

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO**

**MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA  
PRODUÇÃO DE *Pinus taeda* L.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**NEUMAR IRINEU WOLFF II**

**IRATI  
2012**

**NEUMAR IRINEU WOLFF II**

**MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO DE *Pinus taeda* L.**

Dissertação de Mestrado 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 obtenção do título de Mestre.

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andrea Nogueira Dias

Orientadora

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientador

**IRATI**

**2012**

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

W856m WOLFF II, Neumar Irineu  
Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. /  
Neumar Irineu Wolff II. – Irati, PR : UNICENTRO, 2012.

62f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro -  
Oeste, PR. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais,  
área de concentração em Manejo Florestal  
Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andrea Nogueira Dias  
Coorientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

1. Engenharia Florestal. 2. Análise – tronco. 3. LINTAB. 4. Modelo  
de Clutter. 5. Produção – tabela. I. Dias, Andrea Nogueira. II. Figueiredo  
Filho, Afonso. III. Título.

CDD 20<sup>a</sup> ed. 585.2



# Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1967

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

### PARECER

Defesa Nº 42

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 **Neumar Irineu Wolff II** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "Modelagem de crescimento e da produção de *Pinus taeda* L.", 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, 30 de agosto de 2012.

*Dr.ª Ana Paula Dalla Corte*  
Universidade Federal do Paraná  
Primeira Examinadora

*Dr. Luciano Faria Watzlawick*  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Segundo Examinador

*Dr.ª Andrea Nogueira Dias*  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora

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

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 675 - 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

## AGRADECIMENTOS

A alegria de uma realização deve ser compartilhada, por isto divido essa alegria com todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que este projeto se tornasse realidade.

Agradeço primeiramente à minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andrea Nogueira Dias, por ter prontamente aceito esta árdua tarefa, auxiliando-me muito na elaboração desta dissertação, repassando seus vastos conhecimentos na área de modelagem, corrigindo muitos dos diversos deslizes que cometi e compreendendo as dificuldades que surgiram.

Também quero agradecer imensamente a meu coorientador, Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho, pelos valorosos conhecimentos compartilhados, tanto na área do manejo florestal quanto na análise de tronco, fortalecendo a base deste estudo, sem os quais a pesquisa nem teria sido iniciada.

Também agradeço ao Eng. Florestal Gilson Geronasso, Diretor Técnico da empresa REMASA que forneceu os dados para este estudo, bem como ao Eng. Florestal Edson Serpe e ao Técnico Florestal Luis Maior, que colaboraram com as informações e apoio necessários aos trabalhos de campo.

Agradeço à minha família, minha mãe Vera Lúcia e minha irmã Patrícia, pelas palavras de incentivo sempre proferidas, e em especial a meu pai Neumar e meu irmão André, também meus companheiros de trabalho, por terem me apoiado na decisão de realizar este mestrado, muitas vezes suprindo a minha ausência em compromissos profissionais.

Em especial agradeço à minha filha Giovanna, minha maior fonte de estímulo e orgulho, por quem procuro sempre aprimorar-me e crescer pessoal e profissionalmente, por estar sempre ao meu lado, dispensando o carinho necessário e compreendendo a falta de tempo que tive para dar-lhe a atenção que ela tanto merece.

A todos os professores e colegas do mestrado, em especial aos colegas Rodrigo Otávio de Miranda, Gustavo Pöttker, Felipe Sanches, Maílson Roik, Marilu Bueno, Pedro Brito e Sintia Kohler, pelo companheirismo e apoio nas horas de necessidade.

E por último, ao Grande Arquiteto do Universo, Deus, que em sua suprema sabedoria e vontade permitiu que todas estas maravilhosas pessoas me recebessem, suportassem e auxiliassem para que mais esta etapa de minha longa caminhada rumo ao sucesso fosse superada!

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
3.1. CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>PINUS TAEDA</i> L. E SUA IMPORTÂNCIA NO SETOR FLORESTAL BRASILEIRO .....	4
3.2. DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA .....	7
3.3. DADOS PARA MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO .....	8
3.4. ANÁLISE DE TRONCO .....	9
3.5. MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO.....	12
3.5.1. Crescimento e produção.....	12
3.5.2. Modelos de prognose do crescimento e produção .....	14
3.5.3. Utilização da análise de tronco na modelagem do crescimento e produção .....	16
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
4.1. ÁREA DE ESTUDO .....	17
4.2. FONTES DE DADOS .....	18
4.2.1. Parcelas temporárias e permanentes .....	18
4.2.2. Classificação da capacidade produtiva .....	19
4.2.3. ANATRO .....	20
A) Seleção das árvores para a análise de tronco.....	20
B) Coleta das fatias para a ANATRO .....	21
4.3. ETAPAS DA ANATRO .....	22
4.3.1. Corte e Identificação das fatias.....	22
4.3.2. Secagem dos discos .....	23
4.3.3. Marcação e medição dos anéis .....	24
4.4. ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA.....	27
4.5. PARÂMETROS DA ANATRO POR ÁRVORE E POR UNIDADE DE ÁREA (HECTARE) .....	28
4.6. AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.....	30
4.6.1. Área basal inicial.....	31
4.6.2. Construção das tabelas de produção .....	31

<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
5.1. CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE SÍTIO .....	33
5.2. SELEÇÃO DAS ÁRVORES PARA A ANÁLISE DE TRONCO .....	37
5.2.1. Distribuição diamétrica.....	37
5.2.2. Análise de tronco .....	40
5.3. ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA.....	40
5.4. ESTIMATIVAS DA ÁREA BASAL E VOLUME UNITÁRIO E POR HECTARE .....	41
5.5. AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.....	43
5.5.1. Área basal inicial.....	46
5.5.2. Construção das tabelas de produção .....	50
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>56</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Informações obtidas pelo Florexel para a variável diâmetro .....	26
<b>Tabela 2.</b>	Modelos testados para projetar o crescimento e a produção .....	30
<b>Tabela 3.</b>	Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para <i>Pinus taeda</i> L. na região Centro Sul do Paraná .....	35
<b>Tabela 4.</b>	Estatísticas dos dados em cada classe de sítio usadas para definir as classes de diâmetro (DAP) .....	37
<b>Tabela 5.</b>	Distribuição diamétrica e número de árvores selecionadas para a ANATRO .....	39
<b>Tabela 6.</b>	Parâmetros médios por árvore resultantes da ANATRO – Árvore 1 .....	40
<b>Tabela 7.</b>	Modelos ajustados para estimar o diâmetro com casca e suas estatísticas.....	40
<b>Tabela 8.</b>	Parâmetros médios obtidos por idade para as árvores analisadas na ANATRO .....	42
<b>Tabela 9.</b>	Proporcionalização da sobrevivência e respectivas estimativas por unidade de área para a parcela PLG02T16, ao longo dos anos .....	43
<b>Tabela 10.</b>	Modelos ajustados para estimar o crescimento e produção e suas estatísticas .....	44
<b>Tabela 11.</b>	Produção (m <sup>3</sup> /ha.ano) para três índices de sítio, para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná .....	50, 51



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Carta de localização da área de estudo.....	17
<b>Figura 2.</b>	Identificação da fatia .....	22
<b>Figura 3.</b>	Armazenamento dos discos .....	23
<b>Figura 4.</b>	Fatias dispostas nas bandejas metálicas secando à sombra .....	23
<b>Figura 5.</b>	Discos com uma face lixada e outra não .....	24
<b>Figura 6.</b>	Equipamento LINTAB 6.0 em utilização .....	25
<b>Figura 7.</b>	Exemplo de perfil de crescimento da árvore nº 72 .....	26
<b>Figura 8.</b>	Distribuição de resíduos altura dominante em relação à idade .....	33
<b>Figura 9.</b>	Limite das curvas de sítio para <i>Pinus taeda</i> L. na região centro-sul do Paraná considerando a idade-índice de 15 anos .....	34
<b>Figura 10.</b>	Distribuição da frequência relativa para a classe de Sítio I .....	37
<b>Figura 11.</b>	Distribuição da frequência relativa para a classe de Sítio II .....	37
<b>Figura 12.</b>	Distribuição da frequência relativa para a classe de Sítio III .....	37
<b>Figura 13.</b>	Distribuição de resíduos do diâmetro com casca em relação ao diâmetro sem casca.....	41
<b>Figura 14.</b>	Distribuição de resíduos do diâmetro com casca em relação às variáveis do procedimento <i>Stepwise</i> .....	41
<b>Figura 15.</b>	Distribuição dos resíduos para volume do modelo de Schumacher para o Sítio I.....	42
<b>Figura 16.</b>	Distribuição dos resíduos para volume do modelo de Schumacher para o Sítio II .....	42
<b>Figura 17.</b>	Distribuição dos resíduos para volume do modelo de Schumacher para o Sítio III .....	43
<b>Figura 18.</b>	Distribuição dos resíduos para volume para o modelo $Y = f(I, S)$ .....	43
<b>Figura 19.</b>	Distribuição dos resíduos para a área basal pelo modelo de Clutter .....	43
<b>Figura 20.</b>	Distribuição dos resíduos para o volume pelo modelo de Clutter .....	43
<b>Figura 21.</b>	Gráficos elaborados para verificação do modelo com base nas condicionantes biológicas de I a III do item 5.5.1. ....	48
<b>Figura 22.</b>	Curvas de produção em volume para os três sítios considerados .....	50

<b>Figura 23.</b>	Curvas de produção em área basal para os três sítios considerados .....	50
<b>Figura 24.</b>	Curvas de incremento médio e corrente em volume por sítio .....	51
<b>Figura 25.</b>	Curvas de incremento médio e corrente em área basal por sítio .....	51
<b>Figura 26.</b>	Validação dos resultados – Produção estimada x Produção observada .	53

## LISTA DE SIGLAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

ANATRO – Análise de tronco

Cfb - Subtropical úmido mesotérmico

DAP – Diâmetro à altura do peito

*FSC - Forest Stewardship Council*

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

ICA - Incremento corrente anual

IFC - Inventário florestal contínuo

IMA - Incremento médio anual

IP- Incremento periódico

IPA - Incremento periódico anual

*MDF – Medium density fiberboard*

*n* - unidades

*OSB – Oriented strand board*

$R^2_{ajust}$  - Coeficiente de determinação ajustado

$S_{yx}$  - Erro padrão da estimativa

$S_{yx}^{\%}$ - Erro padrão da estimativa relativo

*TSAP – Time series analysis and presentation*

## RESUMO

Neumar Irineu Wolff II. Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L.

