2006), a área basal e o diâmetro são parâmetros afetados pela densidade do povoamento. Após um desbaste, árvores de uma mesma classe diamétrica, em curto espaço de tempo, podem ingressar em classes diamétrica superiores.

O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para a avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais. Vários métodos foram desenvolvidos para a determinação do volume individual das árvores, entre eles o fator de forma, que é a razão entre o volume real e o volume do cilindro (MACHADO *et al.*, 2005).

O crescimento volumétrico é o resultado da combinação do crescimento longitudinal e diametral. Durante a maior parte do ciclo, o efeito do crescimento diametral é maior. Como consequência, o crescimento volumétrico pode ser controlado em grande parte mediante a manipulação do espaçamento, isto quer dizer, com o desbaste (SCHNEIDER, 2006).

É bastante conhecido o fato de que povoamentos mais densos nos primeiros anos produzem maior volume total de madeira que aqueles menos densos. Por outro lado, os espaçamentos maiores produzem um número mais elevado de árvores com maior volume individual. Locais mais secos e/ou com solos de mais baixa fertilidade apresentam tendências a suportar um número menor de plantas por área do que locais mais úmidos e férteis, ou seja, existe um volume e uma área basal máxima para cada sítio (BALLONI e SIMÕES, 1980).

Gomes *et al.* (1997) demonstraram para *Pinus taeda* L. que em áreas de melhores condições de sítio o volume total tende a ser maior. Se o objetivo é produzir somente madeira

para processos ou para energia, os espaçamentos mais densos são mais apropriados, no que se refere á maximização da produção física (volume total).

Altura, DAP, sobrevivência e conicidade do fuste são características passíveis de alteração pelo espaçamento de plantio e que interferem tanto no volume total de madeira como no volume útil produzido pela floresta (BALLONI e SIMÕES, 1980).

3.4 Avaliação do crescimento e da produção

A correta avaliação do crescimento e desenvolvimento de povoamentos florestais, principalmente nos primeiros anos, permite a detecção de problemas que podem impedir a plena realização do potencial de cada indivíduo. Para esta avaliação se fazem necessários dados de medições de parcelas permanentes, parcelas temporárias ou análise de tronco (TOMÉ, 2007).

Parcelas temporárias são unidades de amostra onde os dados são coletados a partir de uma única medição, permitindo reconhecer valores médios das variáveis, não sendo possível ter estimativas de crescimento ao longo do tempo. Não servem para avaliar o efeito de tratamentos específico, referem-se a parcelas medidas em inventários convencionais para o conhecimento do volume presente. Consiste em uma instalação provisória de parcelas apenas para a medição do estoque atual. São estatisticamente pouco eficientes para fins de estudos de modelagem, pois não são dependentes do tempo (CAMPOS e LEITE, 2009).

Segundo ainda esses mesmos autores as parcelas permanentes são mais aconselhadas para acompanhamento do crescimento, pois não depende de anéis de crescimento e é passível de aplicação para qualquer espécie. Tem a vantagem em relação às parcelas temporárias pelo fato do acompanhamento ao longo do tempo, permitindo a construção de curvas de índice de local com base na altura dominante (H_{dom}), além de permitir prognosticar o crescimento.

Parcelas permanentes são de grande utilidade para o acompanhamento do crescimento, mas este procedimento demanda um longo período de monitoramento e é operacionalmente mais trabalhoso e oneroso. A análise de tronco completa aparece então como uma alternativa, pois em qualquer época pode-se reconstituir plenamente o desenvolvimento de uma árvore em termos de crescimentos passados, desde sua fase jovem até a idade da análise (idade de derrubada da árvore). Esta análise consiste em avaliar, além da idade da árvore os crescimentos em volume, em área basal, em diâmetro e em altura (ENCINAS *et al.*, 2005).

A análise de tronco é um método retrospectivo para determinação do crescimento da árvore que permite determinar as curvas de crescimento da altura, volume, etc. sobre a idade,

bem como, estudos cronológicos pela datação dos anéis anuais de crescimento, com aplicações na Dendroecologia e Dendroclimatologia (SCHNEIDER, 2006).

A partir do traçado longitudinal é possível fazer a cubagem da árvore em todos os períodos de crescimento. No traçado do perfil da árvore (Figura 2) e para os cálculos a serem realizados, deve-se anotar o número de anéis e também o correspondente diâmetro. Recomenda-se calcular a média de duas leituras de posições perpendiculares, a fim de melhorar a precisão da avaliação (ENCINAS *et al.*, 2005).

A vantagem da análise de tronco completa está na rapidez, boa precisão e baixo custo para a obtenção dos dados. Entretanto, limita-se a quantificar o crescimento da árvore-amostra sem poder inferir sob as condições de densidade do povoamento nas diversas fases do crescimento. Ainda sim, a análise de tronco adquire importância singular, pois, em qualquer época, possibilita reconstruir o crescimento passado de uma árvore (SCHNEIDER, 2006).

Nagel e Athari (1982), citados por Jorge *et al.* (2008), consideram a análise de tronco uma importante fonte de dados para investigação sobre a reação do crescimento em relação a fatores ambientais (bióticos, abióticos) e ao manejo do povoamento (adubação, desrama e desbaste), bem como na avaliação das alterações na forma das árvores; sincronização das medidas dos anéis de crescimento e determinação do número de anéis ausentes como indicadores do grau de danos sofridos pelas árvores e elaboração de modelos de produção.

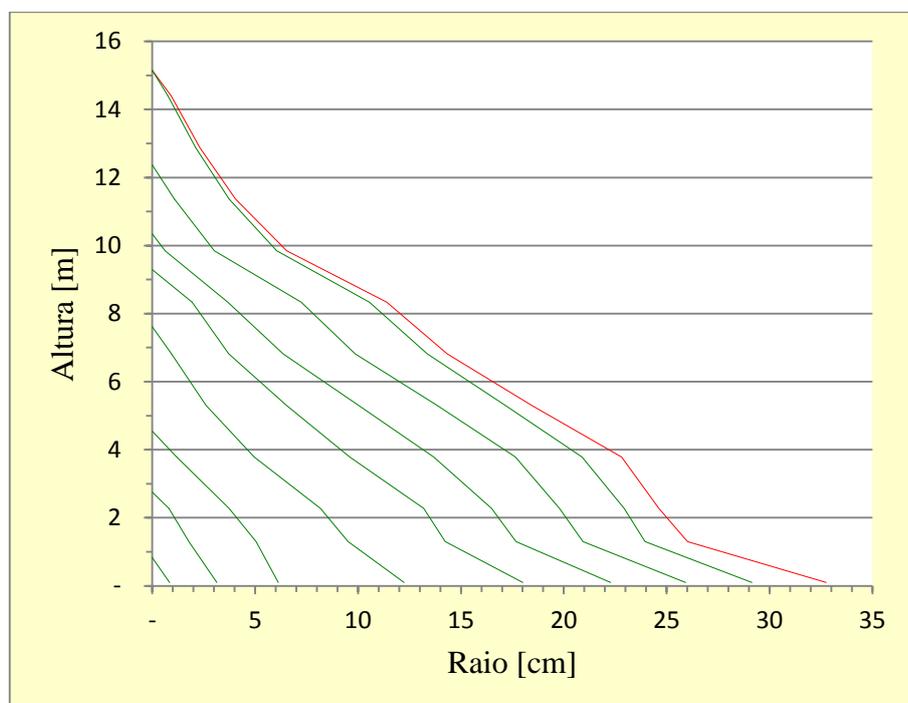


Figura 2: Perfil longitudinal de uma árvore utilizando análise de tronco completa.

3.5 Modelos de crescimento

A área florestal tem uma longa tradição no uso de métodos quantitativos e da modelagem, sobretudo no inventário, manejo e no crescimento florestal. Nas ciências florestais, como em todos os ramos dentro das ciências naturais e exatas, a modelagem, a análise de sistemas e a prognose são ferramentas indispensáveis (SPATHELF e NUTTO, 2000).

Segundo Costas *et al.* (2006), a produção florestal regular é predita por meio de modelos matemáticos. As variáveis normalmente utilizadas para prognosticar o crescimento são a idade, a densidade e o índice de local ou índice de sítio e a altura dominante a uma idade preestabelecida.

Um modelo pode ser definido então como:

“Uma formulação que simula um fenômeno do mundo real, de forma a ser possível fazer previsões, e pode ser utilizado nos mais diversos campos. Em suma, não se pretende que um modelo, independentemente da área em estudo, seja uma cópia exata do mundo real, mas, sim, uma simplificação que revele os processos-chave do fenômeno em causa, de forma a ser possível perceber e prever novas situações dentro do universo em estudo. Sendo assim, um bom modelo é um espelho eficiente da realidade” (BRITO, 2005).

Segundo Scolforo (1998a), os modelos de produção podem ser expressos de várias maneiras, dependendo das variáveis envolvidas, podendo-se considerar a seguinte ordem de evolução:

- modelos que apresentam estimativas ao nível de povoamento (globais): modelo de produção Normal; modelo de produção empírico e modelos de Densidade Variável;
- modelos de produção por classe diamétrica;
- modelos de árvores individuais: independentes da distância e dependentes da distância.

Modelos em nível de povoamento ou também denominados modelos do tipo povoamento total, não explicam diretamente a variação do tamanho das árvores, eles estimam o crescimento e a produção a partir de atributos em nível de povoamento, como idade, área basal e índice de local. Os modelos normais se aplicam a povoamentos completamente estocados, sendo $V = f(I)$. Já os modelos empíricos são estáticos, não envolvendo projeção da

densidade, sendo obtidos a partir de relação do tipo $V = f(I, S, D)$. Os modelos do tipo densidade variável incluem a variável densidade e sua construção envolve uma relação do tipo $V_2 = f(I_1, I_2, G_1, G_2)$ (CAMPOS e LEITE, 2009).

Modelos de produção por classe de diâmetro estimam o número de árvore por hectare por classe de diâmetro, nas idades presente e futura. Nos modelos de árvore individual a árvore é a unidade básica de modelagem usada para simular crescimento (diâmetro e altura) e mortalidade (CAMPOS e LEITE, 2009).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

O experimento está localizado no Campus da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) no município de Irati, Estado do Paraná, a 153 km de distância aproximada de Curitiba, capital do estado (Figura 3).



Figura 3: Localização do Município de Irati, estado do Paraná.

Fonte: Abreu (2006).

A área da pesquisa possui 2,52 ha e está situada entre as coordenadas geográficas 25° 27' 57'' de latitude sul com interseção com o meridiano 50° 38' 51'' de longitude Oeste, com uma altitude em torno de 810 m, (Figura 4).



Figura 4: Área do experimento: 2,52 hectares (1:1000).

Fonte: Imagem adaptada do Google Earth.

4.1.1 Caracterização da área de estudo

De acordo com IBGE (2012) os solos que compõe o município de Irati é a transição do Latossolo vermelho para Cambisol Háplico. Segundo Lima *et al.* (2009) o solo do local do experimento é denominado de Neossolo Regolítico Distro-úmbrico Léptico (RRdh), com textura muito argilosa, sendo um sítio de média produtividade para a produção de *Pinus taeda*.

O município de Irati possui verões amenos, inverno com geadas frequentes e de forte intensidade, o clima é mesotérmico úmido, com temperatura variada entre máxima de 36°C, média de 16°C e mínima de 5°C, com médias mensais de precipitação pluviométrica e de umidade relativa de 193,97 mm e 79,58%, respectivamente.

4.2 Experimento

O experimento de *Pinus taeda* L. foi implantado em 2002 e as mudas utilizadas foram produzidas a partir de sementes originadas de pomar clonal. De acordo com Lima (2010) O preparo de solo da área do experimento foi feito por aração e o plantio foi manual, com perfuração de covas com o uso de sacho. O controle de formigas cortadeiras foi feito por

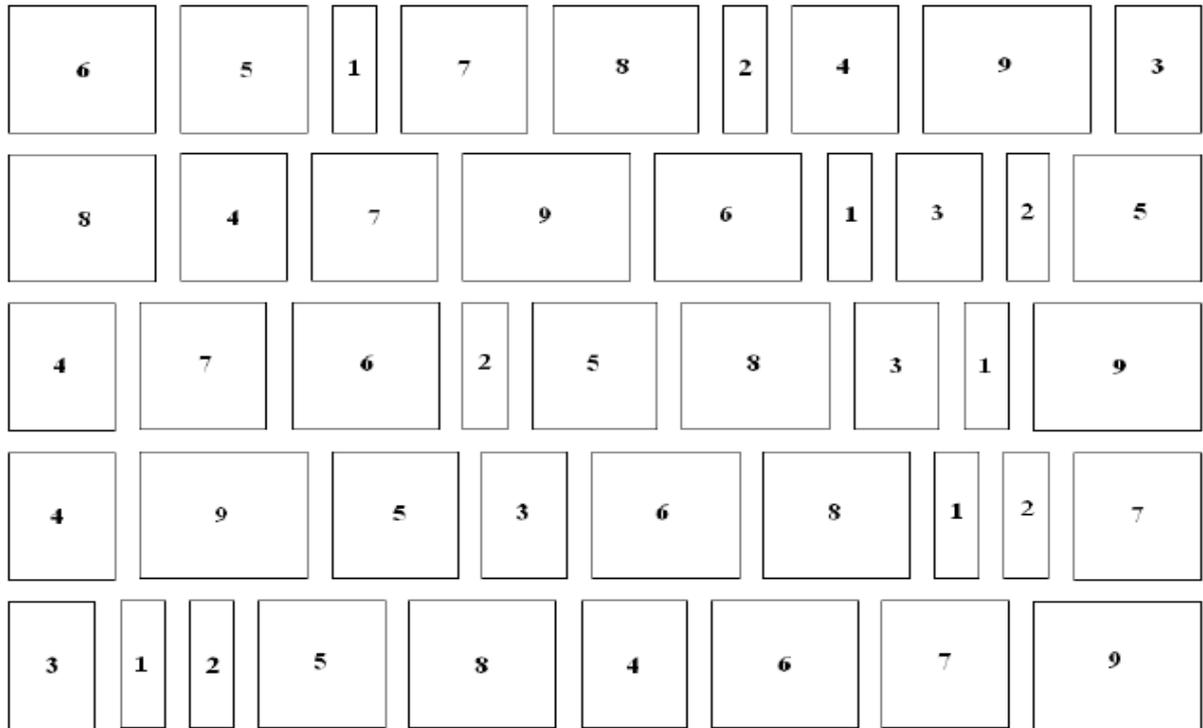
ocasião do plantio, com o uso de iscas formicidas, a base de 10 g por 100 m² de terreno. A limpeza da área foi feita um ano após o plantio por meio de coroamento ao redor das plantas e capina nos espaços entre blocos, sendo repetida anualmente. Em 2006, aos quatro anos de idade, foi realizada a primeira poda das árvores, visando à obtenção de um núcleo nodoso de aproximadamente 5,0 cm. A poda foi aplicada em algumas árvores até o verticilo imediatamente abaixo de 1,3 m do solo.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco repetições e nove tratamentos. Os espaçamentos utilizados contemplaram áreas entre 1,0 m² e 16,0 m², (1,0 x 1,0 m; 2,0 x 1,0 m; 2,0 x 2,0 m; 3,0 x 2,5 m; 3,0 x 3,0 m; 3,5 x 3,0 m; 4,0 x 3,0 m; 4,0 x 3,5 m e 4,0 x 4,0 m) como mostrado na Figura 5.