A presente dissertação teve por objetivo realizar o ajuste de modelos matemáticos através de dados obtidos pela análise de tronco completa para gerar as equações que melhor representem o crescimento e a produção futura dos plantios de *Pinus taeda* L. de uma empresa localizada na região Centro Sul do Paraná, e com isto auxiliar no planejamento estratégico de sua gestão florestal. A base de dados é composta por plantios de *Pinus taeda* com espaçamentos iniciais de 3,0 x 3,0 metros, 3,0 x 2,5 metros e 2,5 x 2,5 metros, implantados entre os anos de 1992 a 2005. Inicialmente utilizou-se como parâmetros iniciais os dados provenientes de um recente inventário florestal realizado nos 4594,30 hectares plantados, agrupados em classes de sítio pelo modelo de Schumacher e o método da curva guia. Em cada sítio foi realizada uma estratificação em classes de diâmetro pelo método de Sturges para a seleção das 144 árvores amostradas para a análise de tronco completa. Foram retirados os discos na base e a 1,30 m do solo, e em seções relativas de 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% de sua altura total, que totalizaram 11 fatias por árvore, medidas no equipamento LINTAB, o qual permitiu realizar estas medições rapidamente e com altíssimo grau de precisão, e após isto processadas no *software Florexel*. Foram ajustados dois modelos para a obtenção dos diâmetros com casca nas idades anteriores à coleta. As informações da quantidade de árvores por hectare atual e desbastada ao longo dos anos foram obtidas dos inventários florestais anteriormente feitos pela empresa. Finalmente, estes dados foram utilizados para a realização da modelagem do crescimento e produção, através do ajuste de modelos matemáticos disponíveis na literatura para a modelagem em nível de povoamento. O ajuste dos modelos foi realizado avaliando-se o Coeficiente de Determinação Ajustado e o Erro Padrão de Estimativa, além dos gráficos de distribuição de resíduos. O modelo de Clutter (1963) foi o que resultou melhores projeções da área basal e do volume para a plantação estudada. Os resultados obtidos demonstraram que a análise de tronco completa pode ser considerada uma ferramenta apropriada para a modelagem do crescimento e produção.

Palavras chave: Análise de tronco, LINTAB, modelo de Clutter, tabelas de produção.

## ABSTRACT

Neumar Irineu Wolff II. Modeling of growth and yield of *Pinus taeda* L

The present dissertation aimed to adjust mathematical models from complete stem analysis data to obtain the equations that best represents the growth and future production of a *Pinus taeda* L. plantation of a company located in the Southern region of Parana State, and with this assist on the strategic planning of their forest management. The database is composed by a *Pinus taeda* plantation with initial spacing of 3.0 x 3.0 m, 2.5 x 3.0 m and 2.5 x 2.5 m, established between the years 1992 to 2005. To achieve the aim, it was used as initial parameters data from a recent forest inventory conducted in 4594.30 hectares, grouped in site classes by Schumacher model and the guide curve method. At each site we conducted stratification in diameter classes by Sturges method for the selection of the 144 trees to be sampled for the complete stem analysis technique. The disks were removed from the base and at 1.30 m from the ground, and in relative sections with 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% and 95% of its total height, totaling 11 disks per tree, measured in the LINTAB equipment, which helped achieve these measurements quickly and with high degree of accuracy, and after that processed using Florexel software. Two models were adjusted to obtain the diameters with bark at ages prior to sampling. The information on the actual amount of trees per hectare and harvested by thinning along the years were obtained from previously forests inventories made by the company. Finally, these data were used to carry out the modeling of growth and yield by adjusting some of the mathematical models available in the literature for stand-level modeling. The adjustment of these models was performed by evaluating the Adjusted Coefficient of Determination and the Estimate Standard Error, beyond the individual distribution of residual graphs. The Clutter model (1963) had the best resulting projections of basal area and volume for the studied plantation. The results showed that the complete stem analysis may be considered as a suitable tool to modeling the growth and yield.

Key words: Stem analysis, LINTAB, Clutter model, production table

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, empresas do setor florestal e profissionais liberais cada vez mais optam por plantios com espécies exóticas de rápido crescimento como uma alternativa de investimento. Várias espécies são cultivadas para diferentes propósitos, visando atender à demanda de diversos produtos florestais, que antes eram obtidos a partir de madeira proveniente de florestas nativas.

Dentre as diversas espécies usualmente plantadas na região Sul do Brasil, merece destaque as do gênero *Pinus*, e particularmente a espécie *Pinus taeda* L., que reúne uma série de características desejáveis em seu plantio, manejo e utilização futura da madeira, dentre as quais podemos destacar a rusticidade, rápido crescimento, resistência a geadas e múltiplos usos de sua madeira (SCHIMIZU, 2010).

Todas estas características direcionam a possibilidades de usos diversos, e por isto torna-se necessária a utilização de instrumentos que auxiliem o manejador florestal na quantificação e condução do povoamento florestal. Conforme Campos e Leite (2009), a quantificação da produção das florestas de rápido crescimento, que utiliza para isto informações obtidas de quatro fontes de dados distintas: parcelas permanentes, parcelas temporárias, delineamentos experimentais e análise de tronco.

Campos e Leite (2009) citaram que as parcelas permanentes de inventário florestal constituem-se na mais eficiente fonte de dados para este estudo, porém este é um procedimento oneroso por necessitar de diversas remedições anuais. Já as parcelas temporárias e delineamentos experimentais, apesar de serem utilizados em projeções de crescimento, possuem muitas limitações para este tipo de estudo, por não detectarem exatamente as diferenças de crescimento ocorridas de um ano para outro ou não abrangerem todas as variáveis envolvidas na modelagem, como a altura dominante e o sítio por exemplo.

Uma alternativa é a utilização da análise de tronco, visando estudar o crescimento e a produção do povoamento. Esta técnica também possui algumas limitações, como não garantir a medição da mortalidade, não contabilizar o efeito de tratamentos artificiais, como o desbaste, e só se aplicar a espécies onde existe a formação anual dos anéis de crescimento. Porém, se contornadas estas dificuldades, a ANATRO como também é conhecida, pode se constituir numa importante ferramenta para o estudo da produção futura de um plantio, pois com a seleção de apenas algumas

árvores representativas do povoamento, consegue-se obter uma extensa base de dados referente a toda a vida da árvore, reconstituindo todo o seu crescimento ao longo dos anos, de uma maneira rápida e com um custo significativamente menor do que quando comparado a um inventário florestal contínuo.

Uma das ferramentas empregadas no estudo do crescimento e produção dos povoamentos é a utilização de modelos matemáticos que permitem obter estimativas para diversas variáveis da floresta, possuindo grande importância na modelagem do crescimento e da produção florestal.

Os modelos utilizados na área florestal podem ser classificados em três categorias, segundo Clutter *et al.* (1983): (1) sistema de produção explícita, em que, as soluções das equações (ou equação) fornecem estimativas do volume por unidade de área; (2) sistemas de produção implícita, ou modelos de distribuição diamétrica, que fornecem informações mais detalhadas do povoamento; e (3) modelos de árvores individuais, de uso mais recente e metodologia ainda em desenvolvimento. Os modelos em nível de povoamento são atualmente os mais utilizados pelas empresas florestais que cultivam espécies exóticas de rápido crescimento, destacando-se o modelo de Clutter.

Diante do exposto, nota-se a importância de estudos visando avaliar o desempenho da utilização de dados oriundos de análise de tronco completa como base para a modelagem do crescimento e da produção de povoamentos florestais.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Modelar o crescimento e a produção em nível de povoamento para *Pinus taeda* L. através de dados provenientes da análise de tronco completa (ANATRO) localizados na região Centro Sul do estado do Paraná.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recompor o crescimento passado utilizando as técnicas de análise de tronco disponibilizadas pelo equipamento LINTAB e os *softwares* TSAP e *Florexel*;
- Construir curvas de sítio através do método da curva guia;
- Ajustar modelos globais de crescimento e da produção utilizando dados obtidos com a ANATRO;
- Construir tabelas de produção a partir de dados de ANATRO;
- Avaliar a eficiência da técnica da ANATRO para a obtenção de estimativas confiáveis para a predição do crescimento e da produção de um povoamento de *Pinus taeda* L.



### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *PINUS TAEDA* L. E SUA IMPORTÂNCIA NO SETOR FLORESTAL BRASILEIRO

O *Pinus taeda* L. é oriundo das planícies adjacentes ao Golfo do México e da Costa Atlântica ao Sudeste dos Estados Unidos e, em geral, cresce em locais com altitude de até 800 m, sendo a espécie madeireira mais importante dos Estados Unidos (MARCHIORI, 1996). É a espécie mais abundante, amplamente adaptada e distribuída do sul dos Estados Unidos. Sua ocorrência se estende ao longo da Costa Atlântica de Maryland até a Flórida, no leste, e do Texas e Oklahoma no oeste (DORMAN, 1976 *apud* DUDA, 2003).

No Sul do Brasil é cultivado sobretudo nas terras mais altas da Serra Gaúcha e do Planalto Catarinense (KRONKA *et al.*, 2005). A sua madeira é indicada principalmente para construções, móveis e caixotaria. Os traqueídeos são longos e adequados à fabricação de papel. Além disso, essa espécie pode também ser explorada para a produção de resina (MARCHIORI, 1996).

Esta espécie é conhecida por reunir uma série de características desejáveis em seu plantio, manejo e utilização futura da madeira, dentre as quais podemos destacar (SCHIMIZU, 2010):

- Rusticidade, o que garante um baixo investimento inicial, por não exigir um solo muito fértil e nem uma adubação inicial, e mesmo assim apresentando baixos índices de mortalidade inicial e pouca concorrência com espécies daninhas diversas, e ainda uma baixa suscetibilidade a pragas e doenças;
- Rápido crescimento, pois comparando a sua produtividade com sua região de origem, ou outras espécies coníferas similares nativas, como o Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*) apresenta quase o dobro da sua produção anual;
- Resistência a geadas, muito frequentes e severas na região sul do Brasil, que acabam dizimando povoamentos inteiros adultos de espécies mais suscetíveis;
- Múltiplos usos de sua madeira, a qual pode ser utilizada na geração de energia, fabricação de celulose, produção de madeira serrada, chapas de fibras e

partículas como MDF, OSB, e aglomerados, chapas de madeira laminada (compensados) e faqueados, entre outros.

As florestas plantadas com o gênero *Pinus* no sul do Brasil foram estruturadas a partir dos incentivos fiscais oferecidos pelo governo, nos anos de 1960 e 1970 até 1987. Siqueira (2003) relatou que a criação do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF em 1967 surgiu da necessidade crescente de regulamentação do Setor Florestal, sendo uma das principais responsabilidades do novo órgão o gerenciamento do programa de incentivos fiscais para o reflorestamento, instituído pela Lei 5.106, de 1966. Seu principal objetivo era a formação de uma base de matéria prima florestal com um produto de rápido crescimento e que pudesse reduzir a pressão sobre as espécies florestais nativas, cada vez mais cobiçadas e exploradas indiscriminadamente.

Estes incentivos acabaram por alavancar a oferta de toras desta madeira e o consequente consumo nas mais variadas utilizações, tais como papel e celulose, madeira serrada, laminada, entre outras, representando uma importante alternativa para a produção de matéria-prima da indústria florestal brasileira. Alves *et al.* (2006) afirmaram que as áreas reflorestadas com o gênero *Pinus* no Brasil ocupavam à época uma área de 1,8 milhão de hectares, representando cerca 38,6% das plantações existentes no país. Dados mais recentes, porém apontam para uma área total plantada de 1.641.892 hectares em 2011, com um percentual de 25,2% do total das florestas plantadas, valor abaixo daquele constatado há cerca de cinco anos atrás, que corroboram com a tendência de redução da área plantada de *Pinus* em prol da substituição por plantios de *Eucalyptus*, que visam resultados mais imediatos (ABRAF, 2012). Ainda segundo esta mesma publicação, os tributos arrecadados pelos segmentos associados às florestas plantadas no Brasil corresponderam a 7,6 bilhões de reais em 2011, o que representa 0,51 % da arrecadação nacional.