Bloco 1	3,0 x 3,5	3,0 x 3,0	1,0 x 1,0	4,0 x 3,0	4,0 x 3,5	2,0 x 1,0	3,0 x 2,5	4,0 x 4,0	2,0 x 2,0
Bloco 2	4,0 x 3,5	3,0 x 2,5	4,0 x 3,0	4,0 x 4,0	3,0 x 3,5	1,0 x 1,0	2,0 x 2,0	2,0 x 1,0	3,0 x 3,0
Bloco 3	3,0 x 2,5	4,0 x 3,0	3,0 x 3,5	1,0 x 1,0	3,0 x 3,0	4,0 x 3,5	2,0 x 2,0	2,0 x 1,0	4,0 x 4,0
Bloco 4	3,0 x 2,5	4,0 x 4,0	3,0 x 3,0	2,0 x 2,0	3,0 x 3,5	4,0 x 3,5	2,0 x 1,0	1,0 x 1,0	4,0 x 3,0
Bloco 5	2,0 x 2,0	1,0 x 1,0	2,0 x 1,0	3,0 x 3,0	4,0 x 3,5	3,0 x 2,5	3,0 x 3,5	4,0 x 3,0	4,0 x 4,0

Figura 5: Distribuição das parcelas (m x m) na área experimental.

O tamanho de cada tratamento varia devido ao número de árvores, seguindo uma lógica por espaço vital, densidades maiores, maior número de árvores (Figura 6). Os blocos são equidistantes 28 metros paralelamente.



1) 1,0 x 1,0 m; 2) 2,0 x 1,0 m; 3) 2,0 x 2,0 m; 4) 3,0 x 2,5 m; 5) 3,0 x 3,0 m; 6) 3,0 x 3,5 m; 7) 4,0 x 3,0 m; 8) 4,0 x 3,5 m; 9) 4,0 x 4,0 m.

Figura 6: Formas das parcelas do experimento.

Fonte: Lima (2010).

Na Tabela 1 são mostrados os espaços vitais, o número de árvores por tratamento e o número de árvores por hectare.

Tabela 1: Tratamentos, número de árvores por tratamento e número de árvores por hectare.

Tratamentos (m x m)	Espaço vital (m ²)	Nº árvores/tratamento	Árvores/ha
1 x 1	1	200	10000
2 x 1	2	104	5000
2 x 2	4	104	2500
3 x 2,5	7,5	72	1333
3 x 3	9	72	1111
3 x 3,5	10,5	72	952
4 x 3	12	56	833
4 x 3,5	14	56	714
4 x 4	16	56	625

4.3 Amostragem para a análise de tronco completa (ANATRO)

Como o objetivo foi utilizar a ANATRO total para avaliar o crescimento, primeiramente foi realizado um inventário por tratamento, mesurando 25 árvores do centro de cada bloco para evitar o efeito de borda. A partir dos dados obtidos das 25 árvores centrais de cada bloco, optou-se por classificar em classes de diâmetro por espaçamento, sendo utilizada a equação de Sturges para determinar a quantidade de classes:

$$k = 1 + 3,322 (\log n)$$

k = Quantidade de classes;

n = Número de árvores de cada tratamento;

log = Logaritmo de base decimal.

Os dados foram coletados nos meses de junho e julho de 2012, sendo escolhida uma árvore para cada classe de diâmetro (9 classes para cada tratamento – Tabela 2), a partir da distribuição diamétrica do tratamento, não se considerando a distribuição por blocos. Assim, foram derrubadas 81 árvores e retirados 11 discos de cada indivíduo, totalizando 891 discos.

Tabela 2: Classes de diâmetros por tratamento, usadas para a seleção da árvore amostrada para Análise de Tronco Completa.

Tratamentos (m x m)	Classes de diâmetro (cm)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	3,0 - 4,9	5,0 - 6,9	7,0 - 8,9	9,0 - 10,9	11,0 - 12,9	13,0 - 14,9	15,0 - 16,9	17,0 - 18,9	19,0 - 20,9
2 x 1 (2 m ²)	5,0 - 6,9	7,0 - 8,9	9,0 - 10,9	11,0 - 12,9	13,0 - 14,9	15,0 - 16,9	17,0 - 18,9	19,0 - 20,9	21,0 - 22,9
2 x 2 (4 m ²)	6,0 - 7,9	8,0 - 9,9	10,0 - 11,9	12,0 - 13,9	14,0 - 15,9	16,0 - 17,9	18,0 - 19,9	20,0 - 21,9	22,0 - 23,9
3 x 2,5 (7,5 m ²)	10,0 - 11,9	12,0 - 13,9	14,0 - 15,9	16,0 - 17,9	18,0 - 19,9	20,0 - 21,9	22,0 - 23,9	24,0 - 25,9	26,0 - 27,9
3 x 3 (9 m ²)	9,0 - 11,9	12,0 - 14,9	15,0 - 17,9	18,0 - 20,9	21,0 - 23,9	24,0 - 26,9	27,0 - 29,9	30,0 - 32,9	33,0 - 35,9
3 x 3,5 (10,5 m ²)	10,0 - 12,9	13,0 - 15,9	16,0 - 18,9	19,0 - 21,9	22,0 - 24,9	25,0 - 27,9	28,0 - 30,9	31,0 - 33,9	34,0 - 36,9
4 x 3 (12 m ²)	14,0 - 15,9	16,0 - 17,9	18,0 - 19,9	20,0 - 21,9	22,0 - 23,9	24,0 - 25,9	26,0 - 27,9	28,0 - 29,9	30,0 - 31,9
4 x 3,5 (14 m ²)	15,0 - 16,9	17,0 - 18,9	19,0 - 20,9	21,0 - 22,9	23,0 - 24,9	25,0 - 26,9	27,0 - 28,9	29,0 - 30,9	31,0 - 32,9
4 x 4 (16 m ²)	15,0 - 16,9	17,0 - 18,9	19,0 - 20,9	21,0 - 22,9	23,0 - 24,9	25,0 - 26,9	27,0 - 28,9	29,0 - 30,9	31,0 - 32,9

Os discos (fatias) foram coletados nas alturas absolutas 0,10 m e 1,30 m; e a 15%, 25%,..., 85%, 95% da altura total. A Figura 7 mostra o fuste livre de galhos para a marcação de onde foram retirados os discos.



Figura 7: Marcação no fuste para a retirada dos discos.

A numeração utilizada para identificar cada fatia foi de 1 a 11 para facilitar a organização em campo, começando da base com o número 11 e terminando no ápice com o número 1. A razão da numeração não iniciar da base para o topo é que o número 11 não caberia no disco do topo, então se optou por numerar do topo para a base.

Juntamente com o número que identifica a altura da fatia também foi colocado o número da árvore, sendo cada árvore acondicionada individualmente. Na Figura 8 é possível visualizar a fatia com sua respectiva posição na árvore (base da árvore = 11) e o número da árvore coletada (árvore 80).



Figura 8: Número que identifica a posição (11) e o número da árvore (80).

Em média foram retiradas fatias de 5 cm de espessura e para a identificação particular de cada um dos discos foi utilizado giz de cor azul, que apresentou boa aderência na madeira úmida e resistência à secagem. Na Figura 9 podem-se observar os 11 discos retirados ao longo do fuste com suas respectivas marcações.



Figura 9: Discos identificados por altura.

Após a secagem das fatias em estufa a 60°C e lixados para melhor visualização dos anéis de crescimento, foram traçados 4 raios com a ajuda de um compasso que permitiu encontrar o maior raio da fatia e traçar o primeiro diâmetro. A partir deste, outro diâmetro foi traçado perpendicular (90°), totalizando 4 raios, garantindo desta forma, uma melhor representatividade, além de evitar qualquer tipo de tendenciosidade (BARUSSO, 1978).

Após os raios identificados, os anéis de crescimento foram ressaltados utilizando lápis 6B para melhor visualização no LINTAB VI (*Frank Rinn Distributors*, Alemanha). O LINTAB (Figura 10) é um equipamento utilizado para medição de anéis de crescimento que basicamente consiste em uma lupa e uma régua graduada interna, sendo controlado pelo operador por uma roldana. Esse equipamento é acoplado a um computador que transforma essas medidas em dados digitais diretamente, não necessitando a digitação manual, diminuindo erros relacionados ao operador.

Este equipamento utiliza o *software* TSAP (*Time Series Analysis Program*), desenvolvido por Frank Rinn e Siegward Jaekel, em Heidelberg na Alemanha, que efetua medições, manipulação de banco de dados e apresentação de séries temporais de anéis de crescimento (WOLFF II, 2012).



Figura 10: Lintab VI, utilizado para medição dos anéis de crescimento.

Fonte: Wolff II, (2012).

4.4 Geração dos dados de crescimento e produção

Para o processamento dos dados, utilizou-se o suplemento Florexel desenvolvido pelo professor Dr. Júlio Eduardo Arce da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Este suplemento permite fazer o processamento relativo à análise de tronco completa, além de construir o gráfico com o perfil longitudinal de cada ano de crescimento.

Os dados brutos do aparelho Lintab VI são obtidos em arquivos “texto” (txt) que são exportados posteriormente para o Excel. A Figura 11 indica como o equipamento apresenta os dados obtidos para uma fatia a 1,30 de altura, sendo que a primeira coluna mostra as idades correspondente aos anéis (Year), e as outras 4 colunas representam a medida dos raios traçados na fatia (1 a 4). Os valores encontrados foram divididos por 10 mil para então obterem-se dados na unidade centímetro.

disco02 - Notepad

File Edit Format View Help

TSAP-MATRIX-OUT-FORMAT
 Project: joaom
 Location:

Year	39-13-1	39-13-2	39-13-3	39-13-4
2004	30800	43320	34450	36150
2005	128600	122130	118730	129650
2006	186310	157270	159260	172850
2007	122480	126010	144360	135040
2008	84290	82620	95260	75000
2009	59410	51050	80290	53230
2010	63830	64680	87670	70580
2011	31730	33270	42820	30820
2012	103200	97110	95550	66730

39 = número da árvore; 13 = disco a 1,30; 1 = raio 1

Figura 11: Dados gerados pelo equipamento Lintab VI.

Os dados obtidos em txt exportados para o Excel são processados pelo Florexel, que gera dados de diâmetro sem casca por ano (Figura 12). Para o cálculo do volume o Florexel utiliza o método de Smalian.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Diâmetros sem casca (cm) e perfil da árvore - A última linha mostra as alturas de término dos anéis										
2	Altura(m)	Casca(cm)	9 anos	8 anos	7 anos	6 anos	5 anos	4 anos	3 anos	2 anos	1 ano
3	0,10	24,16	22,55	20,58	18,52	16,29	13,09	8,53	5,77	2,45	0,58
4	1,30	19,61	18,53	16,60	14,76	12,78	10,18	6,65	3,92	0,95	
5	2,36	18,12	17,25	15,34	13,40	11,40	8,94	5,25	2,35		
6	3,94	15,52	15,08	12,85	10,59	8,47	5,99	2,51			
7	5,52	14,27	13,83	11,41	8,99	6,76	3,98	1,27			
8	7,09	12,61	12,23	9,53	6,53	3,85	1,31				
9	8,67	10,64	10,18	7,42	4,40	1,87					
10	10,24	7,94	7,59	4,81	1,97						
11	11,82	4,75	4,50	2,08							
12	13,40	2,56	2,35								
13	14,97	0,96	0,72								
14	15,76	15,76	15,76	13,34	11,38	9,88	8,14	6,26	3,71	1,94	0,57

Figura 12: Dados de diâmetro sem casca ao longo do tronco gerado pelo Suplemento Florexel.

Com os dados da Figura 12, pode-se criar um perfil longitudinal da árvore como mostra a Figura 13. As linhas verdes representam os anéis de crescimento e em vermelho o limite da casca.

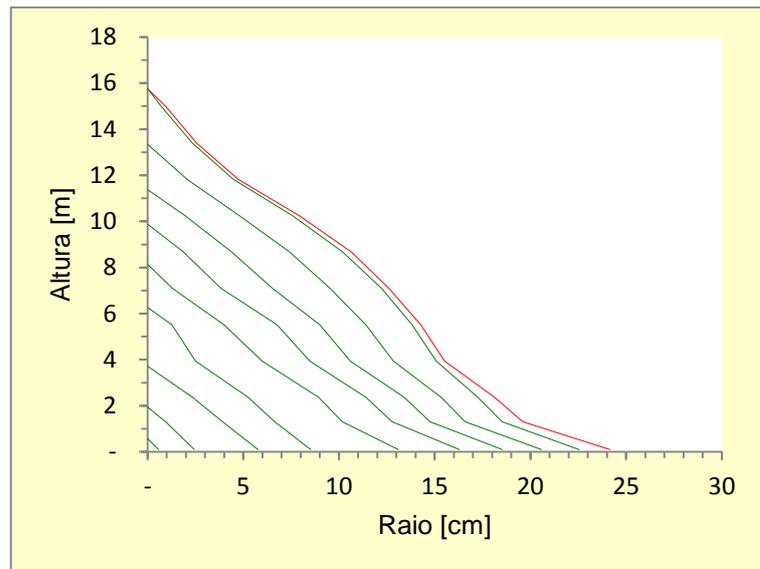


Figura 13: Perfil longitudinal produzido pelo Suplemento Florexel.

A Figura 14 mostra os parâmetros (diâmetro, altura, área transversal e volume de cada idade da árvore, neste caso para a idade de 9 anos) determinados pelo Florexel para cada árvore amostrada. Finalmente, uma matriz de dados como indica a Figura 15 pode ser organizada para a geração de informações necessárias para avaliar o crescimento médio ou para atingir outras metas desejadas.

	A	B	C	D	E	F
1	Árvore	Idade	$d_{1,3cc}$ (cm)	h (m)	g (m^2)	v (m^3)
2	1	9	15,53	16,00	0,0191	0,1604
3	2	9	15,58	16,70	0,0237	0,1937
4	3	9	15,03	17,20	0,0238	0,1956
5	4	9	15,75	13,34	0,0108	0,0662
6	5	9	16,58	15,87	0,0250	0,1897
7	6	9	14,60	11,66	0,0097	0,0534
8	7	9	14,60	14,85	0,0078	0,0614
9	8	9	17,80	15,88	0,0218	0,1568
10	9	9	14,25	14,54	0,0198	0,1340

Figura 14: Parâmetros para cada árvore em uma mesma idade (9 anos), gerados pelo Florexel.

	A	B	C	D	E	F
1	Árvore	Idade	d1,3cc (cm)	h (m)	g (m ²)	v (m ³)
10	2	1	-	0,53	-	0,0000
11	2	2	0,83	1,96	0,0001	0,0004
12	2	3	3,56	4,94	0,0010	0,0032
13	2	4	6,24	6,82	0,0031	0,0106
14	2	5	9,12	8,00	0,0065	0,0269
15	2	6	11,35	9,93	0,0101	0,0517
16	2	7	12,98	11,42	0,0132	0,0795
17	2	8	14,25	14,25	0,0159	0,1169
18	2	9	15,58	16,00	0,0191	0,1604

Figura 15: Parâmetros para uma árvore (árvore 2) e por idade, gerados pelo Florexel.

4.4.1 Modelagem da produção

Para a modelagem do crescimento e da produção foram utilizadas 9 árvores por tratamento, totalizando 81 árvores e cada tratamento possui por ano nove dados de DAP, altura, área transversal e volume. Foi utilizado o modelo biológico de *Chapman-Richards* com o intuito de suavizar as curvas de produção e incrementos (curva média), não sendo o objetivo deste trabalho, testar modelos de crescimento. O modelo usado tem a forma:

$$y = b_0 (1 - e^{-b_1 I})^{b_2}$$

Onde:

y: Variável dependente (DAP, altura, área transversal e volume); b_0 , b_1 e b_2 : Coeficientes a estimar; e : exponencial; I : Idade (anos).

Para determinar os coeficientes do modelo (b_0 , b_1 e b_2), primeiramente foram determinadas as “sementinhas” utilizando o Solver do Microsoft Excel, que as estima pelo algoritmo Generalized Reduced Gradient (GRG), buscando minimizar a soma do quadrado dos resíduos. Após a determinação das “sementinhas” o modelo foi ajustado por regressão não linear usando o programa Statgrafics Centurion, que utiliza o algoritmo Marquardt. As curvas de crescimento acumulado e dos incrementos médio (IMA) e corrente (ICA) anual das variáveis diâmetro, área transversal, altura e volume foram geradas a partir desses ajustes.

4.4.2 Construção das curvas de crescimento acumulado e incremento

A partir dos parâmetros determinados pelo suplemento Florexel (Figura 15) foram calculadas as médias do crescimento acumulado com o objetivo de construir as curvas de produção para as variáveis DAP (cm), altura (m), área transversal (m²) e volume (m³) com base nas 9 árvores amostradas por tratamento, no período de desenvolvimento das árvores (1 a 9 anos).

Os incrementos (ICA e IMA) foram calculados para a construção de curvas com o propósito de facilitar a visualização da diferença de incremento nos tratamentos de alta, média e baixa densidade (1 m², 7,5 m² e 16 m²) e determinar a idade ótima de corte (ITC) para os mesmos. Esta idade é encontrada na idade em que as curvas de ICA e IMA se cruzam, constituindo-se em uma informação importante para o manejo da floresta, denominada de idade de rotação técnica (idade em que se encontra o máximo incremento médio), pois ao longo das rotações estaria em média retirando o máximo volume da floresta. Utilizaram-se as seguintes expressões matemáticas:

$$ICA_x = X_{i+1} - X_i$$
$$IMA_x = \frac{X_i}{i}$$

Onde:

ICA_x : Incremento Corrente anual da variável X (DAP, altura, área transversal e volume; X_{i+1} : Variável na idade $i + 1$; i : Idade (anos)

X_i : Variável na idade i ; IMA_x : Incremento médio anual da variável X.

Também foi calculado o diâmetro médio quadrático (Dg) para todos os tratamentos e para todas as idades com base nas 9 árvores por espaço vital.

4.4.3 Estimativa da área basal e do volume sem casca por hectare

Para a obtenção da área basal sem casca foi calculada a área transversal média para cada tratamento e multiplicado pelos respectivos números de árvores por hectare que existiam no ano correspondente. O volume sem casca por hectare obedeceu ao mesmo sistema de cálculos da área basal, obtendo o volume médio para cada tratamento, em seguida multiplicado pela quantidade de árvores remanescentes do ano correspondente.

Na Tabela 3 estão as informações de mortalidade ocorrida nos tratamentos ao longo dos anos. Observa-se que a mortalidade ocorreu, sobretudo, nos espaçamentos de maior densidade e a partir do sexto ano. A densidade inicial, mortalidade e sobrevivência por hectare na idade de 9 anos estão na Tabela 4. A sobrevivência constatada na idade de 9 anos em cada tratamento foi utilizada para as inferências por hectare da área basal e do volume.

Tabela 3: Mortalidade anual (ha) referente a cada espaçamento e por tratamento.

Tratamentos (m x m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	0	0	0	0	0	80	1760	1120	1840
2 x 1 (2 m ²)	0	0	0	0	0	0	280	0	360
2 x 2 (4 m ²)	0	0	0	0	0	0	40	0	80
3 x 2,5 (7,5 m ²)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 x 3 (9 m ²)	0	0	0	0	0	0	36	0	0
3 x 3,5 (10,5 m ²)	0	0	0	0	0	8	0	0	0
4 x 3 (12 m ²)	0	0	0	0	0	0	0	7	0
4 x 3,5 (14 m ²)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 x 4 (16 m ²)	0	0	0	0	0	0	5	0	0

Tabela 4: Densidade inicial, mortalidade e sobrevivência referente a cada espaçamento por hectare na idade de 9 anos.

Tratamento (m x m)	Número de árvores/ha		
	Densidade Inicial	Mortalidade	Sobrevivência
1 x 1 (1 m ²)	10000	4800	5200
2 x 1 (2 m ²)	5000	640	4360
2 x 2 (4 m ²)	2500	120	2380
3 x 2,5 (7,5 m ²)	1333	0	1333
3 x 3 (9 m ²)	1111	35	1076
3 x 3,5 (10,5 m ²)	952	8	945
4 x 3 (12 m ²)	833	7	827
4 x 3,5 (14 m ²)	714	0	714
4 x 4 (16 m ²)	625	5	620

4.4.4 Fator de forma artificial

Foi determinado o fator de forma artificial para cada árvore, onde este pode ser obtido pela razão entre o volume total real da árvore em relação ao volume de um cilindro, com base no diâmetro a 1,3 m (DAP):

$$f_{1,3} = \frac{\textit{Volume real}}{\textit{Volume do cilindro no DAP}}$$

Após a obtenção do fator de forma artificial de cada árvore foi determinado o fator de forma médio por tratamento, tendo-se um $f_{1,3}$ para cada espaço vital. Foram construídas curvas para ilustrar a influência da densidade sobre a forma das árvores (espaço vital x $f_{1,3}$).

4.4.5 Comparação do crescimento entre os tratamentos

O experimento foi implementado em blocos ao acaso, mas como na presente pesquisa, a amostragem das árvores para análise de tronco foi realizada em classes de diâmetro (item 4.3) e independentemente dos blocos, utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para analisar os efeitos da densidade inicial no crescimento das variáveis dendrométricas estudadas. Esta decisão também foi embasada nas análises realizadas por LIMA (2010), que não encontrou diferenças estatísticas entre os Blocos e portanto o experimento pode ser considerado como um DIC.

O teste de Bartlett foi aplicado para todas as variáveis de interesse (DAP, altura, área transversal e volume) para verificar a homogeneidade de variância dos dados em nível de 5% de significância. Quando esta condição não foi encontrada os dados foram transformados de modo a torná-los homogêneos, realizando-se então a ANOVA, utilizada para avaliar o efeito do espaçamento no crescimento das variáveis DAP, altura, área transversal e volume. Quando o teste F da ANOVA foi significativo, aplicou-se o teste de Duncan, também em nível de 5% de significância para verificar a existência de diferenças entre as médias dos tratamentos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Modelagem da produção

Na Tabela 5 são apresentados os resultados estatísticos do ajuste da equação de Chapman-Richards para cada tratamento e para as variáveis, diâmetro, altura total, área transversal e volume. É importante ressaltar que o ajuste foi realizado somente com a finalidade de suavizar as curvas médias de crescimento acumulado e de incrementos, facilitando assim, a visualização das diferenças dos incrementos e da produção entre tratamentos, sendo que, os testes estatísticos foram aplicados aos dados reais advindos da ANATRO.

Observam-se na Tabela 5 os ajustes para as variáveis DAP, área transversal, altura e volume, sendo constatado que os coeficientes “b0” do modelo para cada tratamento, que representa o valor assintótico, não estão coerentes com a lógica biológica esperada, ou seja, os valores de b0 deveriam apresentar uma tendência clara de aumentar na medida em que a densidade diminui, pelo menos em relação ao DAP, área transversal e volume individual. Isto pode ser devido principalmente aos dados analisados que representam a fase de crescimento ainda relativamente jovem do povoamento. Salienta-se, entretanto, que as análises gráficas dos ajustes indicam que as curvas resultantes dos ajustes representam adequadamente as médias de cada tratamento, atendendo aos propósitos da pesquisa de obter curvas médias suavizadas que permitissem analisar o efeito da densidade no crescimento das variáveis.

O modelo biológico usado para estimar o crescimento acumulado do DAP e da altura, obteve um com coeficientes de determinação oscilando entre 0,78 a 0,97. Todavia, os erros padrões de estimativa não foram apropriados e maiores que 13,5%, aumentando na medida em que a densidade diminui, podendo atingir percentuais não adequados, notadamente para os espaçamentos mais densos.

Alguns valores assintóticos para o DAP não tem qualquer lógica biológica e não houve preocupação a respeito de fixar esse valor. É importante salientar novamente que para os propósitos dessa pesquisa, o erro alto não é relevante, considerando que a modelagem foi realizada para construir curvas médias ajustadas até o 9º ano, preferíveis às curvas médias observadas para análises dos pontos importantes das curvas de incremento e produção.

Tabela 5: Coeficientes e estatísticas da equação de Chapman-Richards para as variáveis DAP (cm), Área Transversal (m²), Altura (m) e Volume (m³) para cada tratamento.

DAP (cm)					
Tratamentos (m x m)	b0	b1	b2	R² ajust	Syx (%)
1 x 1 (1 m ²)	46,041	0,080	1,880	0,788	52,43
2 x 1 (2 m ²)	19,097	0,245	3,206	0,890	43,58
2 x 2 (4 m ²)	15,266	0,408	5,725	0,795	38,65
3 x 2,5 (7,5 m ²)	19,638	0,360	4,589	0,911	33,84
3 x 3 (9 m ²)	27,532	0,297	4,010	0,819	39,73
3 x 3,5 (10,5 m ²)	52,363	0,134	2,421	0,912	30,74
4 x 3 (12 m ²)	22,285	0,395	5,071	0,946	29,17
4 x 3,5 (14 m ²)	33,669	0,234	3,205	0,937	24,88
4 x 4 (16 m ²)	28,387	0,300	4,297	0,910	29,53
Área Transversal (m²)					
Tratamentos (m x m)	b0	b1	b2	R² ajust	Syx (%)
1 x 1 (1 m ²)	2,323	0,025	3,102	0,582	89,79
2 x 1 (2 m ²)	0,167	0,071	3,187	0,643	77,37
2 x 2 (4 m ²)	0,180	0,079	3,429	0,774	69,52
3 x 2,5 (7,5 m ²)	0,037	0,295	6,860	0,801	66,11
3 x 3 (9 m ²)	0,243	0,110	3,922	0,726	84,23
3 x 3,5 (10,5 m ²)	2,881	0,040	3,509	0,847	62,47
4 x 3 (12 m ²)	0,039	0,429	11,58	0,826	62,96
4 x 3,5 (14 m ²)	0,418	0,083	3,578	0,868	49,95
4 x 4 (16 m ²)	0,097	0,207	5,701	0,748	61,10
Altura (m)					
Tratamentos (m x m)	b0	b1	b2	R² ajust	Syx (%)
1 x 1 (1 m ²)	35,000	0,097	1,733	0,781	34,70
2 x 1 (2 m ²)	39,992	0,088	1,742	0,909	21,82
2 x 2 (4 m ²)	43,435	0,081	1,730	0,919	19,55
3 x 2,5 (7,5 m ²)	35,000	0,095	1,697	0,967	20,91
3 x 3 (9 m ²)	46,943	0,081	1,722	0,941	16,73
3 x 3,5 (10,5 m ²)	48,444	0,069	1,559	0,973	13,48
4 x 3 (12 m ²)	35,000	0,094	1,661	0,973	16,19
4 x 3,5 (14 m ²)	35,000	0,110	1,796	0,958	14,14
4 x 4 (16 m ²)	35,000	0,106	1,809	0,939	16,95
Volume (m³)					
Tratamentos (m x m)	b0	b1	b2	R² ajust	Syx (%)
1 x 1 (1 m ²)	5,000	0,067	4,701	0,691	108,70
2 x 1 (2 m ²)	4,795	0,067	4,771	0,719	88,89
2 x 2 (4 m ²)	6,351	0,058	4,474	0,783	75,51
3 x 2,5 (7,5 m ²)	1,016	0,12	4,723	0,789	76,95
3 x 3 (9 m ²)	2,269	0,124	5,571	0,741	92,57
3 x 3,5 (10,5 m ²)	5,000	0,101	5,819	0,808	61,98
4 x 3 (12 m ²)	0,306	0,325	10,396	0,702	73,70
4 x 3,5 (14 m ²)	5,127	0,088	4,926	0,813	58,21
4 x 4 (16 m ²)	1,833	0,133	5,741	0,844	70,66

5.2 Crescimento das variáveis

5.2.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)

Na Tabela 6 observam-se as médias do crescimento do diâmetro médio aritmético (DAP) sem casca. Como informado na metodologia, o delineamento inteiramente casualizado foi usado para as análises estatísticas das variáveis estudadas. Desta forma, é importante ressaltar que em todos os casos foram aplicados o teste de Bartlett a fim de verificar a homogeneidade de variância. Quando esta condição não foi atendida os dados foram transformados de modo a torná-los homogêneos, realizando-se em seguida a análise de variância. Nos casos em que o teste F da ANOVA foi significativo, aplicou-se o teste de Duncan. O nível de significância de 5% foi adotado para todos estes testes.