Gonçalves (2004) afirmou que as condições climáticas da região Sul do Brasil são favoráveis ao cultivo de *Pinus taeda*, contribuindo para que o desenvolvimento da formação da floresta seja mais rápido do que no Canadá e Estados Unidos. Isto significa que, com cerca de 25 anos, consegue-se realizar um ciclo completo desta cultura com obtenção de madeira para fins mais nobres como, por exemplo, a laminação.

O sistema de manejo mais empregado atualmente visa à produção de madeira para múltiplos usos, geralmente priorizando a produção de toras de grandes dimensões para emprego em processamento mecânico (serraria e laminação). Em regiões em que

há mercado para madeira fina, geralmente o material excedente (ponteiras e árvores finas ou de baixa qualidade, produzidas principalmente no primeiro desbaste) é fornecido às unidades fabris ou trocado por madeira grossa. Espaçamentos mais amplos geralmente são adotados, como 2,5 m x 2,5 m, 2,7 m x 2,7 m, 2,8 m x 2,8 m, até 3,0 m x 3,0 m. Dada a necessidade de madeira de qualidade, podas são requeridas para a obtenção da madeira livre de nós, normalmente uma nas idades de 3 a 4 anos em todas as árvores, e outra aos 7 ou 8 anos simultaneamente com o primeiro desbaste (somente nas árvores remanescentes). As podas são geralmente realizadas retirando-se os galhos até a 50% da altura da copa verde (SANQUETTA, 2002).

Porém, a rotação tem diminuído ainda mais nos últimos tempos, devido à valorização atual da madeira de pequenos diâmetros, visando seu uso nos setores de energia, papel e celulose e processamento da madeira. Isto ocorreu devido a diversos fatores, e entre eles pode-se citar o crescimento do setor de siderurgia, grande consumidor de carvão vegetal; o aumento de produção das empresas papeleiras ávidas na disputa dos mercados nacionais e internacionais e que cada vez mais buscam por matéria prima, seja pelo aumento de sua própria área plantada ou mesmo por meio de programas de fomento; e o salto na produção de chapas de fibras de madeira, em especial o MDF, hoje largamente utilizado na indústria moveleira (FONTES, 1994).

Serrano (2008) citou que a indústria de papel e celulose registrou em 2006 resultados significativos em seu desempenho produtivo, onde a produção de celulose alcançou 10,8 milhões de toneladas, e a de papel atingiu quase 10 milhões de toneladas. Este resultado indicou um consumo *per capita* anual de aproximadamente 39,5 kg/habitante. Diante destes números, o incremento da produção brasileira de celulose e papel no período de 1970 a 2007, segundo dados obtidos pelo autor junto à Bracelpa, demonstram um crescimento médio anual da produção celulose e papel em torno de 7,6% e 5,8%, respectivamente.

Este fator, aliado à dificuldade cada vez maior em se obter novas áreas limpas para plantios florestais, levou boa parte dos produtores a optar pela concentração de um maior número de árvores por unidade de área, o que acaba por favorecendo a produção de árvores com troncos de menores diâmetros (SANQUETTA, 2002).

### 3.2. DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA

Em trabalhos de projeção de crescimento é imprescindível a correta determinação da capacidade produtiva do local, a qual segundo Campos e Leite (2009) pode ser definida como o potencial para a produção de madeira de um determinado local para determinada espécie, podendo ser expressa empiricamente ou por meio de algum índice quantitativo, como o índice de local.

Scolforo (1993) citou que o sítio é considerado a segunda variável independente nos estudos de crescimento e produção, somente atrás da idade, sendo sua determinação uma prática comum no manejo florestal para classificar os povoamentos equiâneos segundo sua capacidade produtiva.

Em geral, a classificação da capacidade produtiva no Brasil é baseada na relação da altura dominante e idade, representada pela média aritmética das alturas das 100 árvores com maior diâmetro por hectare (ASSMAN, 1961).

As curvas de índice de sítio constituem-se atualmente no método mais prático e difundido para classificar a produtividade florestal, uma vez que utilizam uma variável (altura dominante) que é a resposta aos fatores ambientais inter-relacionados, sendo altamente correlacionada com a produção volumétrica, e não sofrendo a influência dos tratamentos silviculturais e da competição (TONINI, 2002).

Schneider e Schneider (2008) citaram que a densidade do povoamento é outro fator em importância para a determinação da produtividade de um local, sendo, no entanto, um fator que o silvicultor pode manejar durante o seu desenvolvimento.

Ferraz Filho (2009) citou que o modelo de sítio é considerado a chave para todo sistema de prognose, tendo em vista que é por meio dele que se poderão separar as áreas em diferentes classes de produtividade e, assim identificar diferentes tendências de crescimento.

As curvas de índice de sítio, porém, normalmente são utilizadas com propósito ilustrativo (CAMPOS e LEITE, 2009). Estes autores ainda citaram que uma forma mais precisa e eficiente de classificação consiste no emprego de uma tabela contendo os limites de alturas dominantes para cada sítio ou classe de capacidade produtiva.

A escolha das árvores representativas é outro ponto de suma importância na avaliação da capacidade produtiva. Segundo Daniel e Yared (1987), se a intenção for a classificação de sítios o recomendável é que sejam avaliadas árvores dominantes, uma vez que essas não são influenciadas por eventuais desbastes realizados.

### 3.3. DADOS PARA MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), a maioria dos trabalhos de mensuração florestal é feita por amostragem. Com a tomada de um conjunto de amostras, porção da população que é efetivamente mensurada, obtêm-se os estimadores. Vários processos de amostragem tratam da forma de abordagem da população sobre o conjunto de unidades amostrais, divididos em aleatórios, sistemáticos ou mistos.

Na amostragem aleatória ou casual, todas as unidades amostrais são sorteadas segundo critérios probabilísticos (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997), e todas as  $n$  unidades da população têm as mesmas chances de serem selecionadas. Na amostragem sistemática, a seleção das amostras segue um esquema rígido de seleção, cobrindo toda a extensão da população (SOARES *et al.*, 2006), e somente a primeira é selecionada aleatoriamente, a partir da qual todas as demais são automaticamente selecionadas e distribuídas na população em estudo. Outro processo é o misto, com mais de um ponto aleatório e sequência sistemática de seleção (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Porém, enquanto em inventários florestais o primeiro objetivo é estimar a média, em estudos de crescimento e produção o objetivo é estimar coeficientes de regressão (CAMPOS e LEITE, 2009).

De acordo com Campos e Leite (2009), as parcelas permanentes constituem a fonte de dados mais eficiente para a construção de modelos de crescimento e produção. No entanto, se as parcelas não forem representativas da população em foco, a estimativa do crescimento pode ser tendenciosa. Ainda conforme estes autores, quando as parcelas permanentes são oriundas de um inventário florestal contínuo, o crescimento é monitorado pela remedição de uma rede de parcelas estabelecidas em diferentes tipos de povoamentos florestais. A remedição constante das mesmas árvores permite, após certo período de tempo, obter informações detalhadas do desenvolvimento do povoamento.

Já as parcelas temporárias e os delineamentos experimentais são pouco eficientes para fins de estudos de modelagem, por não detectarem exatamente as diferenças de crescimento (CAMPOS e LEITE, 2009).

### 3.4. ANÁLISE DE TRONCO

Segundo Daniel e Yared (1987), o crescimento de uma floresta ou de povoamento florestal pode ser conhecido a partir de medições periódicas ou por meio da análise de tronco (ANATRO), para aquelas espécies que possuem anéis de crescimento visíveis.

Estes anéis são formados pelo lenho inicial (primaveril), que é o crescimento no período de alta atividade fisiológica e rápido crescimento, caracterizado anatomicamente pela redução das paredes das traqueídes, e visualmente pela coloração clara da madeira; e o lenho tardio (outonal), que ocorre com a redução do crescimento da árvore, identificado a olho nu pela coloração marrom escura nas coníferas. Nesta fase, as paredes das traqueídes são espessas e seu lume reduzido, com massa específica maior em relação ao lenho inicial (FERREIRA, 2009).

Esta é uma técnica que possibilita o registro do crescimento de uma árvore pela medição dos seus anéis de crescimento (HUSCH *et al.*, 1982), podendo ser completa ou parcial. No primeiro caso a árvore é abatida e dela retirado um determinado número de fatias ao longo do tronco. Quando a árvore não for abatida, retirando-se apenas um rolo de incremento trata-se da análise de tronco parcial (FINGER, 1992). A ANATRO considera cada ano de crescimento como uma árvore individual, permitindo a obtenção de um extenso conjunto de dados apropriados para ajustes de equações de volume, o que implica numa redução dos custos de obtenção de dados comparativamente ao inventário florestal (THOMAS *et al.*, 2006).

Segundo Campos e Leite (2009) esta técnica pode ser empregada preferencialmente em árvores nas quais os anéis de crescimento são visíveis, como nas coníferas, e seus dados devem ser coletados de preferência no inverno, quando ocorre um menor crescimento vegetativo, contribuindo para diminuir eventuais erros de não amostragem. Ele também cita que os valores obtidos podem, até certo ponto, substituir o emprego de parcelas permanentes como fonte de dados para estudos de crescimento e produção florestal.

Uma das limitações da análise de tronco para seu uso em prognose da produção é a dificuldade de computar possíveis desbastes, além da mortalidade das árvores, ocorridos em idades anteriores à amostragem (CAMPOS e LEITE, 2009). Estes autores ainda comentam que o volume observado com casca ou sem casca pode ser calculado diretamente com a fórmula de Smalian, porém nos anos anteriores só podem ser obtidos

na versão sem casca, tornando necessário o emprego de uma equação para esta estimativa.

A análise de tronco completa inicia com a determinação das árvores a serem amostradas, que devem ser representativas da população (FINGER, 1992). Pode-se, ainda, obter amostras que representem toda a distribuição diamétrica (SPURR, 1952). Ela deve ser precedida da definição dos critérios para seleção das árvores.

#### **3.4.1. Retirada das fatias**

Na ANATRO, as alturas para retirada das fatias a 0,0 e 1,3 metro são consideradas imprescindíveis, porque na base (0,0 m) define-se a idade real e o maior diâmetro da árvore e na altura de 1,30 m permite-se obter dados sobre a dinâmica de DAP, área transversal e fator de forma.

Além disso, é necessário retirar fatias intermediárias com o objetivo de detectar as mudanças na base da árvore. As demais fatias são cortadas entre os nós, para evitar interferência destes nas medições dos anéis (FINGER, 1992). Munhoz (2011) coletou fatias na base, no DAP, e a cada 1,5 metro para estudar a produtividade florestal e padrões de crescimento de *Pinus taeda* no sul do Brasil através de análise de tronco. Já Thomas *et al.* (2006) retiraram as fatias nas posições fixas de 0,30 m, 0,80 m, DAP, e partindo desta, a cada metro.

Previamente à derrubada faz-se uma marcação no fuste à altura do DAP (1,30 m). Após o abate, faz-se o desganhamento e fixa-se a trena, fazendo coincidir 1,30 m com a marcação no fuste. Em seguida, procede-se à marcação dos pontos de corte das seções (BARUSSO, 1977), o qual recomendou retirar as fatias a 0,0 m, 0,3 m, 1,0 m, 1,3 m e as demais entre os nós.