Nos primeiros anos não foi notada diferença entre tratamentos, observando alteração do crescimento em diâmetro (DAP) a partir do 5º ano. O espaço vital 14 m² foi o que produziu maior média de diâmetro (23,41 cm) ao longo do tempo, sendo estatisticamente igual aos espaçamentos seguidos de mesma letra. Para a idade 9 anos a maior média de DAP (23,41 cm) é 37,1% maior que a menor média (14,73 cm) para o espaço vital de 4 m², indicando um incremento médio anual de cerca de 1 cm (produção maior que 8,68 cm em 9 anos) para cada árvore.

Tabela 6: Médias por idade do diâmetro à altura do peito (DAP) sem casca para *Pinus taeda* L. em 9 diferentes espaçamentos, em Irati, PR.

Tratamento (m x m)	Idade (anos)						
	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	2,04 a	5,11 a	5,56 b	7,84 c	8,96 c	10,26 b	15,53cd
2 x 1 (2 m ²)	2,16 a	4,44 a	6,66 b	8,42 bc	9,83bc	10,90 b	15,09cd
2 x 2 (4 m ²)	2,22 a	4,37 a	6,76 b	9,01bc	10,63bc	11,83 b	14,73 d
3 x 2,5 (7,5 m ²)	3,30 a	6,07 a	9,35 a	11,29ab	13,27ab	14,98ab	19,48ab
3 x 3 (9 m ²)	2,99 a	6,52 a	10,26 a	13,32 a	15,79 a	17,89 a	21,99ab
3 x 3,5 (10,5 m ²)	3,25 a	6,25 a	9,61 a	12,89 a	15,59 a	17,52 a	22,72 a
4 x 3 (12 m ²)	3,63 a	6,83 a	10,53 a	13,47 a	15,95 a	18,22 a	20,69ab
4 x 3,5 (14 m ²)	3,51 a	7,04 a	10,74 a	13,76 a	16,43 a	19,15 a	23,41 a
4 x 4 (16 m ²)	2,83 a	6,07 a	9,97 a	13,06 a	15,90 a	18,58 a	21,65ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

A Figura 16 mostra a evolução do diâmetro ao longo dos anos para todos os espaços vitais. Nota-se uma clara diferença do crescimento do DAP conforme o aumento da idade em

relação aos tratamentos, onde espaçamentos mais densos apresentaram menores diâmetros, comparados aos espaçamentos mais abertos, como esperado do ponto de vista biológico.

Lima (2010) trabalhou com o mesmo experimento e analisou os dados até a idade de 7 anos, utilizando-se de parcelas permanentes. Encontrou o maior diâmetro no espaço vital 14 m² (18,75 cm com casca). Na presente pesquisa o maior diâmetro aos 7 anos (16,43 cm sem casca) também foi encontrado no espaço vital 14 m². É importante ressaltar que essa diferença entre os diâmetros é devida principalmente aos dados advindos da análise de tronco que gera diâmetros sem casca. Acrescentando-se a casca, os valores seriam bastante próximos, indicando que as duas tecnologias empregadas podem apresentar estimativas similares. Constata-se assim, que a análise de tronco completa embora trabalhando com uma intensidade menor de árvores pode resultar bons estimadores, desde que a amostra seja criteriosamente selecionada.

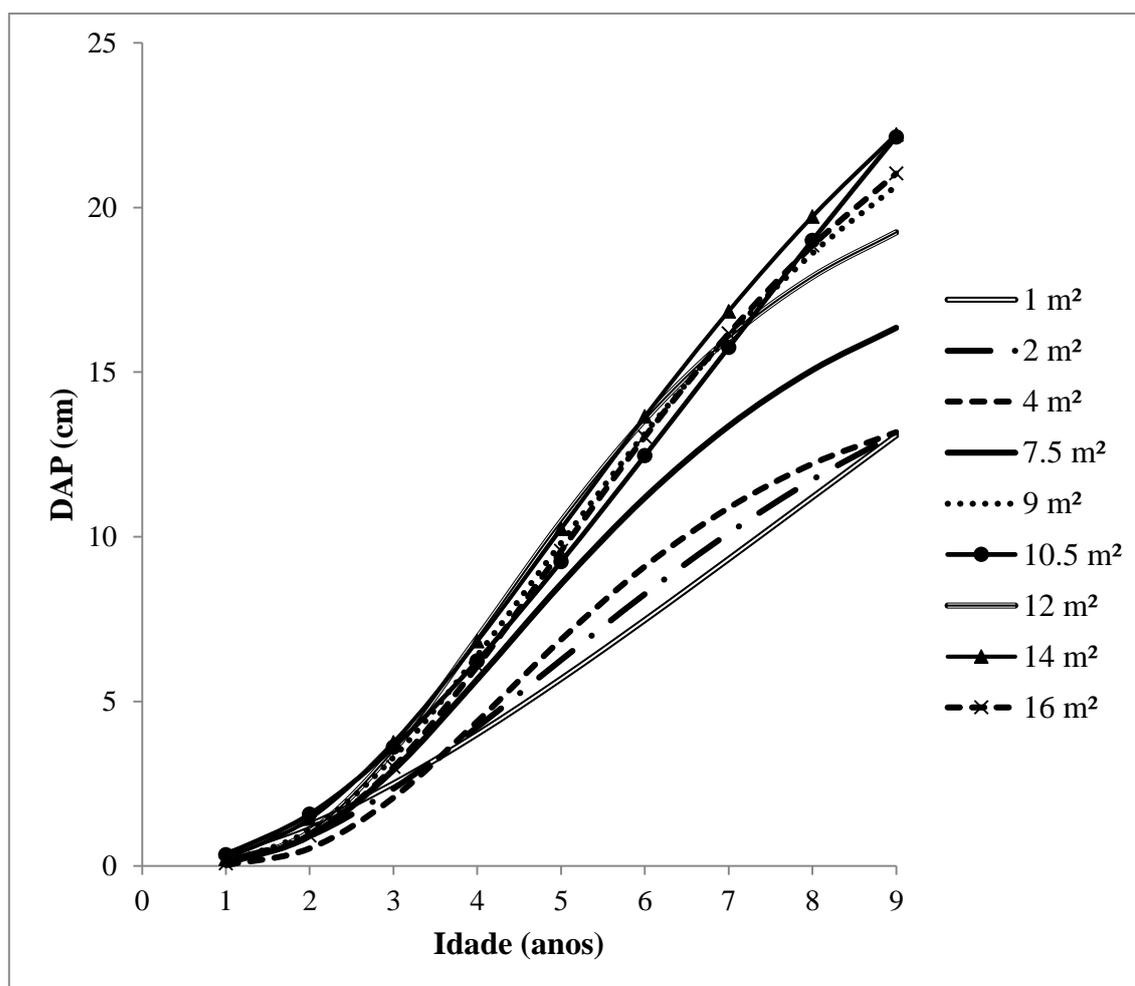


Figura 16: Efeito da densidade inicial no crescimento acumulado do diâmetro (DAP) médio sem casca.

Pauleski *et al.* (2010) encontraram resultados semelhantes para *Pinus taeda* L. onde, em espaçamentos mais abertos o DAP apresentou maiores diâmetros. Sanquetta *et al.* (2003) constataram a ocorrência da estagnação do crescimento mais cedo para o DAP em espaçamentos mais densos para a espécie *Pinus taeda* L. Chies (2005), trabalhando com *Pinus taeda* L., obteve valores de DAP que apresentaram tendência de aumento para espaçamentos maiores entre árvores. Berger (2000), estudando o crescimento de *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos, constatou que aos 10,5 anos o DAP apresentava uma relação direta com os espaçamentos, ou seja, o maior espaçamento proporcionou maior DAP.

A curva de produção da Figura 17 mostra que para os espaços vitais 1 m² (densidade alta), 7,5 m² (densidade média) e 16 m² (densidade baixa), há um padrão esperado de crescimento, onde em espaçamentos mais adensados tendem a ter uma menor produção em termos de árvore individual, se comparados com espaçamentos menos densos.

O cruzamento das curvas de crescimento para o DAP (IMA e ICA) ocorreu aos 6,3, 7,2 e aos 8,6 anos, respectivamente (Figura 17) para os espaços vitais 1, 7,5 e 16 m². Este comportamento é explicado devido à estagnação do crescimento pela alta competitividade dos espaçamentos mais adensados, fazendo com que as curvas de ICA e IMA se cruzem mais cedo. Leite *et al.* (2006) observaram para *Pinus taeda* L. um cruzamento mais precoce das curvas de ICA e IMA referente ao DAP em espaçamentos mais adensados.

Observa-se também que as curvas de produção corresponderam a realidade biológica, onde espaçamentos mais adensados obtiveram menor crescimento diamétrico em relação a espaçamentos mais abertos.

O diâmetro médio quadrático (dg) foi calculado para todos os tratamentos (Tabela 7), pois de acordo com Schneider (2008) o dg indica a árvore com volume médio do povoamento. Com isto chega-se a estimativas aproximadas de volume, uma vez que é uma variável de fácil obtenção. Como esperado, em espaçamentos abertos o dg tende a ser maior em comparação a espaçamentos mais densos, sendo o espaço vital 14 m², também o que resultou maior valor do diâmetro médio quadrático (23,57 cm).

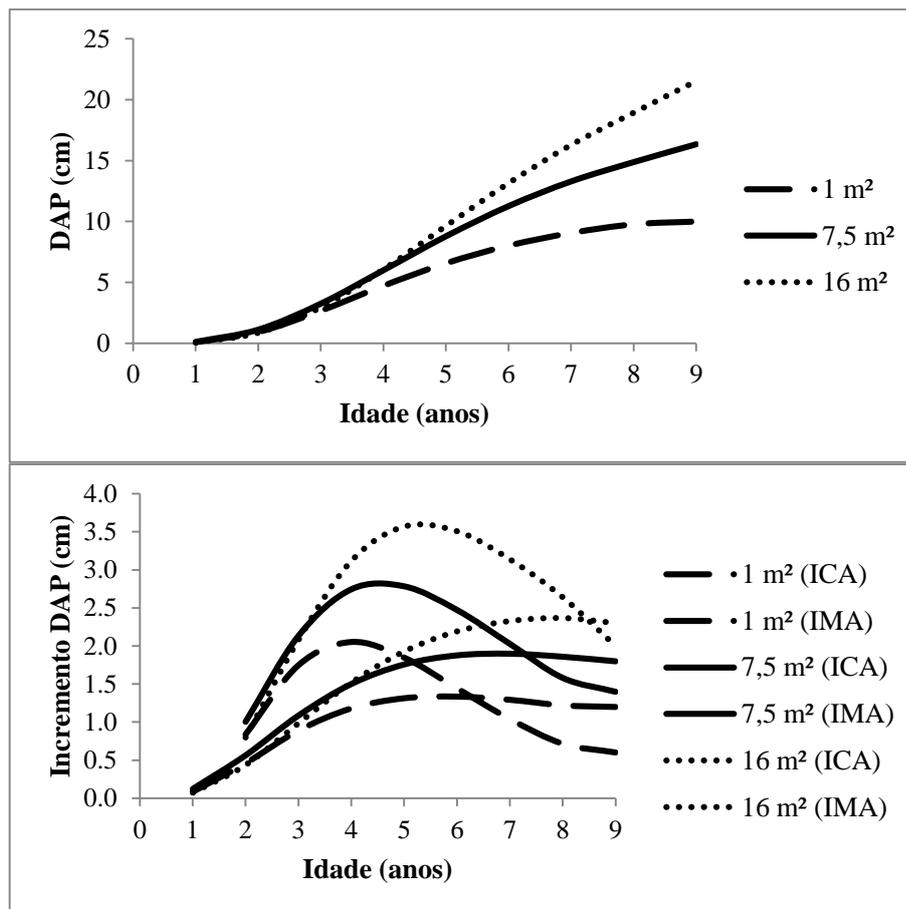


Figura 17: Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para o diâmetro a altura do peito (DAP) para espaço vital menor (1 m²), médio (7,5 m²) e maior (16 m²).

Tabela 7: Diâmetro médio quadrático (dg) para todos os espaçamentos e idades.

Tratamentos (m x m)	Idade (anos)						
	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	2,87	4,91	6,92	8,56	9,79	10,82	15,7
2 x 1 (2 m ²)	2,64	4,94	7,19	8,94	10,38	11,52	14,64
2 x 2 (4 m ²)	2,58	4,76	7,24	9,41	11,04	12,35	15,45
3 x 2,5 (7,5 m ²)	3,36	5,95	9,12	11,61	13,62	15,47	17,06
3 x 3 (9 m ²)	3,28	6,83	10,66	13,84	16,51	18,85	22,98
3 x 3,5 (10,5 m ²)	3,72	6,66	10,18	13,27	15,84	18,29	23,02
4 x 3 (12 m ²)	3,92	7,12	10,84	13,82	16,4	18,75	21,03
4 x 3,5 (14 m ²)	3,89	7,33	10,98	14,01	16,72	19,51	23,57
4 x 4 (16 m ²)	3,15	6,39	10,33	13,47	16,33	19,02	21,91

5.2.2 Área transversal (g)

Na Tabela 8 são apresentadas as análises estatísticas para a área transversal. Constatase a diferença entre tratamentos a partir do 5º ano (Teste F foi significativo a partir do quinto ano), onde o espaço vital 14 m² resultou no maior valor de área transversal média (0,00946 m²), sendo estatisticamente igual aos tratamentos seguidos de mesma letra. Os menores valores médios de área transversal foram encontrados nos espaçamentos mais adensados. A maior área transversal média observando aos 9 anos de idade para o tratamento com 14 m² (0,0436 m²), é 58,7% maior que a menor média (0,0180 m² do tratamento com 4 m² de espaço vital).

Tabela 8: Médias por idade da Área transversal (g) sem casca para *Pinus taeda* L. em 9 diferentes espaçamentos, em Irati, PR.

Tratamentos (m x m)	Idade (anos)							
	3	4	5	6	7	8	9	
1 x 1 (1 m ²)	0,0006 a	0,0019 a	0,0030 c	0,0056 b	0,0073 b	0,0091 c	0,0193 b	
2 x 1 (2 m ²)	0,0005 a	0,0019 a	0,0041 bc	0,0063 b	0,0084 b	0,0104 bc	0,0186 b	
2 x 2 (4 m ²)	0,0005 a	0,0018 a	0,0041 bc	0,0069 b	0,0096 b	0,0120 bc	0,0180 b	
3 x 2,5 (7,5 m ²)	0,0009 a	0,0028 a	0,0072 ab	0,0108 ab	0,0148 ab	0,0189 ab	0,0307 ab	
3 x 3 (9 m ²)	0,0008 a	0,0037 a	0,0089 a	0,0151 a	0,0214 a	0,0279 a	0,0415 a	
3 x 3,5 (10,5 m ²)	0,0011 a	0,0035 a	0,0076 ab	0,0139 a	0,0204 a	0,0273 a	0,0416 a	
4 x 3 (12 m ²)	0,0012 a	0,0040 a	0,0092 a	0,0150 a	0,0212 a	0,0276 a	0,0302 ab	
4 x 3,5 (14 m ²)	0,0012 a	0,0042 a	0,0095 a	0,0154 a	0,0220 a	0,0299 a	0,0436 a	
4 x 4 (16 m ²)	0,0009 a	0,0032 a	0,0084 a	0,0142 a	0,0209 a	0,0284 a	0,0377 ab	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

É de fácil visualização um aumento gradativo da área transversal conforme o aumento do espaço vital (Figura 18), isso pode ser devido à baixa competição por nutrientes e por luz, favorecendo o crescimento desta nos espaçamentos mais abertos. Sanquetta *et al.* (2003) encontraram aos 7,7 e 8,75 anos diferença em todos os espaçamentos testados, havendo também um aumento progressivo da área transversal com o aumento do espaçamento.

Lima (2010), para a mesma área utilizando de parcelas permanentes, encontrou diferença na área transversal também a partir do quinto ano e o espaço vital 14 m² foi o que produziu a maior área transversal, igualando-se a presente pesquisa que utilizou análise de tronco. Chies (2005), testando a influência do espaçamento para *Pinus taeda* L. com 21 anos de idade, constatou que a proporção de madeira juvenil em relação à área transversal aumenta com o aumento do espaçamento.

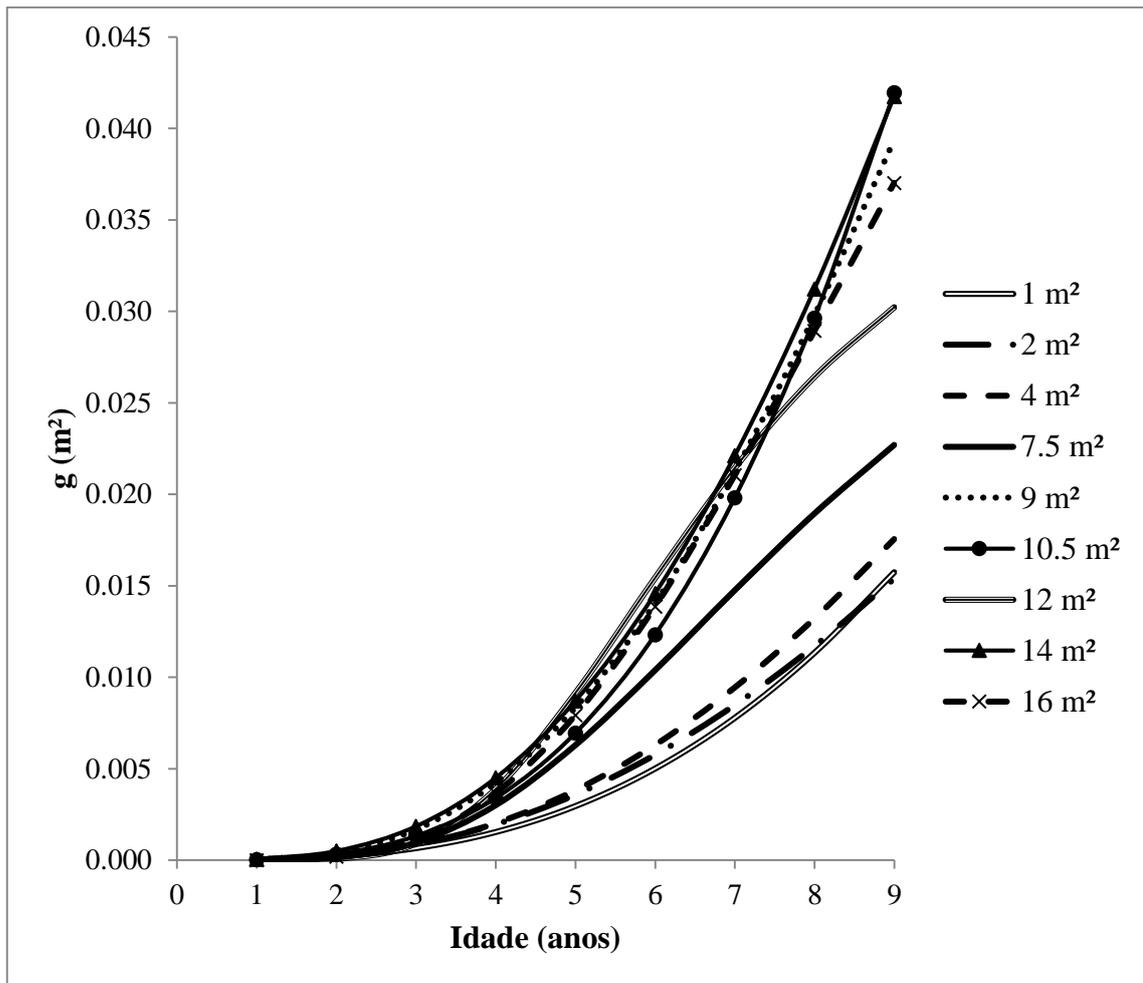


Figura 18: Efeito da densidade inicial no crescimento acumulado da área transversal (g) média sem casca.

Analisando as curvas de produção e incrementos para área transversal (Figura 19), observa-se que o espaço vital mais amplo (16 m^2) possui maior produção volumétrica individual (0,0377 m^2 aos 9 anos) quando comparado com os espaços vitais menores (1 m^2 e 7,5 m^2). É evidente a diferença de crescimento da área transversal, mostrando que há uma ligação direta entre a escolha do espaçamento inicial com o desenvolvimento da área transversal.

As curvas de incremento não atingiram o máximo com exceção do espaço vital 1 m^2 . Isto indica que a área transversal ainda está aumentando para os espaços vitais de média e baixa densidade, notando-se baixo incremento no espaçamento menor, reforçando que quanto menor o espaçamento menor é o crescimento da área transversal. Para o espaço vital 1 m^2 , verifica-se que as curvas de ICA e IMA já se encontraram ou seja já foi atingido o máximo IMA.

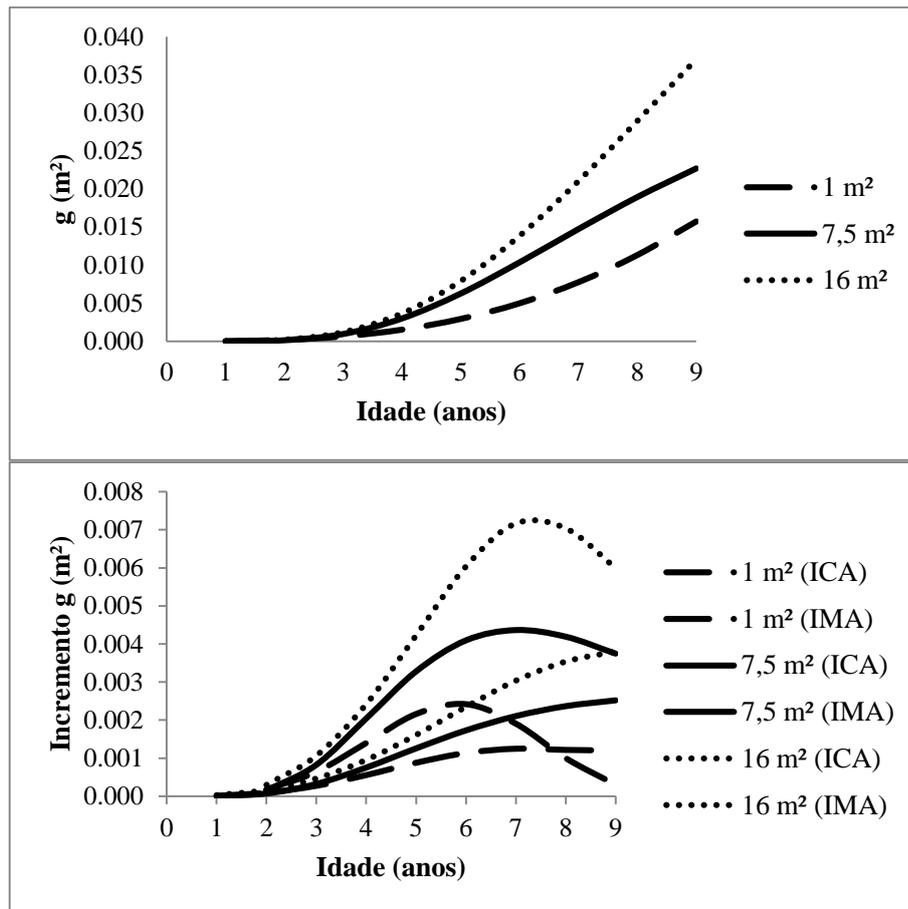


Figura 19: Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para a área transversal (g) no espaço vital menor (1 m²), médio (7,5 m²) e maior (16 m²).

Constata-se finalmente, que a máxima produção da área transversal para o espaçamento mais denso ocorre em 7,8 anos, idades de rotação técnica segundo a área basal, mostrando que a competição está elevada. Todavia, a máxima produção de biomassa ainda não foi atingida e isto ocorrerá mais tarde como pode ser observado no item 5.2.4..

5.2.3 Altura

Na Tabela 9 estão presentes as alturas totais médias para cada tratamento. Constata-se pela análise de variância que o crescimento da altura total média foi estatisticamente igual (F calculado foi menor que o F tabelado), ou seja, até os nove anos de idade, o espaçamento não afetou o crescimento da altura total média. A máxima altura média (15,81 m) é observada no espaço vital 14 m² aos nove anos, sendo 11% maior que a média de altura do espaço vital 1 m² (14,06 m). Esta diferença equivale a cerca de 20 cm de incremento médio anual a mais em

altura e por isto a constatação de que realmente a densidade inicial pouco interfere no crescimento da altura média da floresta.

Tabela 9: Médias por idade da altura total para *Pinus taeda* L. em 9 diferentes espaçamentos, em Irati, PR.

Tratamentos (m x m)	Idade (anos)							
	2	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	2,02 a	3,27 a	5,76 a	6,09 a	7,99 a	9,58 a	11,27 a	14,06 a
2 x 1 (2 m ²)	1,55 a	3,11 a	4,86 a	6,92 a	8,52 a	10,26 a	11,81 a	14,56 a
2 x 2 (4 m ²)	1,66 a	3,04 a	4,57 a	6,63 a	8,57 a	10,21 a	11,86 a	14,25 a
3 x 2,5 (7,5 m ²)	1,70 a	3,65 a	5,50 a	7,21 a	8,24 a	9,72 a	11,83 a	14,23 a
3 x 3 (9 m ²)	1,82 a	3,13 a	5,15 a	7,05 a	9,07 a	11,22 a	13,13 a	14,97 a
3 x 3,5 (10,5 m ²)	1,89 a	3,55 a	5,24 a	7,07 a	9,08 a	10,59 a	12,80 a	14,69 a
4 x 3 (12 m ²)	1,95 a	3,53 a	5,13 a	6,80 a	8,58 a	10,41 a	12,23 a	14,30 a
4 x 3,5 (14 m ²)	2,10 a	3,72 a	5,40 a	7,46 a	9,12 a	11,35 a	13,79 a	15,81 a
4 x 4 (16 m ²)	1,76 a	3,16 a	5,25 a	7,29 a	8,72 a	10,43 a	12,92 a	14,87 a

Teste F a 5% de significância não apresentou diferença estatísticas entre os tratamentos.

Todavia, analisando a Figura 20 fica evidente um maior crescimento em altura nos últimos anos nos espaçamentos mais abertos e um crescimento menor para espaçamentos mais fechados. Lima (2010), por outro lado, para o mesmo experimento, mas utilizando-se de parcelas permanentes encontrou uma maior altura no espaço vital 2 m² (10,03 m) aos 7 anos de idade. Isto pode ter ocorrido, entre muitos outros fatores inerentes à medição de altura, ao fato de que as medições de altura realizadas por Lima (2010) foram por meio de medidas indiretas, utilizando o hipsômetro de Häglof. Quando se usa a ANATRO completa somente a ponta da árvore é estimada em todas as idades, exceto na idade da derrubada da árvore (neste estudo aos 9 anos) onde se tem a altura real da árvore. É importante salientar que as comparações se referem à média da altura nas várias idades obtidas por processos diferentes, envolvendo amostras diferentes.

Chies (2005) também não encontrou diferença estatística para as alturas em um experimento que testava a influência de diferentes espaçamentos para *Pinus taeda* L. aos 21 anos no município de Três Barras, estado de Santa Catarina.

Pauleski *et al.* (2010) encontraram resultados semelhantes para *Pinus taeda* L. em relação à altura para diferentes espaçamentos, observando uma tendência monomórfica das curvas de altura em relação à idade. Por outro lado, Sanquetta *et al.* (2003) constataram

diferenças no crescimento médio em altura de povoamento de *Pinus taeda* L. nas idades de 4,5 e 5,9 anos, onde em espaçamentos mais abertos obtiveram um crescimento menor.