#### **3.4.2. Medição dos raios**

A marcação dos anéis é feita sobre raios traçados manualmente com auxílio de uma régua e lápis a partir da medula em direção à casca, onde as medidas permitem uma estimativa dos incrementos anuais (FINGER, 1992).

A escolha do número de raios a serem medidos, bem como a sua disposição nas fatias varia em relação a cada autor (ROSOT, 2002). Husch *et al.* (1982) recomendaram a medição de apenas um raio médio de cada seção. Depois de selecionado o raio, uma

linha é traçada com o auxílio de um lápis e régua do centro da árvore à extremidade; a contagem dos anéis é feita no sentido da medula para a casca e as medições dos raios são no sentido da casca para a medula, sendo registradas as distâncias do centro da seção até os limites dos anéis.

### **3.4.3. Metodologias digitais para análise de tronco**

Com a evolução dos equipamentos eletrônicos, o uso de imagens digitais está sendo difundido em vários setores da ciência. Na análise de tronco completa, a sua utilização pode eliminar a fase de transporte do material ao laboratório, a secagem e a preparação das fatias para medição, tornando o método mais ágil (ROSOT, 2002). No trabalho de Rosot (2002), a autora propôs analisar e comparar procedimentos de obtenção de área transversal para análise de tronco, usando técnicas fotográficas e processamento digital de imagens, estabelecendo uma metodologia para efetuar mapeamento de seção transversal em ambiente de geoprocessamento, associando informações gráficas e alfanuméricas de anéis de crescimento.

Outro avanço importante da tecnologia pode ser notado no processo de medição dos anéis, mostrando a tendência da adoção de sistemas que possuam interface eletrônica com microcomputadores, que funcionam como gravador e editor de dados (ROSOT, 2002), ou ainda equipamentos específicos como o LINTAB. Santos (2006), Koehler (2009), Thomas *et al.* (2006) e Hess *et al.* (2009) foram alguns dos autores que utilizaram este equipamento em seus estudos para a obtenção dos dados das fatias de ANATRO.



### 3.5. MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO

#### 3.5.1. Crescimento e produção

Segundo Scolforo (1993), o crescimento de uma árvore ou de um povoamento é o mais importante fenômeno na floresta, e consiste no alongamento e engrossamento das raízes, troncos e galhos, influenciando seu peso, volume e forma.

Os termos crescimento, incremento e produção florestal definem diferentes aspectos da dinâmica de desenvolvimento de uma árvore ou de uma floresta. O crescimento refere-se à mudança dimensional da variável de interesse (altura, diâmetro) de uma árvore. A diferença numérica entre estas medições expressa o crescimento (KOEHLER, 2009). Já o incremento refere-se ao que cresce em uma árvore em um determinado período sucessivo de tempo. Portanto, medidas sucessivas são necessárias para obter-se tal valor, considerando a mudança de tamanho no início e no fim do período analisado. Por sua vez, a produção de uma floresta é o resultado do crescimento da árvore em tamanho, peso e volume (KOEHLER, 2009).

Desta forma, resultam os termos mais usuais em relação ao crescimento florestal: incremento corrente anual (ICA), incremento médio anual (IMA), incremento periódico (IP) e incremento periódico anual (IPA) (CAMPOS e LEITE, 2009). Estes autores também citaram que a função de crescimento é obtida ao se derivar a função de produção, e a integral da função de crescimento gera a função de produção. A curva de crescimento e produção tem quatro elementos básicos: origem igual a zero, um ponto de inflexão, um ponto de máxima tangência e uma assíntota, descrevendo uma forma sigmóide com esses quatro elementos (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

O crescimento é comumente expresso em termos de unidades de volume, que são mais fáceis de medir e certamente as mais demandadas. No entanto, o manejo objetivando simplesmente a produção em volume, muitas vezes, não é suficiente, pois as condições de crescimento podem afetar profundamente as propriedades físicas e químicas da madeira e, conseqüentemente, a sua utilização para vários usos. A mensuração do crescimento em termos de unidade de volume é o primeiro e imediato problema, sendo a transformação em unidade de valor o passo final necessário (DAVIS, 1966). O mesmo autor ainda comentou que a qualidade do sítio determina a quantidade de madeira que uma área pode produzir, e o estoque florestal mede a extensão em que a

capacidade produtiva de um sítio florestal está sendo utilizada no crescimento das árvores em um determinado momento.

Para se avaliar a produtividade futura de um povoamento, é necessário conhecer o seu crescimento. Segundo Caraglio e Barthelemy (2003), o crescimento de uma árvore pode ser considerado de diversas maneiras, em função do tipo de órgão ou do nível de organização considerado. Estudos florestais geralmente consideram o crescimento do tronco, avaliando-se, muitas vezes em conjunto, o crescimento primário (altura) e o crescimento secundário (diâmetro).

Existem inúmeros modelos de crescimento e produção encontrados usualmente na literatura, variando desde simples equações que expressam a produção por unidade de área em função da idade, sítio e densidade do povoamento, até complexos sistemas de equações que simulam o crescimento individual das árvores de um povoamento, em função de suas próprias características e de árvores vizinhas, inclusive considerando a distância entre estas (CLUTTER *et al.*, 1983).

Schneider e Schneider (2008) afirmaram que, excluindo os valores extremos de densidade no longo prazo, o incremento total em volume não varia muito em diferentes níveis de densidade, confirmando a prerrogativa de que o espaçamento inicial de um plantio não influencia na produção total de madeira.

A quantificação do crescimento e da produção consiste em uma condição essencial para definir a utilização dos bens advindos da floresta, além de fornecer informações que subsidiam a tomada de decisões para a maioria das atividades ligadas ao setor (ABREU, 2000).

Mainardi *et al.* (1996) afirmaram que as empresas que possuem plantações florestais estão a todo o momento atentas às diferentes mudanças de tendência do mercado consumidor, e conseqüentemente efetuando cálculos variados e prognoses relacionadas à quantidade e qualidade de madeira que possuem ou virão a possuir em suas florestas.

De posse de todos estes conhecimentos, os empresários do setor florestal brasileiro devem estar sempre buscando novas técnicas capazes de permitir a obtenção de vários dos diferentes produtos oriundos da madeira, em quantidade suficiente, mas, sobretudo com a qualidade necessária para atender às necessidades do mercado a médio e longo prazo. Nesse contexto, é de grande importância a utilização de um planejamento florestal adequado e ordenado para que os povoamentos florestais possam ser utilizados dentro de sua máxima capacidade produtiva (TEMPS, 2005).

Ainda Acerbi *et al.* (2002) consideram que, para as empresas do setor florestal brasileiro vislumbrarem as promissoras perspectivas de médio e longo prazos para o mercado mundial de produtos florestais, é imprescindível que exista um planejamento criterioso da produção, ou seja, é necessária a adoção de regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, e que visem prioritariamente a qualidade do produto final.

### **3.5.2. Modelos de prognose do crescimento e produção**

A compreensão e a predição do crescimento das árvores em um povoamento florestal vêm sendo tema de grande interesse por profissionais que atuam na pesquisa e na gestão dos recursos florestais. Para esses, a modelagem vem se constituindo em uma ferramenta de grande valia, pois pode sintetizar conhecimentos, identificar gargalos e fronteiras a serem rompidas, e projetar o crescimento florestal através de funções probabilísticas, matrizes de transição e processos de difusão (MAESTRI *et al.*, 2003).

A produção total é representada pela produção acumulada dos desbastes, quando houver, mais a produção que existe no povoamento numa determinada idade. Ela pode ser ajustada como sendo uma função da idade, altura dominante e/ou altura da árvore de área basal média, como utilizaram inúmeros autores (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Em mensuração florestal, um modelo de crescimento e produção pode ser representado por um ou mais modelos estatísticos, uma ou mais equações, uma ou mais tabelas ou gráficos, ou, ainda, um conjunto de equações, tabelas e gráficos (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 1993).

Já um modelo de crescimento é considerado uma abstração da dinâmica natural da floresta, e pode abranger crescimento, mortalidade e outras mudanças na composição e estrutura do povoamento (VANCLAY, 1999). A definição de modelos de crescimento segundo Vanclay (1999) refere-se a um sistema de equações que podem prever o crescimento e a produção do povoamento total sob uma grande variedade de condições. Assim, o modelo de crescimento abrange um conjunto de equações matemáticas.

Segundo Oliveira (2007), uma metodologia para construir um modelo de crescimento e produção envolve a definição do problema, a obtenção de dados, a construção do modelo matemático, a aplicação de testes de validação do modelo e sua

aplicação. Este autor ainda citou que a maioria dos modelos de crescimento e produção ajustados a partir da década de 1980 até 2007, foram modelos compatíveis, do tipo povoamento total e de densidade variável. Os modelos compatíveis baseiam-se na premissa de que existe uma relação de derivação-integração entre as funções de crescimento e funções de produção para área basal e para volume do povoamento (SULIVAN e CLUTTER, 1972).

Segundo Campos e Leite (2009), os modelos de crescimento e produção em nível de povoamento podem ser divididos em modelos do tipo normal, os mais antigos e aplicados a povoamentos estocados e que são baseados unicamente em função da idade, e modelos de densidade variável, que incluem a variável densidade como uma parte dinâmica do sistema de equações.

Muitos trabalhos atuais utilizaram modelos do tipo global, dentre os quais pode-se citar Castro (2007) que empregou a função logística para estimar os coeficientes de produção em um modelo de regulação florestal com restrições de adjacência. Dias *et al.* (2005) empregaram o modelo de Clutter para avaliar economicamente diferentes modalidades de cenários considerando as variações de idade e intensidades de desbaste, índice de local, taxas de juros, preços de madeira e idades de corte final. Rodrigues (1997) empregou o modelo para obter as estimativas dos coeficientes de um modelo de planejamento florestal. Brito *et al.* (2007) avaliaram diferentes combinações e adaptações dos modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey para estimar a produção da leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit].

Campos e Leite (2009) mencionam que o modelo de povoamento total desenvolvido por Clutter (1963) tem como características principais ser do tipo povoamento total, de densidade variável, explícito, e com características de compatibilidade e consistência. Este sistema de equações simultâneas tem como variáveis endógenas o volume e a área basal, e como variáveis exógenas a idade e o índice de local, além de três variáveis transformadas (DIAS, 2005).

Tendo a necessidade de incorporar a densidade como uma variável independente, surgiram as tabelas de produção de densidade variável, que mostram a produção em diversos níveis de densidade (HUSCH *et al.*, 1982). Rosot *et al.* (1993) afirmaram que as tabelas de produção são importantes para elaborar planos de manejo e podem ser utilizadas para estimar a produtividade de povoamentos que apresentam características semelhantes.

### **3.5.3. Utilização da análise de tronco na modelagem do crescimento e produção**

A análise de tronco, seja ela parcial ou completa, tem sido empregada em trabalhos de modelagem do crescimento e produção principalmente na determinação da capacidade produtiva do local, e sua consequente subdivisão em sítios florestais para diversas espécies florestais, conforme pode ser observado nos trabalhos de Selle (1994), Dacosta (2008), Novaes (2009), Coelho (2010) e Santos (2006).

Elesbão (2008) utilizou dados de ANATRO para o estudo do crescimento de árvores de *Pinus taeda* no município de Canela, no Estado do Rio Grande do Sul. Drescher (2004) utilizou dados de análise de tronco para estudar o crescimento das variáveis dendrométricas de povoamentos jovens de Teca (*Tectona grandis*) em duas regiões do Estado de Mato Grosso do Sul. Hess (2010) trabalhou com *Araucaria angustifolia* em três regiões fitogeográficas do Estado do Rio Grande do Sul, visando conhecer o crescimento em volume em função da idade através da análise de tronco completa. Sanquetta *et al.* (2010) construíram curvas de crescimento para a espécie canela amarela (*Nectandra grandiflora*) no município de São João do Triunfo, região centro sul do Estado do Paraná por meio de dados obtidos através da análise de tronco.

Novaes (2009) utilizou dados da análise de tronco completa em Teca (*Tectona grandis*) para a classificação da capacidade produtiva, e dados da análise parcial de tronco para a modelagem do crescimento e da produção. Munhoz (2011) também utilizou a análise completa de tronco para a caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda*.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na REMASA REFLORESTADORA LTDA, cuja sede está localizada no município de Bituruna, região Centro-Sul do estado do Paraná (Figura 1), e que atualmente possui cerca de 5.000 hectares plantados em diferentes fazendas, a grande maioria com *Pinus* sp e um pequeno percentual de *Eucalyptus* sp, com idades variando entre 1 a 30 anos.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é o subtropical úmido mesotérmico (Cfb) com média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca, verão brando e geadas severas e frequentes. As altitudes variam entre 900 a 1.100 metros, e a topografia é fortemente ondulada a montanhosa. Os solos nesta região apresentam textura argilosa e forte declividade (MAACK, 1981).

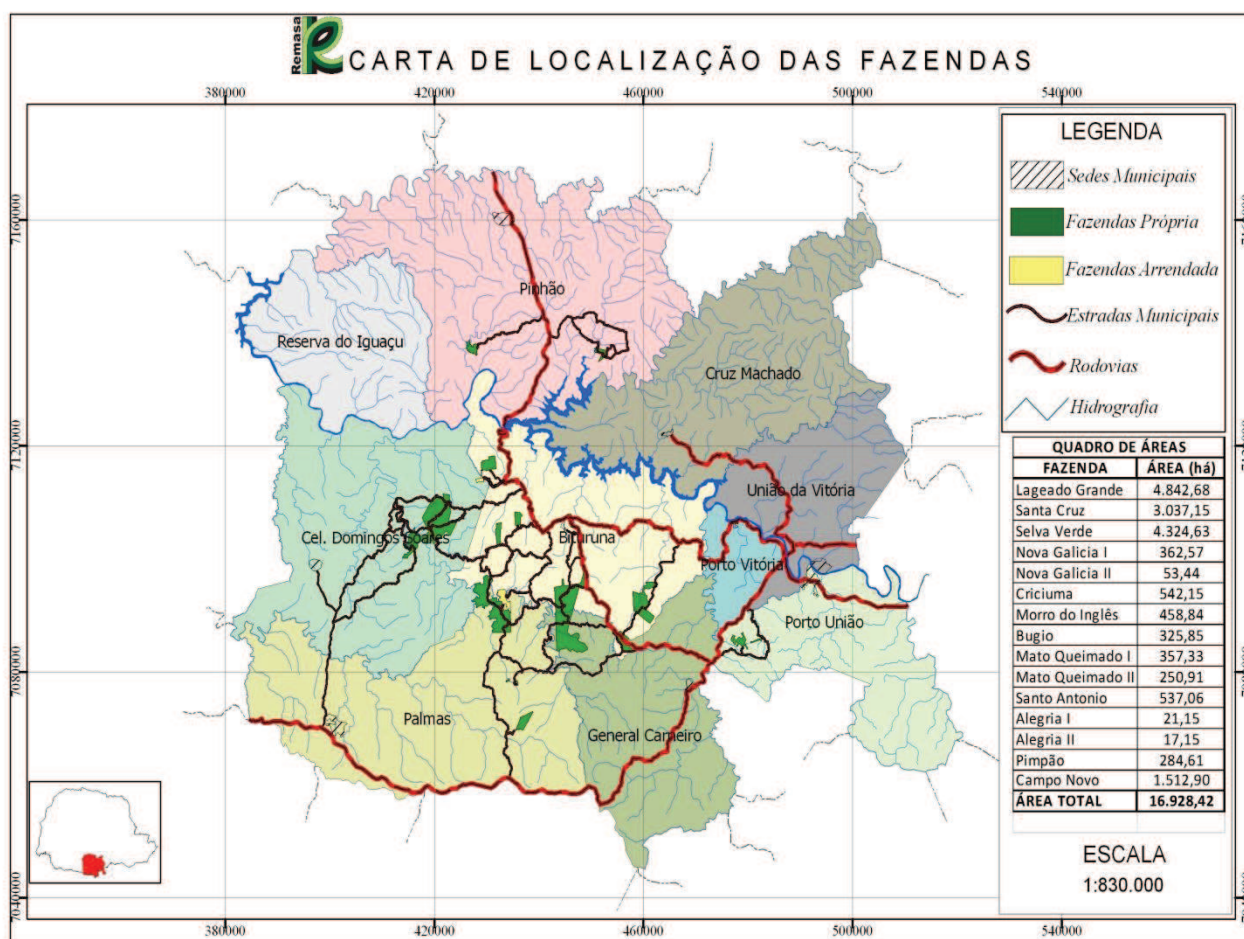


Figura 1: Carta de localização da área de estudo.



É uma empresa do ramo florestal voltada hoje exclusivamente para a produção e posterior venda de madeira em toras. Seu regime de manejo atual possui o objetivo final de produzir toras de grandes dimensões e múltiplos usos, e por isto trabalha com espaçamento iniciais maiores, tratos culturais frequentes, com a realização de apenas uma poda com a altura de 3 metros, e prevendo a realização futura de dois desbastes, nas idades aproximadas de 10 e 15 anos. A Empresa REMASA é certificada pelo *Forest Stewardship Council (FSC)* e possui o mapeamento georreferenciado atualizado de seus imóveis e reflorestamentos em meio digital, ferramenta de grande valia no seu planejamento estratégico.

## **4.2. FONTES DE DADOS**

### **4.2.1. Parcelas temporárias e permanentes**

Os dados empregados são provenientes de povoamentos florestais pertencentes à empresa, localizados nos municípios de Bituruna, Palmas e General Carneiro, localizados na região Centro Sul do estado do Paraná, compostos exclusivamente pela espécie *Pinus taeda*, implantados entre os anos de 1992 a 2005, com espaçamentos iniciais com 3,0 x 3,0 metros, 3,0 x 2,5 metros e 2,5 x 2,5 metros.

No ano de 2010, a empresa realizou a instalação e primeira medição de 1225 unidades amostrais circulares com um raio de 13,82 m, totalizando 600 m<sup>2</sup> de área cada, representativos dos 4594,30 hectares plantados e distribuídos nos seus 64 projetos de reflorestamento, visando a implementação de inventário florestal contínuo (IFC).

Destas parcelas, foram selecionadas para compor a base de dados deste estudo somente as parcelas inventariadas dos talhões da espécie *Pinus taeda* e com idades entre 5 a 18 anos, uma vez que esta será a espécie plantada e com a rotação máxima que a empresa pretende adotar futuramente.

Existe também um inventário florestal realizado entre os anos de 2007 e 2008, do qual foram também utilizadas informações pontuais, como o número de árvores por hectare de determinado talhão em uma idade específica. Esta opção ocorreu pelo fato que a metodologia empregada para esta implementação não foi mais utilizada pela empresa (método de amostragem, forma e localização das amostras).

De um total inicial de 64 projetos de reflorestamento da empresa inventariados, foram excluídos 27 projetos de acordo com as restrições de idade e espécie

mencionadas, reduzindo para 37 projetos analisados com 781 unidades de amostra, representando 2892,74 hectares. Estes projetos preencheram todos os pré-requisitos de idade e espécie necessários para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Em cada medição, foram registrados a altura total de 20% das árvores e o DAP de todas as árvores contidas nas parcelas. Para fazer a classificação da capacidade produtiva, mediu-se a altura total de seis árvores dominantes por parcela.

#### 4.2.2. Classificação da capacidade produtiva

O modelo utilizado para representar o sítio médio do local foi o de Schumacher, ainda que sejam citados diversos modelos matemáticos na literatura. A escolha desse modelo foi em função de ser um dos modelos mais empregados no processo de classificação de locais, conforme citado em Campos e Leite (2009).

$$\text{Ln}(Hd) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{I}\right) + \varepsilon \quad (1)$$

Em que:  $Hd$  = altura dominante média da parcela (m);  $I$  = idade (anos);  $\beta_0$  e  $\beta_1$  = coeficientes do modelo;  $\varepsilon$  = erro aleatório

Esse modelo foi ajustado aos 781 pares de valores de dados de altura dominante média e idade das parcelas consideradas no estudo.

Como passo seguinte, foram construídas as curvas de sítio pelo método da curva guia, com a escolha prévia da idade índice de 15 anos, uma idade próxima da idade técnica de corte e que existiam dados a serem considerados. A quantidade de classes de sítio foi previamente estabelecida em três, sendo convencionado o Sítio I como o mais produtivo, e assim sucessivamente. As curvas foram construídas com a seguinte expressão, deduzida conforme Clutter *et al.* (1983).

$$\text{Ln}(Hd) = \text{Ln } S + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{I} + \frac{1}{I_i}\right) \quad (2)$$

Em que:  $S$  = índice de sítio (m);  $I_i$  = idade índice, sendo as demais variáveis conforme já definido.



Na avaliação do modelo foram analisados o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ), o erro padrão da estimativa relativo ( $S_{yx}\%$ ) e a análise gráfica de resíduos. As estatísticas foram recalculadas para a variável de interesse. Foi também construída uma tabela de limites de alturas dominantes em função da idade, para possibilitar a alocação de cada parcela mensurada em seu respectivo índice de sítio.

### **4.2.3. ANATRO**

#### **A) Seleção das árvores para a análise de tronco**

A partir da classificação da capacidade produtiva, tornou-se possível selecionar quais as árvores que foram derrubadas para a realização da análise de tronco completa (ANATRO).

Nesta escolha, somente selecionaram-se os projetos que estavam inseridos dentro de um raio aproximado de 20 km da sede da empresa, por serem locais de mais fácil e rápido acesso e que representam a grande maioria da sua área plantada, facilitando assim o deslocamento entre estes locais e diminuindo o tempo necessário para esta fase da pesquisa. Estes também são locais que representam especial interesse no planejamento estratégico futuro da empresa, pois são áreas prioritárias para uma possível aquisição de novos locais para o aumento da área plantada.

Na seleção das árvores buscou-se realizar a amostragem de maneira a representar com precisão a população ali existente. Desta forma, a seleção foi feita em duas etapas: na primeira, optou-se por realizar a coleta através de uma separação prévia dos dados selecionados por cada classe de sítio, e na segunda etapa, dentro de cada um dos sítios realizou-se uma estratificação em classes de diâmetro (DAP) visando amostrar árvores que pudessem contemplar toda a variação diamétrica em cada classe de sítio.