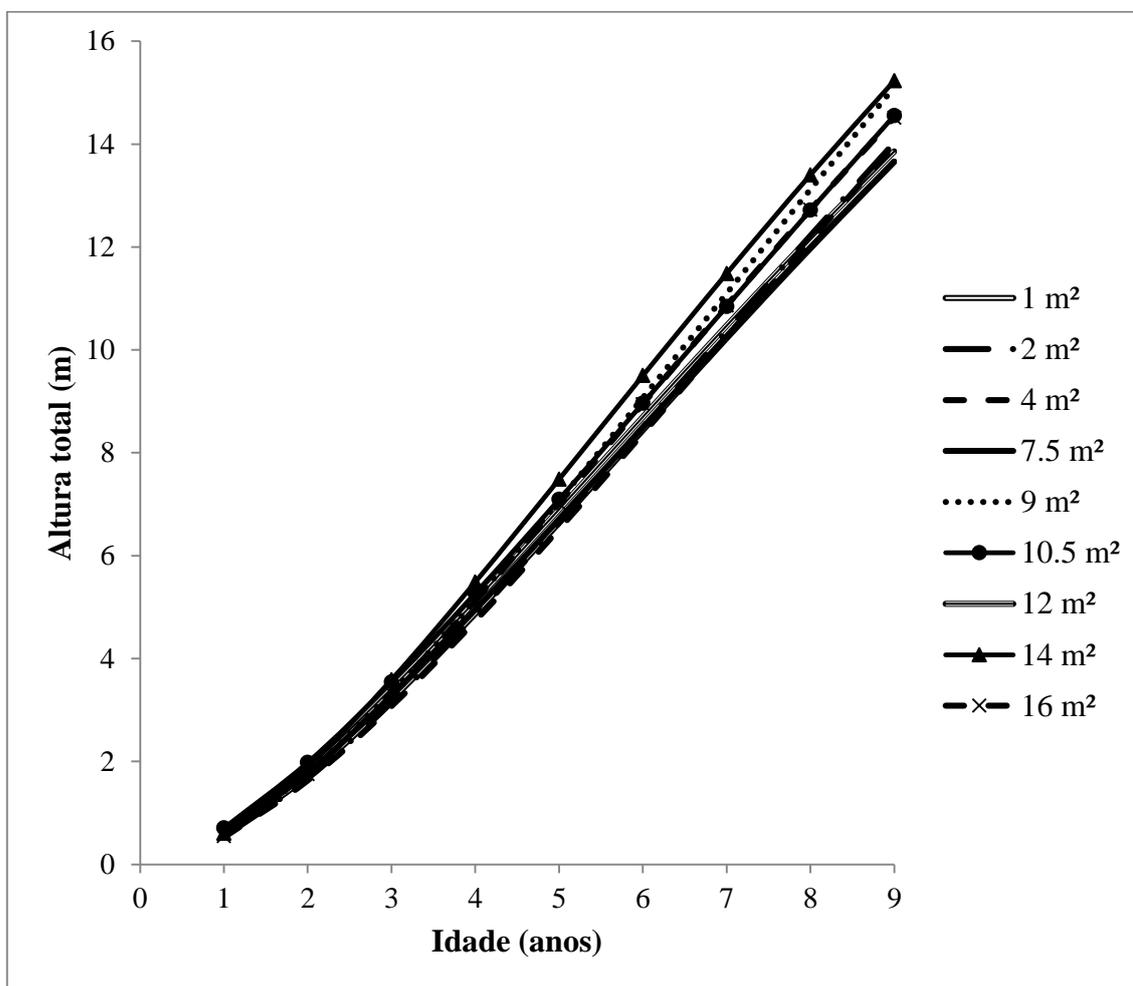


Figura 20: Efeito da densidade inicial no crescimento acumulado da altura total média.

Leite *et al.* (2006) observaram diferença estatística no crescimento em altura a partir do décimo ano, sendo que a diferença das médias aos 14 anos foi de no máximo 1,1 m, enfatizando a pouca influência do espaçamento no crescimento em altura. No presente trabalho a diferença na altura aos nove anos entre tratamentos foi de no máximo 1,75 m.

Para melhor visualização, construíram-se as curvas de produção e de incremento utilizando os espaçamentos extremos e o espaçamento médio (1 m², 7,5 m² e 16 m²) ilustrado na Figura 21. É possível verificar um afastamento maior entre as curvas com o avanço da idade e que as curvas de ICA e IMA não se cruzaram ainda, mas indicam que isto deve ocorrer aos 10 anos de idade para o espaçamento menor.

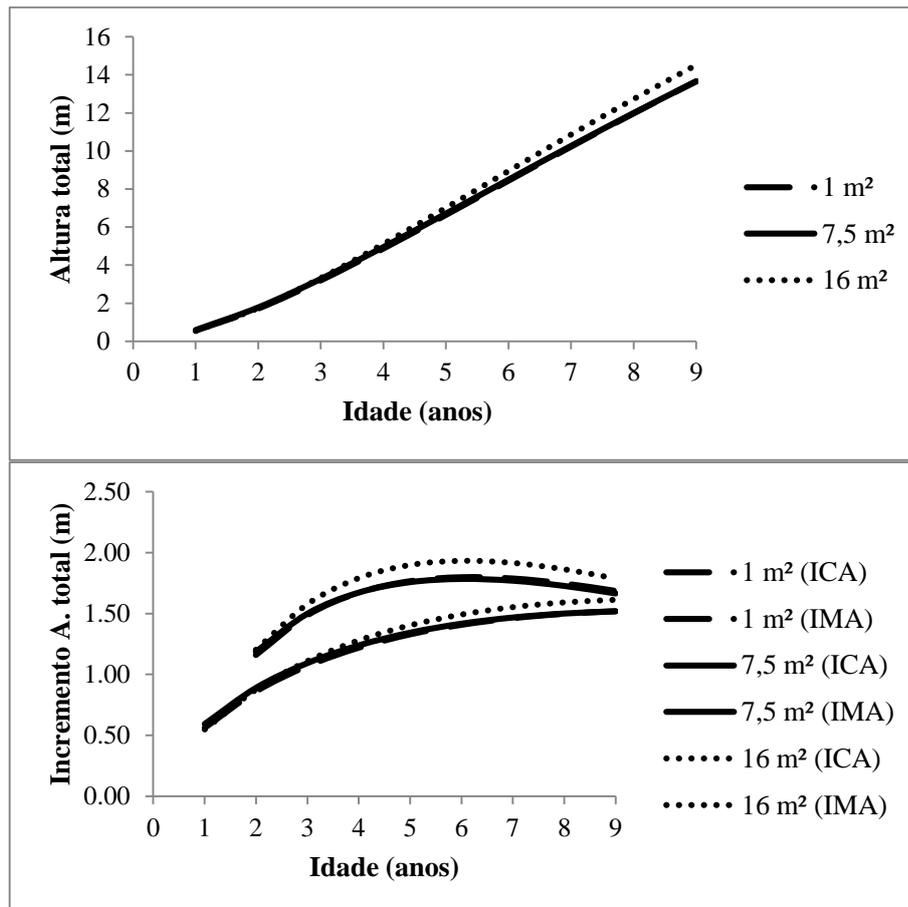


Figura 21: Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para altura total no espaço vital menor (1 m²), médio (7,5 m²) e maior (16 m²).

5.2.4 Volume

Na Tabela 10 estão os resultados do teste de Duncan para o volume total sem casca onde se observa diferenças estatísticas entre os tratamentos a partir da idade 5 anos. Constatase também que o maior volume produzido está no espaço vital 14 m² aos 9 anos (0,2720 m³), como já ocorrera para as outras variáveis, exceto para a altura. Se comparado em termos de porcentagem o maior volume médio (0,2720 m³) com o menor (0,1328 m³), observa-se uma diferença de 55% entre os valores, ressaltando a influência do espaçamento no crescimento em volume individual. Isto é equivalente a um adicional de incremento médio anual de cerca de 0,015 m³ para cada indivíduo (0,1392 m³ em 9 anos).

Tabela 10: Médias por idade do volume total para *Pinus taeda* L. em 9 diferentes espaçamentos, em Irati, PR.

Tratamentos (m x m)	Idade (Anos)						
	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	0,0019 a	0,0062 a	0,0117c	0,0266c	0,0405b	0,0600c	0,1513 ab
2 x 1 (2 m ²)	0,0017 a	0,0059 a	0,0153 bc	0,0282c	0,0438b	0,0636 bc	0,1328 bc
2 x 2 (4 m ²)	0,0015 a	0,0054 a	0,0156 bc	0,0306 bc	0,0481b	0,0698 bc	0,1224 bc
3 x 2,5 (7,5 m ²)	0,0025 a	0,0084 a	0,0266 ab	0,0455 ab	0,0706 ab	0,1054ab	0,1905 ab
3 x 3 (9 m ²)	0,0024 a	0,0116 a	0,0337 a	0,0654 a	0,1075 a	0,1605a	0,2582 ab
3 x 3,5 (10,5 m ²)	0,0030 a	0,0106 a	0,0275 ab	0,0583 ab	0,0961 a	0,1470a	0,2552 ab
4 x 3 (12 m ²)	0,0032 a	0,0115 a	0,0319 a	0,0602 a	0,0962 a	0,1416a	0,2466 ab
4 x 3,5 (14 m ²)	0,0036 a	0,0137 a	0,0356 a	0,0675 a	0,1110 a	0,1725a	0,2720 a
4 x 4 (16 m ²)	0,0021 a	0,0099 a	0,0312 ab	0,0608 ab	0,1028 a	0,1583a	0,2364 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Sanquetta *et al.* (2003) encontraram diferença no volume individual para *Pinus taeda* L. a partir dos 4,5 anos. Essas diferenças ocorreram nos primeiros espaçamentos, as quais se intensificaram de forma crescente até a idade de 8,75 anos, onde todos os espaçamentos diferiram significativamente entre si.

Balloni e Simões (1980) afirmaram que o volume produzido aumenta quando se aumenta o espaçamento, apesar do volume total diminuir. Estes casos tornam-se mais importantes à medida que se exigem madeiras de bitolas mais largas.

Para espaçamentos menores a produção volumétrica por individuo tende a ser menor, mas em relação à produção por unidade de área (m³/ha) é maior em espaçamentos mais adensados, sendo mais aconselhável a utilização desses tipos de espaçamentos para indústria de papel, celulose e/ou energia.

Jones (1987) mencionou que o espaçamento abaixo de 1,8 x 1,8 m não são eficientes para a produção de volume comercial de maior valor agregado quando não efetuado desbaste. Berger (2000), estudando o crescimento de *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos, constatou que para o volume comercial sem casca por árvore, houve diferença significativa entre todos os espaçamentos estudados, com superioridade para o maior espaço vital (12 m²).

A Figura 22 mostra a influência do espaçamento sobre o crescimento volumétrico com o passar do tempo, sendo que espaçamentos mais densos tendem a produzir menor volume individual, como esperado do ponto de vista biológico.

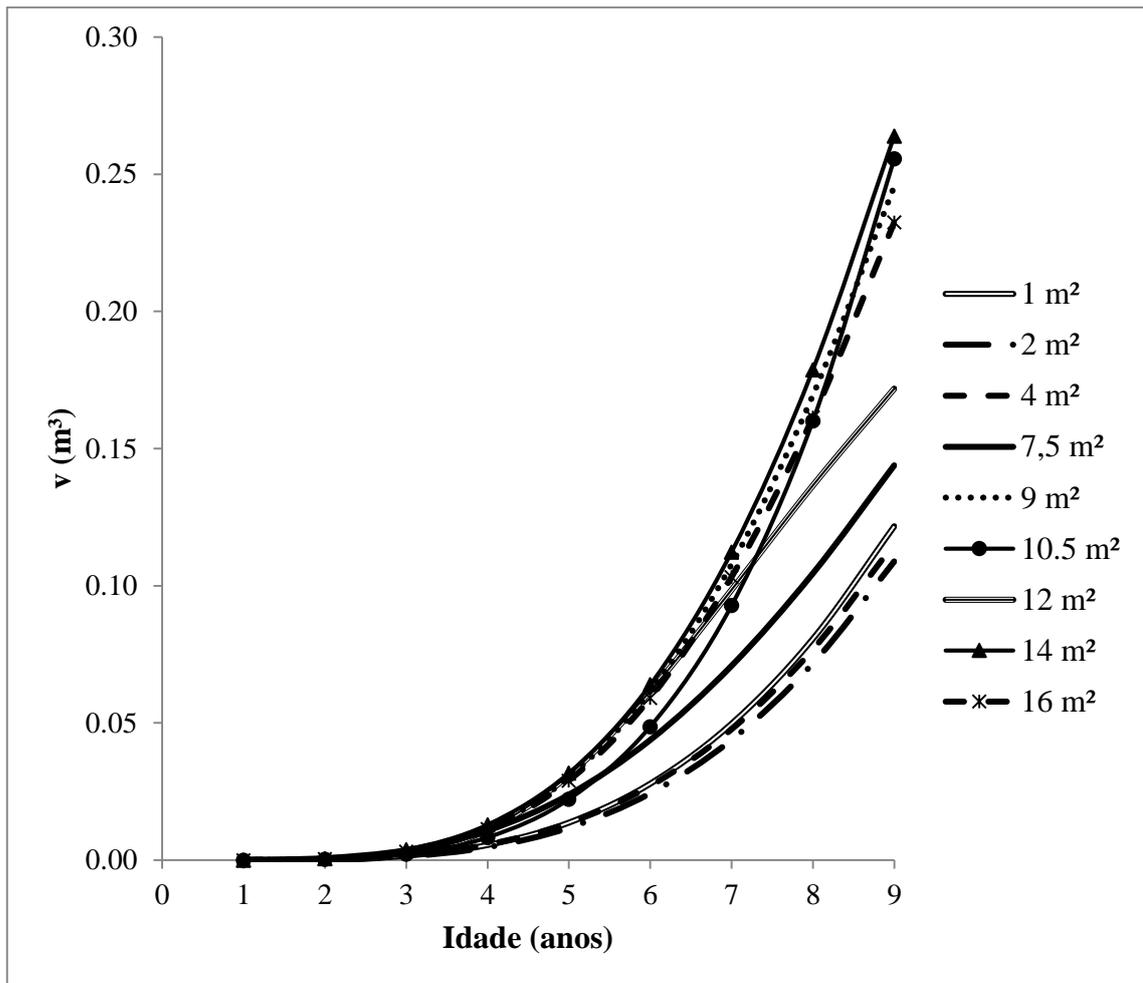


Figura 22: Efeito da densidade inicial no crescimento acumulado do volume individual médio sem casca.

É possível notar que a média do volume individual é maior no espaçamento maior (0,2364 m^3) que no médio (0,1905 m^3), onde o mais adensado apresentou o menor volume individual (0,1513 m^3). Ao comparar o espaçamento 1 m^2 , 7,5 m^2 e 16 m^2 , nota-se uma diferença na média do volume individual de 20% entre o espaço vital 1 m^2 e 7,5 m^2 e uma diferença de 19% entre o 7,5 m^2 e 16 m^2 .

Os incrementos para os espaçamentos de baixa, média e alta densidade produziram resultados bastante distintos e também em relação à produção, conforme ilustra a Figura 23, Sanquetta *et al.* (2004) mencionaram que espaçamentos mais densos com o objetivo de produzir biomassa, não devem ser adotados desbaste e esses mesmos autores afirmaram que o corte raso deve ser efetuado não antes dos 15 anos, pois o incremento volumétrico do *Pinus taeda* L. entre 15 e 20 anos compensa financeiramente o retardamento do corte.