Para a classificação em classes de diâmetro foi empregado o método de Sturges (FINGER, 1992).

$$nc = 1 + 3,3 \log n \quad (3)$$

$$A_c = \frac{d_{m\acute{a}x} - d_{m\acute{i}n}}{nc} \quad (4)$$

Onde  $nc$  = número de classes;  $\log$  = logaritmo decimal;  $n$  = número de observações;  $A_c$  = amplitude de cada classe;  $d_{m\acute{a}x}$  = diâmetro máximo (cm);  $d_{m\acute{i}n}$  = diâmetro mínimo (cm).

Em seguida, efetuou-se a seleção dos indivíduos em cada classe diamétrica, conforme as fichas de campo do inventário florestal. Daniel e Yared (1987) recomendaram que, com um mínimo de três unidades por classe de idade ou sítio já é possível a obtenção de boas estimativas, e desta maneira foram selecionadas 144 árvores para a realização da análise de tronco, em 88 parcelas escolhidas respectivamente para os sítios I, II e III.

## **B) Coleta das fatias para a ANATRO**

Tendo-se a distribuição diamétrica em cada classe de sítio, selecionaram-se pelas fichas de campo as árvores que seriam amostradas em cada parcela. A identificação de cada árvore a derrubar e as etapas de campo seguintes foram realizadas com o auxílio de técnicos florestais da empresa.

Após a identificação de cada árvore, foi medido o seu DAP com casca e a mesma foi derrubada, tendo a sua altura total medida e assinalando-se a seguir com a trena todos os pontos ao longo do tronco onde seriam retiradas as fatias. Foram coletadas fatias nas alturas absolutas de 0,0 e 1,3 m, considerando-se que na primeira altura tem-se todos os anéis e com isto a idade atual da árvore, e o segundo ponto (DAP) é a base para estudos de incremento envolvendo o diâmetro, além de ser a variável de entrada para várias ferramentas dendrométricas. Foram retirados mais nove discos nos locais relativos a 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total da árvore.

Quando o ponto de corte da fatia coincidia com a formação de nós, estas foram cortadas imediatamente abaixo ou acima desta situação, para evitar as interferências

destes na medição dos anéis (FINGER, 1992). Desta maneira, garantiu-se exatamente a mesma quantidade de fatias (11) para cada uma das árvores amostradas (Figura 2).

### **4.3. ETAPAS DA ANATRO**

#### **4.3.1. Corte e Identificação das fatias**

As fatias foram coletadas com aproximadamente 5 cm de espessura, para com isto minimizar a possibilidade do surgimento de rachaduras no processo de secagem. Todas as fatias foram identificadas com uma plaqueta metálica contendo o número da árvore e a identificação da seção da fatia (Figura 2) para facilitar a identificação futura, caso houvesse mistura dos sacos de rafia que foram usados para o seu acondicionamento (Figura 3).



Figura 2: Identificação da fatia



Figura 3: Armazenamento dos discos

#### 4.3.2. Secagem dos discos

As fatias, logo após sua coleta, foram dispostas sobre bandejas metálicas em um barracão coberto e ventilado (Figura 4) localizado no viveiro da empresa, e neste local foram banhadas com o fungicida TBP *South* fabricado pela empresa *Southquim*. Isto evitou problemas de ataques de fungos manchadores que degradam a madeira, e que neste caso poderiam dificultar na correta visualização dos anéis de crescimento. Em seguida, as fatias foram secas à sombra por um período médio de 30 dias para evitar rachaduras.



Figura 4: Fatias dispostas nas bandejas metálicas secando à sombra

Após a secagem, todas as fatias foram lixadas em uma face em uma empresa beneficiadora de madeiras do município de Irati, inicialmente com lixas mais grossas, e depois progressivamente com lixas cada vez mais finas, para com isto propiciar uma melhor visualização dos anéis de crescimento (Figura 5).



Figura 5: Discos com uma face lixada e outra não

#### 4.3.3. Marcação e medição dos anéis

A marcação dos raios para medição, ainda seguindo o método utilizado por Rosot (2002), foi feita colocando-se a ponta seca de um compasso simples sobre a medula e com a abertura de sua perna até o término da casca ao longo do disco foi identificado o maior raio, o qual foi traçado, e prolongando-o até obter o primeiro diâmetro. Em seguida mais dois raios perpendiculares a este foram marcados, tentando com isto garantir a melhor representatividade possível da área transversal em cada uma das fatias e conseqüentemente de cada ano, evitando-se também, qualquer tipo de tendenciosidade.

Desta maneira, foram obtidos quatro raios em cada disco, nos quais ainda foram feitas pequenas marcações ao término de cada um dos anéis de crescimento anual a fim de facilitar sua identificação no momento da medição. Foi ainda, anotado uma numeração sequencial de cada um dos raios a serem medidos, sempre iniciando no maior raio existente na fatia e seguindo o sentido horário como padronização da metodologia.



A medição foi inteiramente efetuada no equipamento LINTAB 6.0 (*Frank Rinn Distributors*, Alemanha), disponível no Laboratório de Manejo Florestal da UNICENTRO. O LINTAB consiste numa plataforma com mesa móvel onde é colocada a fatia, além de uma pequena manivela usada para movimentar a mesa. Com o auxílio de uma lupa, o operador determina o limite dos anéis ao longo do raio selecionado, sendo que o deslocamento da plataforma que contém o disco equivale à largura do anel. Esse valor é automaticamente registrado e armazenado para cálculos posteriores pressionando-se o botão de um dispositivo eletrônico conectado ao computador e ao equipamento de medição (Figura 6) (SANTOS, 2009).



Figura 6: Equipamento LINTAB 6.0 em utilização

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

Com este sistema de medição de anéis de crescimento, pode-se obter medidas com precisões na casa do centésimo do milímetro, e como permite a exportação direta de seu arquivo digital, elimina-se também a necessidade de um novo lançamento em uma planilha eletrônica, diminuindo-se assim uma das possíveis fontes de erro neste tipo de trabalho.

Os dados foram gravados pelo TSAP em seu formato original e em arquivo texto *txt*, os quais foram exportados para o *Excel*, e posteriormente padronizados em um

formato específico para serem processados pelo *software FlorExcel* (ARCE, 2009). Este programa qual reúne um conjunto de ferramentas florestais que trabalham em conjunto com o *Excel*, e foi desenvolvido especialmente com o intuito de auxiliar engenheiros florestais e demais profissionais da área no processamento destas informações. Possui como principais funcionalidades os módulos de Análise Fitossociológica, Inventário Florestal, Simulação Florestal e Otimização, além de um módulo específico para o cálculo da ANATRO.

Com isto, foi possível obter as informações da evolução do diâmetro (Tabela 1), área transversal, altura e volume em cada um dos anos passados de cada árvore, e também a obtenção dos incrementos médio e corrente anual, e um gráfico do perfil da forma de seu fuste representando seu crescimento (idade x diâmetro), onde pode-se identificar possíveis erros de medição pelo cruzamento das curvas (Figura 7).

Tabela 1: Informações obtidas pelo Florexel para a variável diâmetro (cm).

<i>Arv.</i>	<i>Altura(m)</i>	<i>9 anos</i>	<i>8 anos</i>	<i>7 anos</i>	<i>6 anos</i>	<i>5 anos</i>	<i>4 anos</i>	<i>3 anos</i>	<i>2 anos</i>	<i>1 ano</i>
	0,10	22,37	21,41	19,91	17,94	14,49	11,41	6,75	3,02	0,90
	1,30	18,78	17,77	16,09	14,16	11,22	8,47	4,63	1,16	
	2,46	18,02	16,76	14,78	12,40	9,37	6,23	2,26		
	4,10	16,72	15,13	13,01	10,37	6,57	3,25			
	5,74	15,00	13,09	10,81	7,98	4,32				
72	7,38	12,84	10,72	8,02	4,87	1,59				
	9,02	10,73	8,51	5,65	2,29					
	10,66	7,91	5,29	2,45						
	12,30	3,71	1,47							
	13,94	1,84								
	15,58	1,12								
	*16,40	16,40	13,44	11,65	10,13	8,32	5,73	3,65	1,82	0,63

\* A última linha mostra as alturas do fim dos anéis

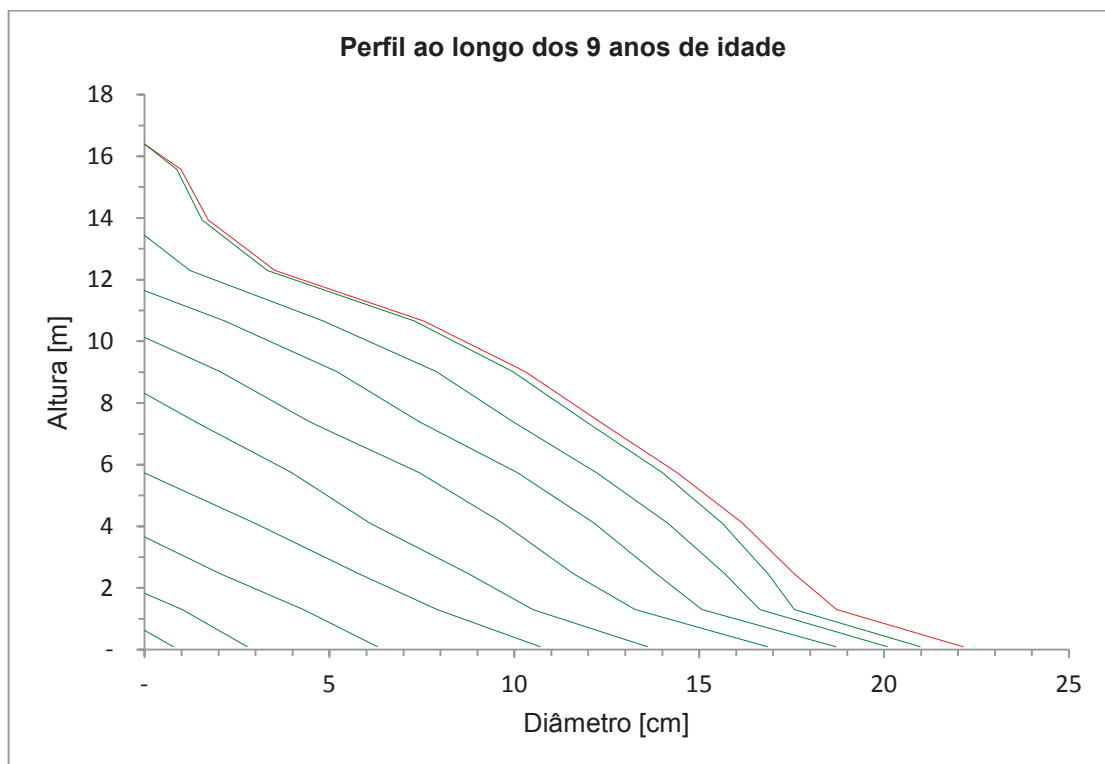


Figura 7 – Exemplo de perfil de crescimento da árvore nº 72

#### 4.4. ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA

A análise de tronco completa possibilita a medição do diâmetro com casca apenas para a idade atual. Em todas as idades anteriores, tem-se apenas diâmetros sem casca e como consequência todos os parâmetros gerados são sem casca. Todavia, os sistemas de projeção do crescimento e da produção geram estimativas com casca e a comercialização da produção é usualmente realizada em valores com casca. Desta forma, tornou-se necessário o emprego de um modelo de regressão capaz de estimar os diâmetros com casca ao longo do tronco nas idades passadas em função dos diâmetros sem casca medidos na ANATRO.

Para isto, foram utilizados dois modelos, Primeiramente utilizou-se um modelo linear simples, que estimou o diâmetro com casca apenas em função do diâmetro sem casca, conforme exposto abaixo:

$$d_{cc} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d_{sc} \quad (5)$$

Em que:  $d_{cc}$  = diâmetro com casca (cm);  $d_{sc}$  = diâmetro sem casca (cm).



Posteriormente, visando obter um melhor ajuste, utilizou-se o procedimento de seleção de variáveis Stepwise de um *software* estatístico, tendo-se como variável dependente o diâmetro com casca nas diferentes alturas e como variáveis independentes foram geradas as seguintes variáveis:

$$d_{cc} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d_{sc} + \beta_2 \cdot d_{sc}^2 + \beta_3 \cdot S + \beta_4 \cdot d_{sc} \cdot I + \beta_5 \cdot \frac{1}{I} + \beta_6 \cdot I + \beta_7 \cdot ht \cdot I \quad (6)$$

Em que:  $d_{cc}$  e  $d_{sc}$  = já descritos anteriormente;  $S$  = sítio (m);  $I$  = idade (anos);  $ht$  = altura total (metros).

Na avaliação do modelo foram analisados, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ), o erro padrão da estimativa relativo ( $Syx\%$ ) e a análise gráfica de resíduos. As estatísticas foram recalculadas para a variável de interesse.

O melhor modelo foi então usado para estimar os diâmetros com casca nas várias alturas para as idades anteriores à coleta, tendo-se finalmente os parâmetros com casca, que foram aplicados para a obtenção da área basal e do volume com casca em todas as idades.

#### **4.5. PARÂMETROS DA ANATRO POR ÁRVORE E POR UNIDADE DE ÁREA (HECTARE)**

A partir dos dados recalculados para as estimativas com casca, uma planilha foi organizada para cada sítio, inserindo as árvores representativas pertinentes ao seu sítio, tendo-se finalmente, o crescimento médio em todas as idades do sítio em relação às variáveis, diâmetro (DAP), área transversal, altura e volume.

Como a ANATRO gera informações por árvore, para obter as áreas basais das parcelas por hectare em diferentes idades, multiplicou-se as áreas seccionais médias pelo número de árvores sobreviventes naquela idade (CAMPOS e LEITE, 2009). Esta metodologia também foi adotada por Novaes (2009), que utilizou dados de análise de tronco para modelagem e prognose em povoamentos de *Tectona grandis*. Para isto foi necessário determinar a quantidade de árvores (frequência) existente ao longo dos anos em cada parcela disponível para um dado sítio.

Essas informações foram pesquisadas no cadastro da empresa e nos inventários florestais realizados nos anos de 2007, 2008 e 2010. Nas parcelas, além da informação da quantidade de árvores existentes por ocasião da medição, era apontado também o número de árvores plantadas.

Os dados obtidos da ANATRO são individuais e correspondentes a uma única árvore-amostra, possuindo um conjunto de informações anuais equivalentes a todo seu período de vida, ou seja, uma árvore de 18 anos possuirá 18 conjuntos de dados anuais. Portanto, utilizou-se a separação prévia dos dados de cada árvore conforme seu sítio, e estas informações foram pareadas por idade, com isto obtendo-se a área basal e o volume médio em cada idade sucessiva, o qual foi considerado representativo de uma parcela de um determinado talhão devido à classificação obtida pelo seu ajuste de sítio e separação em classes diamétricas.

Para obtenção das estimativas dos valores por unidade de área, utilizou-se as informações do inventário florestal realizado em 2010. Porém, para as parcelas que já sofreram algum desbaste, este último levantamento somente trouxe a informação do número atual de árvores por hectare, e assim o total de árvores plantadas foi obtido por meio de informações recuperadas do inventário anterior (2007 a 2008), ou ainda nos históricos de plantio da empresa. Com o número de árvores plantadas e o atual, a mortalidade ocorrida durante este período foi obtida pela distribuição proporcional da diferença ao longo deste período, uma vez que não existem outras informações disponíveis e nem registro da empresa sobre o percentual médio de sobrevivência nos primeiros anos dos antigos plantios, pela aplicação da seguinte fórmula:

$$Num_i = Num_{i-1} - \left( \frac{Num_{ii} - Num_{if}}{I_i - I_f} \right) \quad (7)$$

Em que:  $Num_i$  = número de árvores na idade de interesse (árvores);  $Num_{i-1}$  = número de árvores na idade anterior a de interesse (árvores);  $Num_{ii}$  = número de árvores na idade inicial (árvores);  $Num_{if}$  = número de árvores na idade final (árvores);  $I_i$  = idade inicial (anos);  $I_f$  = idade final (anos).

Finalmente, a frequência de cada parcela ao longo dos anos foi inserida ao lado do crescimento médio por sítio das variáveis individuais correspondentes à área

transversal e volume, gerando-se conseqüentemente, a área basal e o volume por hectare de cada parcela envolvida nesta pesquisa, tendo-se portanto, informações similares àquelas obtidas ao longo das remedições que caracterizam as parcelas permanentes.

#### 4.6. AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Campos e Leite (2009) apontaram que o sistema de equações de Clutter é o modelo do tipo povoamento total mais difundido nas empresas florestais brasileiras até o momento, motivo pelo qual este modelo foi um dos escolhidos para este ajuste.

Para critério de avaliação e comparação, foram ajustados também mais dois outros modelos, um em função somente da idade e outro em função da idade e do sítio. Os modelos de crescimento e produção utilizados na presente pesquisa estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Modelos testados para projetar o crescimento e produção.

Nº	Tipo de relação funcional	Modelo	Autor
(1)	$V = f(I)$	$\ln(V) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I}$	Schumacher (1939)
(2)	$V = f(I, S)$	$\ln(V) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I \cdot S}$	
(3)	$V = f(I, S, G)$	$\ln(V_2) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I_2} + \beta_2 \cdot S + \beta_3 \cdot \ln(G_2)$ $\ln(G_2) = \ln(G_1) \cdot \left(\frac{I_1}{I_2}\right) + \alpha_0 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \alpha_1 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) \cdot S$	Clutter (1963)

Em que:  $V_2$  = Volume (m<sup>3</sup>/ha) na idade 2;  $G_1$  = Área Basal (m<sup>2</sup>/ha) na idade 1;  $G_2$  = Área Basal (m<sup>2</sup>/ha) na idade 2;  $S$  = Índice de sítio (m);  $I$  = Idade (anos);  $I_1$  = Idade 1 (anos);  $I_2$  = Idade 2 (anos);  $\beta_i$  e  $\alpha_i$  = parâmetros do modelo;

Para o ajuste dos modelos de crescimento e produção, foram utilizados os dados da ANATRO a partir da idade de quatro anos de idade. Em relação ao sítio foi considerado somente o centro de cada uma das classes obtidas, ou seja, 23 m para o Sítio I, 19 m para o Sítio II e 15 m para o Sítio III.

Os modelos (1) e (2) foram ajustados pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários, e o modelo de Clutter foi ajustado de forma simultânea pelo método Mínimo Quadrado em Dois Estágios.

Todos os modelos foram avaliados em relação ao Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{ajust.}$ ) e o Erro Padrão de Estimativa, tanto o absoluto ( $S_{yx}$ ) quanto o relativo ( $S_{yx}\%$ ), os quais tiveram seus valores recalculados para a variável de interesse, ou seja, o volume em  $m^3/ha$  e a área basal em  $m^2/ha$ , por se tratarem de modelos logaritimizados. Também foi feita uma análise gráfica dos resíduos.

O modelo de Clutter, além das estatísticas, foi também avaliado com relação aos fundamentos biológicos do modelo, por meio da análise da consistência das estimativas em relação aos efeitos do índice de sítio e da área basal inicial na idade de corte.

#### 4.6.1. Área basal inicial

Antes de gerar as estimativas a partir do modelo de Clutter, foi necessário a estimar a área basal inicial ( $G_i$ ) da primeira idade em cada sítio considerado. Desta forma, foram empregados dois procedimentos para obtenção desta variável, sendo o primeiro utilizando um modelo para estimá-la, e o segundo utilizando a média da área basal inicial para o sítio intermediário (II), e subtraindo um desvio padrão para o sítio inferior (III), e acrescentando mais um desvio padrão para o melhor sítio (I).

Este modelo testado para prever a área basal inicial incluiu o índice de sítio como variável independente, buscando obter coerência entre as estimativas geradas e os valores reais de área basal inicial do povoamento, conforme a capacidade produtiva de cada sítio.

$$G_i = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 S^2 \quad (8)$$

Onde:  $G_i$  = área basal inicial ( $m^2/ha$ );  $S$  = índice de sítio (m).

#### 4.6.2. Construção das tabelas de produção

A partir das estimativas de área basal nas idades iniciais, foram construídas as tabelas de produção, assim como as curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA), calculadas da seguinte maneira:

$$IMA = \frac{V_i}{I_i} \quad (9)$$

$$ICA = V_i - V_{i-1} \quad (10)$$

Onde:  $V_i$  = volume (m<sup>3</sup>/ha) na idade de interesse;  $V_{i-1}$  = volume (m<sup>3</sup>/ha) na idade de interesse menos 1 ano;  $I_i$  = idade de interesse (anos);

Já a idade técnica de corte (ITC) foi determinada ao igualar as expressões de IMA e ICA, onde a curva do IMA tem seu ponto de máximo. A partir das tabelas e gráficos, foi observada a tendência das estimativas geradas e o comportamento da ITC com o aumento da capacidade produtiva.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE SÍTIO

Os coeficientes e as estatísticas do modelo de Schumacher ajustado com dados das parcelas disponibilizadas pela empresa estão apresentados a seguir, e representam a curva de sítio média ou curva guia. Na Figura 8, tem-se a distribuição dos resíduos gerados pela equação.

$$\ln(Hd) = 3,306181 - 5,423688 \cdot \left(\frac{1}{I}\right) \quad (11)$$

$$R^2_{\text{ajust}} = 0,7211$$

$$S_{yx} \text{ (cm)} = 1,4$$

$$S_{yx} \text{ (\%)} = 10,3$$

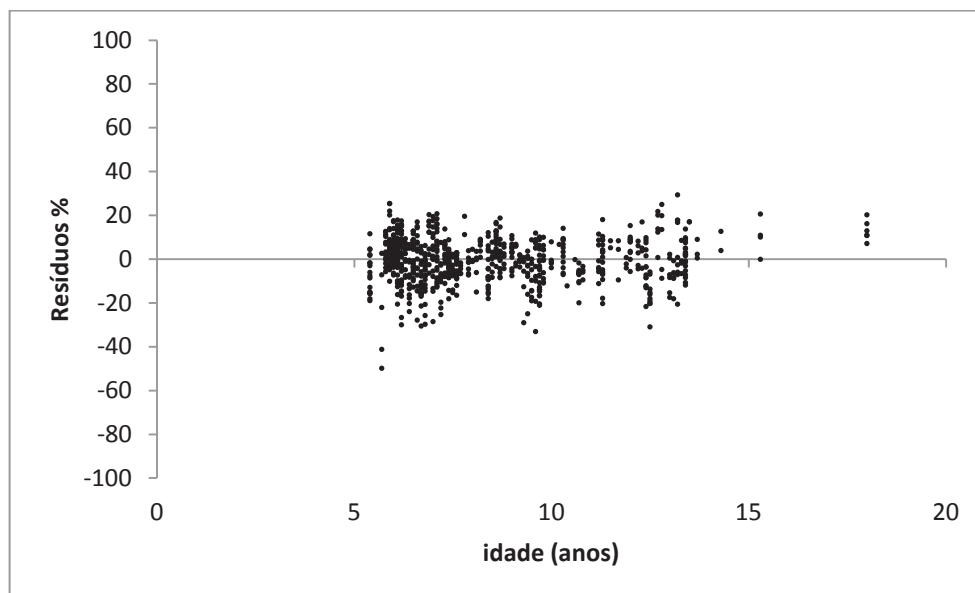


Figura 8 - Distribuição de resíduos da altura dominante em relação à idade

O ajuste apresentou estatísticas dentro da normalidade, sendo capaz de estimar a altura dominante sem grandes tendências conforme representado em sua distribuição de resíduos, exceto para idades superiores a 15 anos, provavelmente pela pouca representatividade de parcelas nessas idades.