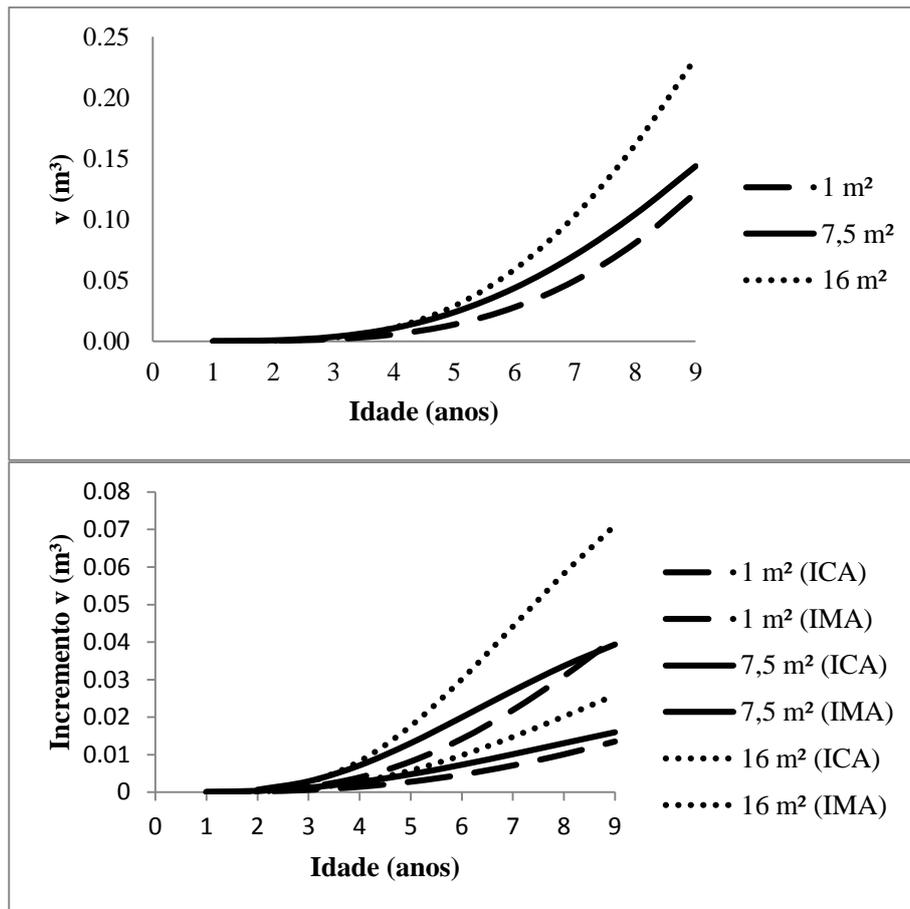


Figura 23: Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para volume médio individual sem casca no espaço vital menor (1 m^2), médio (7,5 m^2) e maior (16 m^2).

Ressalta-se que as curvas de ICA e IMA não atingiram a assíntota, indicando que a máxima produção volumétrica ou de biomassa ainda poderá demorar mais alguns anos.

5.2.5 Área basal e Volume por hectare

A área basal é altamente influenciada pela variável densidade, onde em espaçamentos menores tende a ser maior. Observa-se uma maior produção para a área basal no espaço vital 1 m^2 (81,87 m^2) e o menor crescimento encontra-se no de 16 m^2 (22,95 m^2) aos nove anos, 72% de diferença entre os tratamentos, equivalente a um incremento de 6,55 m^2 /ha/ano. É uma área basal bastante elevada a estimativa para o espaço vital menor e isto certamente é decorrente da inferência da sobrevivência por hectare, estimada com parcelas pequenas que caracterizam os tratamentos de menor espaços vital (Figura 24).

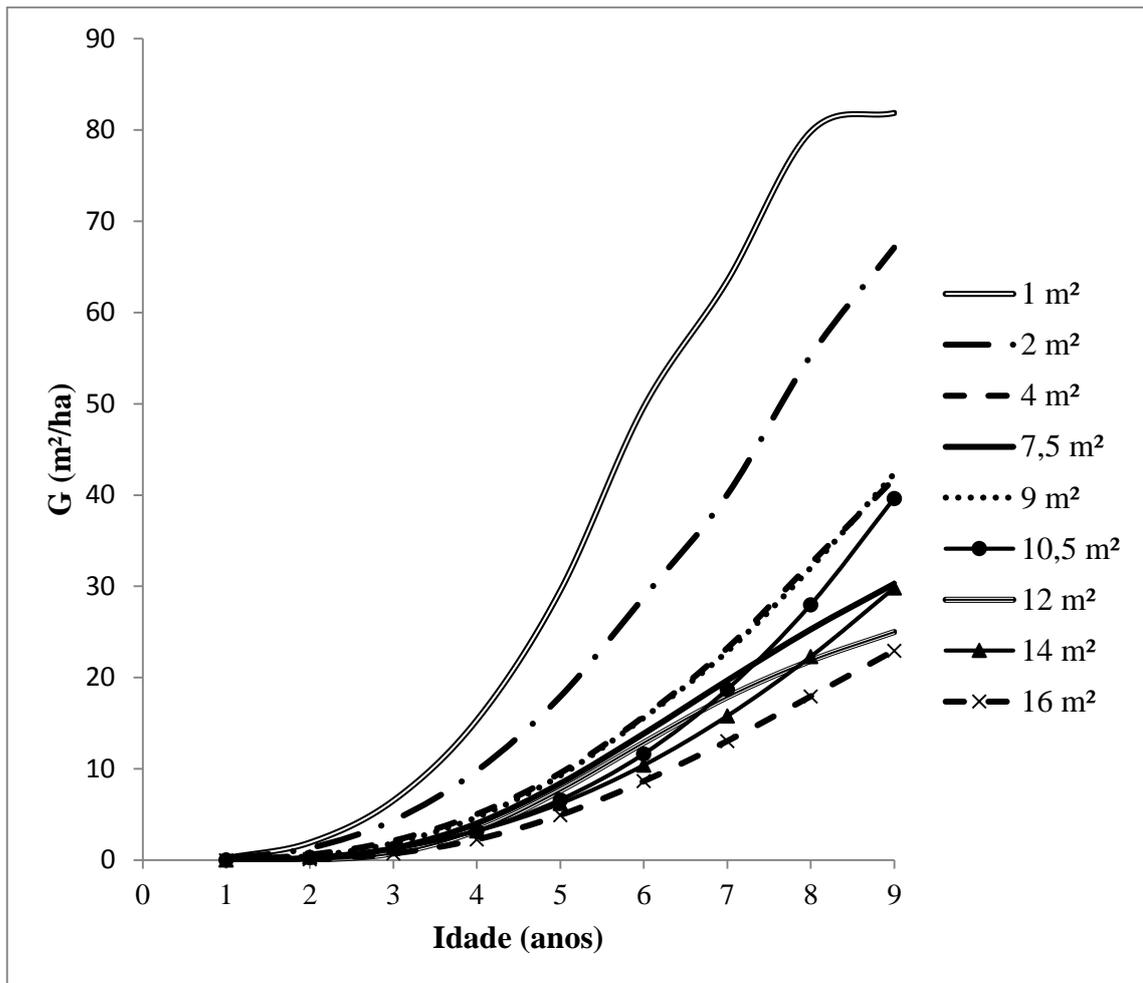


Figura 24: Área Basal (G) estimada por espaçamento para cada tratamento ao longo dos anos.

O crescimento em área basal é avaliado em função da medição do diâmetro. É importante levar em conta que um crescimento constante por ano da área basal significa que o crescimento diamétrico vem diminuindo (ENCINAS *et al.*, 2005). O aumento do número de árvores por hectare aumenta a área basal significativamente, até o momento em que se inicia a competição entre as árvores, estabelecendo-se a seguir a mortalidade natural e com isso a redução momentânea da área basal (SCHNEIDER e FINGER, 1994).

Sanquetta *et al.* (2003) constataram também que a área basal diminuiu com o aumento do espaçamento; Leite *et al.* (2006) verificaram que quanto menor o espaçamento, maior a estimativa média da área basal. Esses resultados indicam que a área basal é estritamente ligada com a densidade do povoamento, sendo a escolha do espaço vital de grande importância no enfoque da matéria prima desejada.

Outra variável importante é o volume por hectare (m³/ha) que representa o volume por unidade de área, o qual define o estoque da floresta. Na Figura 25, constata-se que os

espaçamentos mais densos resultaram maiores produções em volume por unidade de área aos 9 anos de idade, sendo o espaço vital 1 m² com a maior produção por hectare (632,4 m³/ha) e o de menor produção foi o espaço vital 12 m² (142 m³/ha), diferença de 77,5% , equivalente a um incremento de 54,4 m³/ha/ano.

Como já mencionado para a área basal por hectare, as estimativas dos volumes médios por hectare aos 9 anos para os espaçamentos mais adensados, principalmente nos espaços vitais de 1 e 2 m², estão consideravelmente acima do esperado (632,4 m³/ha, ou 70,23 m³/ha/ano e 474,8 m³/ha ou 52,76 m³/ha/ano) para um sítio de média produtividade onde o experimento está instalado. Isto se deve às estimativas de sobrevivência por hectare. As parcelas analisadas para os espaços vital 1 e 2 m² possuem áreas de 25 m² e 50 m², respectivamente, tamanho pequeno que pode acarretar erros nas inferências para o número de árvores sobreviventes por hectare.

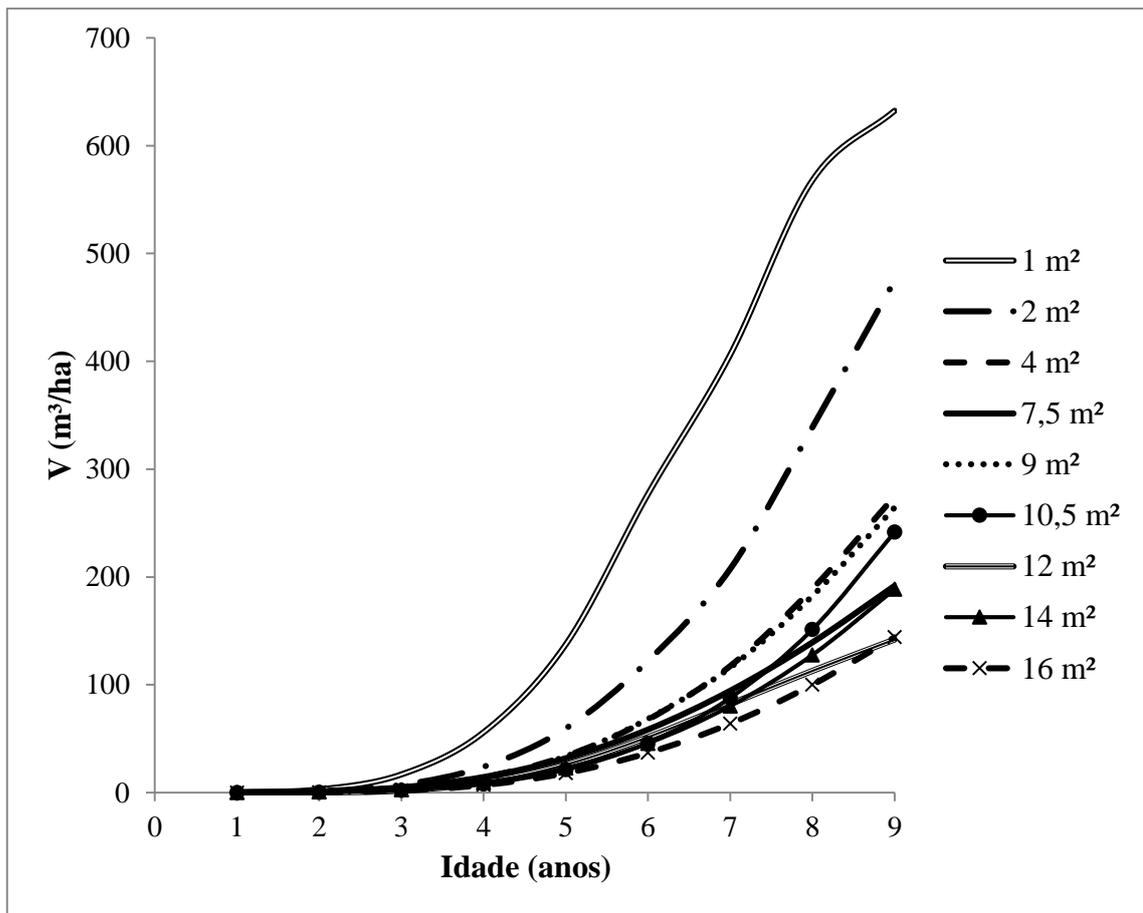


Figura 25: Volume total sem casca estimado por hectare para cada tratamento ao longo dos anos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Sanquetta *et al.* (2003), os quais constataram que o aumento do espaçamento provocou uma menor produção volumétrica total (m^3/ha) da madeira de *Pinus taeda* L. nas idades iniciais, assim como um aumento do volume individual médio das árvores, permitindo a produção de madeira com maiores possibilidades de uso e preços diferenciados.

Balloni e Simões (1980) mencionaram que a adoção de espaçamentos não adequados para certas espécies pode resultar em um número excessivo de árvores dominadas, as quais influem negativamente no volume útil e possivelmente no volume total. Jones (1987) afirmou que o crescimento do volume comercial diminuiu drasticamente depois dos 25 anos, especialmente para o espaçamento $5,8 m^2$ e para os mais adensados.

5.3 Fator de forma artificial

É de grande importância a comparação entre fatores de forma para diferentes espaçamentos, pelo fato de que nem sempre a árvore que possui o maior volume representa árvores mais cilíndricas, onde árvores mais cônicas correspondem a maior perda de madeira no desdobro.

Desta forma, o fator de forma comum sem casca foi calculado por tratamento e por idade. Na Figura 26 estão esses fatores de forma aos 9 anos de idade de acordo com cada tratamento. Observa-se uma diminuição no fator de forma conforme o espaço vital aumenta, reforçando que quanto menor o espaçamento mais cilíndrico é o fuste da árvore.

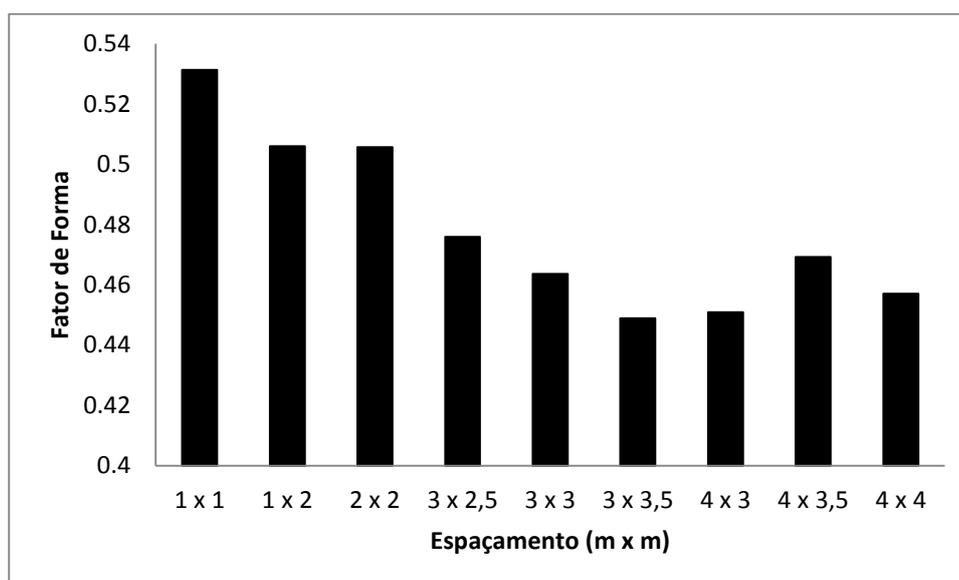


Figura 26: Fator de forma artificial médio para cada espaçamento aos 9 anos.