A partir da curva média foram construídas as curvas de sítio pelo método da curva guia, definindo-se três classes de sítio e 15 anos como a idade índice. A classe de sítio I teve seus limites mínimo e máximo compreendidos entre 21 a 25 m, a classe de sítio II entre 17 a 21 m e a classe de sítio III entre 13 a 17 m (Figura 9). Na modelagem

foi considerada somente o centro de cada uma das classes obtidas, ou seja, 23 para o Sítio I, 19 para o Sítio II e 15 para o Sítio III.

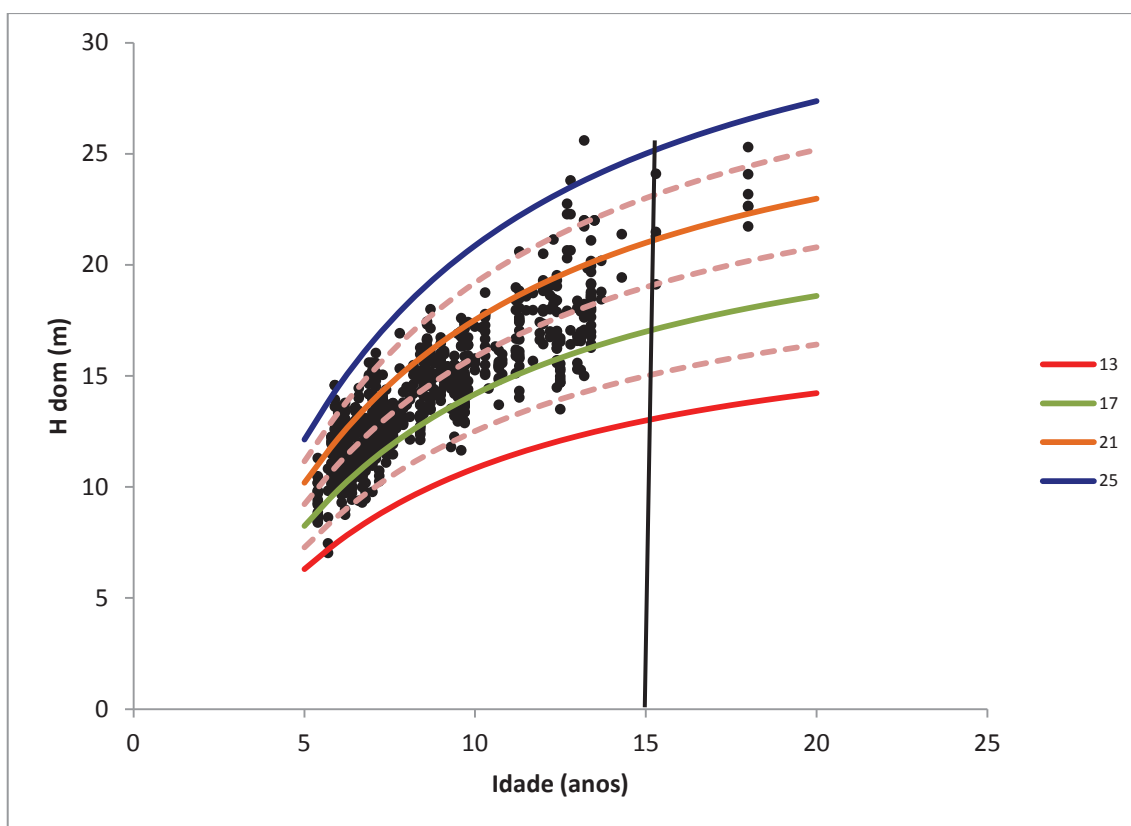


Figura 9 – Limite das curvas de sítio para *Pinus taeda* L. na região centro-sul do Paraná considerando a idade-índice de 15 anos.

A Figura 9 indica que a maioria das parcelas utilizadas para a construção das curvas de sítio, encontra-se na classe de sítio intermediária (classe II). Devido a isto, foram escolhidas para a próxima etapa do estudo um maior número de unidades de amostra representativas desta classe (44 parcelas), e 22 parcelas para as classes I e III, totalizando 88 parcelas selecionadas. Nesta seleção, procurou-se também abranger toda a variabilidade de idades das parcelas referentes ao estudo.

Observa-se também que as idades mais antigas de 15 e 18 anos acabaram sendo representadas por um pequeno número de parcelas (somente seis na idade de 18 anos e quatro na idade de 15 anos), e que não houve nenhuma ocorrência com mais de 13 anos na classe de sítio de menor produtividade (classe III). Este fato pode levar a tendências de superestimação dos volumes a partir desta idade, com uma consequente redução das idades técnicas de corte, fato que deve ser bem avaliado e melhor comparado principalmente no tocante a sua utilização como parâmetro para a empresa interessada.

A construção da Tabela 3 de limites de alturas dominantes em função da idade foi feita através da versão modificada do modelo de Schumacher a seguir.

$$\ln(Hd) = \ln S - 5,423688 \cdot \left( \frac{1}{I} + \frac{1}{15} \right) \quad (12)$$

Tabela 3: Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para *Pinus taeda* L. na região centro-sul do Paraná.

Idade (anos)	SÍTIO III (15 m)		SÍTIO II (19 m)		SÍTIO I (23 m)				
	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Lim. Inf.	Lim. Sup.			
5	6,3	-	8,2	8,3	-	10,2	10,3	-	12,1
6	7,6	-	9,9	10,0	-	12,2	12,3	-	14,5
7	8,6	-	11,2	11,3	-	13,9	14,0	-	16,5
8	9,5	-	12,4	12,5	-	15,3	15,4	-	18,2
9	10,2	-	13,4	13,5	-	16,5	16,6	-	19,6
10	10,8	-	14,2	14,3	-	17,5	17,6	-	20,9
11	11,4	-	14,9	15,0	-	18,4	18,5	-	21,9
12	11,9	-	15,5	15,6	-	19,2	19,3	-	22,8
13	12,3	-	16,1	16,2	-	19,9	20,0	-	23,6
14	12,7	-	16,6	16,7	-	20,5	20,6	-	24,4
<b>15*</b>	<b>13,0</b>	-	<b>17,0</b>	<b>17,1</b>	-	<b>21,0</b>	<b>21,1</b>	-	<b>25,0</b>
16	13,3	-	17,4	17,5	-	21,5	21,6	-	25,6
17	13,6	-	17,7	17,8	-	21,9	22,0	-	26,1
18	13,8	-	18,1	18,2	-	22,3	22,4	-	26,6
19	14,0	-	18,3	18,4	-	22,7	22,8	-	27,0
20	14,2	-	18,6	18,7	-	23,0	23,1	-	27,4

\* Idade índice

A Tabela 3 com os limites numéricos dos intervalos de cada uma das classes de sítio conforme sua idade e altura dominante foi utilizada para definir a amostragem para a análise de tronco. Desta forma, todas as parcelas selecionadas para a pesquisa foram enquadradas nas respectivas classes de sítio o que permitiu a seleção das árvores representativas de cada sítio.

Os valores obtidos, quando comparados aos alcançados por outros autores, apresentaram valores conforme já esperado. Os índices de sítio médios foram amplamente superiores quando comparados com resultados obtidos em regiões da serra e do litoral do Rio Grande Sul, comprovando um maior crescimento em altura no Sul do Paraná, fato este já observado por TONINI *et al.* (2002), que comparou diversos índices



de sítio obtidos na Região Sul do Brasil. Selle *et al.* (1994) também encontraram valores de 10,00 m para o índice de sítio de 20 m aos 8 anos de idade na região de Cambará do Sul (RS), resultados muito inferiores aos encontrados no presente trabalho.

Em regiões mais próximas à do estudo, estas diferenças começam a reduzir. Nascimento (2010) obteve no Planalto norte de Santa Catarina valores variando entre 11,61 m e 13,49 m para o Sítio 20 m aos 10 anos de idade (14,3 m e 17,5 m para o Sítio 19 m com 10 anos de idade). E em locais de maior latitude, já aparecem resultados maiores do que os obtidos. Scolforo (1992) trabalhando com *Pinus caribaea var. hondurenses* chegou a valores variando entre 18,18 m e 20,88 m em seus limites inferiores e superiores para o Sítio 21 m com 10 anos de idade na Região de Agudos, estado de São Paulo, mas também deve ser considerada neste caso o maior crescimento característico da própria espécie.

## 5.2. SELEÇÃO DAS ÁRVORES PARA A ANÁLISE DE TRONCO

### 5.2.1. Distribuição diamétrica

Na Tabela 4 observam-se características dos dados para definição da distribuição diamétrica do povoamento analisado.

Tabela 4: Estatísticas dos dados em cada classe de sítio usadas para definir as classes de diâmetro (DAP)

Variáveis	Sítio I	Sítio II	Sítio III
$n$	1435	2804	1444
$nc$	13	13	13
$d_{\min}$	5	5	3
$d_{\max}$	45	43	35
$Ampl$	40	38	32
$Ampl\ classe$	3,33	2,92	2,67

Onde:  $n$  = número total de observações;  $nc$  = número de classes;  $d_{\min}$  = diâmetro mínimo (cm);  $d_{\max}$  = diâmetro máximo (cm);  $Ampl$  = amplitude;  $Ampl\ classe$  = amplitude da classe.

Os valores de amplitude em cada classe foram arredondados para o valor inteiro mais próximo, no caso 3 cm para todas as classes. As distribuições diamétricas obtidas apresentaram uma distribuição normal, com uma maior representatividade nas classes centrais e poucos indivíduos nas menores e maiores classes. Definiu-se, portanto, a amostragem proporcional à frequência, ou seja, foram coletadas amostras maiores nas classes centrais, conforme mostrado na Tabela 6. Foram então derrubadas e analisadas 48 árvores em cada classe de sítio, totalizando uma amostra total de 144 árvores.

A partir das informações por sítio, foram construídas as distribuições diamétricas para cada sítio. Observou-se que para todos os sítios, os dados apresentaram uma distribuição normal (Figuras 10, 11 e 12), com uma maior representatividade nas classes centrais e poucos indivíduos nas classes mais limítrofes. Desta forma, foram selecionadas para a ANATRO um maior número de árvores nas classes mais representativas (Tabela 5).