Constata-se uma variação no fator de forma de 0,44 até 0,53 (amplitude de 17%), respectivamente para espaçamentos maiores e menores. Isto significa que aos 9 anos, em espaços mais apertados os fustes atingem 53% do volume de um cilindro, enquanto que espaços mais abertos geram fustes mais afilados e neste caso para a idade de 9 anos, os troncos são 9% mais afilados. Nogueira (2008), ao estudar a influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus Taeda* L., constatou que espaços vitais iniciais maiores resultam em maior conicidade do fuste de árvores de *Pinus taeda*, sob regime de alto fuste sem aplicação de desbaste, em relação a espaçamentos menores.

5.4 Análise global da influência do espaçamento no crescimento das variáveis utilizadas

Os resultados apresentados mostram claramente a influência do espaçamento nas variáveis de crescimento, exceto para a altura total média, que não sofre influência direta da densidade inicial. Então, dependendo do espaço vital inicial, pode-se planejar a geração de produtos diferenciados para processos produtivos, onde diâmetros menores são utilizados na produção de papel e celulose e diâmetros maiores são voltados para serrarias e laminadoras.

A partir de uma análise dos resultados estatísticos das Tabelas 6, 8 e 10, respectivamente para a produção dos 9 tratamentos em diâmetro, área transversal e volume individual, nota-se uma divisão clara entre os tratamentos, o que possibilita dividi-los em dois grandes grupos para manejos diferenciados visando gerar produção para biomassa, ou regime de manejo denominado “pulpwood”, em uma rotação menor ou para regime de manejo denominado “utility”, em rotações mais longas. Este fato pode ser visualizado na Figura 27, onde se pode observar que as curvas de produção do diâmetro, área transversal e volume do espaço vital 7,5 m² separam perfeitamente os tratamentos em dois grupos que poderiam caracterizar os regimes de manejo mencionados.

A densidade inicial que separa esses dois grupos está no espaço vital 7,5 m² que seria um divisor de densidade inicial para a geração de produtos diferenciados: manejo para biomassa (Grupo 1) e para multiprodutos (Grupo 2).

Com base nos resultados do experimento até o momento, poderia ser recomendado um espaço vital de 7,5 m² quando o produto final ainda tem destino incerto, ou seja, para aquele proprietário que ao implantar sua floresta, ainda não tem muito claro para onde irá destinar sua produção final.

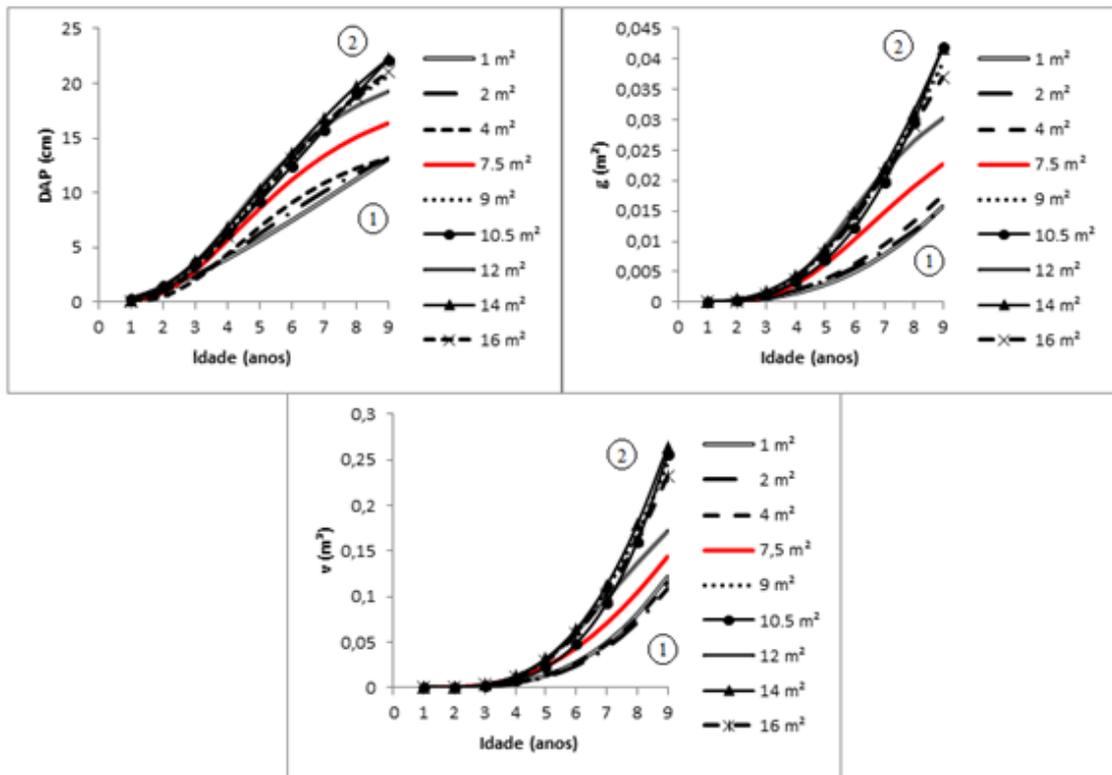


Figura 27: Curvas de produção para o diâmetro (DAP) área transversal (g) e volume destacando a curva para o espaço vital $7,5 m^2$ que divide os tratamentos em dois grupos (1: Regime de manejo pulpwood/2: regime de manejo utility).

6. CONCLUSÕES

- As variáveis diâmetro (DAP), área transversal, volume individual, área basal e volume por hectare sofreram influência da densidade inicial a partir do quinto ano de idade;
- O espaço vital de 14 m² apresentou, nas várias idades analisadas, o maior crescimento para o DAP, área transversal, volume individual, enquanto que o espaço vital de 4 m² resultou nos menores crescimentos individuais;
- O espaço vital de 14 m² apresentou um crescimento médio em diâmetro (DAP) 37% maior do que o espaço vital de menor crescimento (4 m²);
- Para a altura média, não foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos, demonstrando que essa variável é pouco influenciada pelo espaçamento, sendo a maior altura encontrada no espaço vital 14 m² aos 9 anos de idade, 11% superior ao espaço vital de menor crescimento (1 m²);
- A área basal (G) e o volume por hectare foram afetados pelo espaçamento e tiveram diferenças entre tratamentos a partir do quinto ano de idade, onde o espaços vitais de 1 m² e 2 m² apresentaram o maior crescimento para as duas variáveis aos 9 anos.
- O fator de forma aos 9 anos indicou que densidades iniciais maiores resultam troncos mais cilíndricos em torno de 17% do que os encontrados para as menores densidades iniciais;
- O crescimento avaliado com ANATRO ou com Parcelas Permanentes (PP) apresentou certa similaridade para o diâmetro, área transversal, volume individual médio e altura total.
- Os resultados indicam que o espaço vital de 7,5 m² divide os tratamentos em dois grandes grupos, ou seja, espaços vitais menores (1 m² a 7,5 m²) em rotações curtas poderiam ser empregados para produzir biomassa, enquanto os maiores (7,5 m² a 16 m²) seriam mais indicados para gerar multiprodutos em rotações mais longas;
- Espaços vitais com cerca de 7,5 m² poderiam ser usados quando ao implantar a floresta, o proprietário ainda não tem certeza do destino final do produto, podendo portanto, optar pelo regime de manejo pulpwood ou utility.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011. Brasília, 2012. 150 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2011: ano base 2010. Brasília, 2011. 120 p.

ABREU, R. L. Mapa do estado do Paraná. Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parana_MesoMicroMunicip.svg>. Acesso em: 21 de jul. 2012.

ANGELI, A. Produção e rentabilidade de *Pinus* sp. em empresas florestais. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/araucaria.angustifolia.asp>>. Acesso em: 21 de jul. 2012.

BALLONI, E.A.; SIMOES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série técnica. IPEF**, Piracicaba, 1(3): p.1-16, 1980.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de Eucalyptus saligna Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BERENHAUSER, H. **Espaçamento nos plantios de *Pinus elliottii* e *taeda***. Revista Floresta, Curitiba, v.3, n.2, p. 21-27, 1971.

BRITO, C. C. R. **Novos modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey, aplicados em Leucena e Tubarão-junteiro**. Pernambuco, 2005. 141 p. Dissertação (Mestrado em Biometria) - Departamento de Informática e Estatística, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

CÂMARA SETORIAL DE SILVICULTURA - CSS, Agenda Estratégica do Setor de Florestas Plantadas. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Florestas_plantadas/9_reuniao/Agenda_Sivicultura.pdf>. Acesso em: 25 de jun. 2011.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3.ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548 p.

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.

COSTAS, R.; DONAGH, P. M.; WEBER E.; FIGUEREDO, S.; IRSCHICK, P. Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.3, p. 275-284, 2005.

COSTAS, R.; DONAGH, P. M.; WEBER, E.; FIGUEREDO, S.; IRSCHICK C. G. P. Modelos predictivos de la producción de *Pinus taeda* empleando variables vinculadas con las podas. **Bosque**, Valdivia. v.27, n.2, p.98-107, 2006.

CRECHI, E. H. **Efeitos da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em Missiones, Argentina.** Curitiba, 1996. 173 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

DACOSTA, L. P. E. **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na Província de Corrientes, República Argentina.** Santa Maria, 2008. 128 p. Dissertação (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria.

DOSSA, D. Importância sócio-econômica e ambiental do *Pinus taeda* L. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/11_importancia_socio_economica.htm>. Acesso em: 17 de ago. 2012.

JONES, E. P. Slash pine plantation spacing study, age 30. **Proceedings of the Fourth Biennial Southern Silvicultural Research conference**, Atlanta, p. 45-49, 1987.

ENCINAS, J. I.; da SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Idade e Crescimento das Árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, UnB ISSN 1517-1922, v.7, n.1, 43 p. 2005.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 269 p. 1992.

FINGER, C. A. G. **Biometria florestal.** Santa Maria: UFSM, 239 p. 2006.

GLUFKE, C.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER P. R. Crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. sob diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p. 11-25, 1997.

GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p.101-126, 1997.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U.S. **Introdução ao manejo e economia de florestas.** Curitiba: Editora UFPR, 162 p. 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Mapa de solos do Brasil. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>>. Acesso em: 11 jun. 2012.

KRONKA F. J. N.; BERTOLANI F.; PONCE R. H. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 112 p. 2005.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.603-612, 2006.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; LOMBARDI, K. C., SAMPIETRO, J. A.; OLIVEIRA, D.; PEREIRA, A. L. N. Carbono orgânico no solo em função do espaço vital de crescimento de *Pinus taeda* L. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Resumo: Fortaleza, v.1, p. 463-583, 2009.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. **Geografia do Brasil: região sul**. Rio de Janeiro: IBGE, v.2, 419 p. 1990.

LIMA R. **Crescimento de *Pinus taeda* L. em diferentes espaçamentos**. Irati, 2010. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba, 309 p. 2003.

MACHADO, S. A.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; TEO, S. J.; NASCIMENTO, R. G. M. Comparação de métodos para estimativa de altura total para cada idade em análise de tronco completa de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.1, p. 45-55, 2010.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativas de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbastes. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n.50, p. 81-98, 2005.

NASCIMENTO, D. F. **Avaliação do crescimento inicial, custos de implantação e manutenção de reflorestamento com espécies nativas em diferentes espaçamentos**. Seropédica, 2007, 60 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.5, p. 855-860, 2008.

JORGE, L. A. C.; VARGAS A. J. C.; NAVARRO F. C. P.; ROSOT, M. A.; RODA V. O. Análise ANATRO e determinação de volume a partir de imagens de anéis de crescimento. In: WVC 2008 - IV Workshop de visão computacional, Bauru. 7 p. 2008.

OLIVEIRA, E. B.; AHRENS S. CULTIVO DO PINUS. Manejo de plantações de *Pinus taeda* no Brasil. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/10_manejo.htm>. Acesso em: 10 set. 2012.

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** Santa Maria, 2010. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria.

BARUSSO, A. P. **A Determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco.** Curitiba, 1977. 133 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná.

SANQUETTA, C. R.. Manejo. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=257&subject=Manejo&title=Manejo>. Acesso em: 10 ago. 2012.

SANQUETTA, C. R.; MORA, A. L.; BORSATO, R.; VIDAL, M. A. S.; PEIXOTO, A. M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos de *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva-PR. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p. 55-60, 2006.

SANQUETTA, C. R.; REZENDE, A. V.; GAIADA, R.; SCHAAF, L. B.; ZAMPIER, A. C.; ARCE, J. E. Produção de madeira para celulose em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes densidades de plantio e regimes de desbaste. **Revista Cerne**, Lavras, v.10, n.2, p.154-166, 2004.

SCHEEREN, L. W.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento e produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados com desbaste, na região sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v.14, n.2, p. 111-122, 2004.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria: FACOS-UFSM, 64 p. 2006.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/ FATEC, 348 p. 1993.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria: UFSM, 2ed. 566p. 2008.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Determinação de regimes de desbaste para povoamentos de *Pinus elliottii* do planalto ocidental no Estado de Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.4, n.1, p.43-59, 1994.

SCOLFORO J.R.S. **Modelagem e crescimento e produção de florestas plantadas e nativas.** Biometria Florestal. Lavras, UFLA/FAEPE, 443 p. 1998.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 403 p. 1998.

SELLE, G. L.; PAULESKI, D. T.; BRAZ, E. M. **Como classificar sítios florestais através da altura dominante do povoamento**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 46 p. 2008. (Série Documentos EMBRAPA).

SHIMIZU, J. Y. SISTEMAS DE PRODUÇÃO. Cultivo do *Pinus*. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm>. Acesso em: 16 set. 2012.

SPATHELF, P.; NUTTO L. **Modelagem aplicada ao Crescimento e Produção Florestal**. Santa Maria: UFSM, 70 p. 2000.

SUASSUNA, J. A CULTURA DO *PINUS*: uma perspectiva e uma preocupação. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=760&Itemid=376>. Acesso em: 30 abr. 2012.

TOMÉ, M. **Inventariação de recursos florestais**. Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 176 p. 2007.

WOLFF II, N. I. **Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* I**. 2012. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR.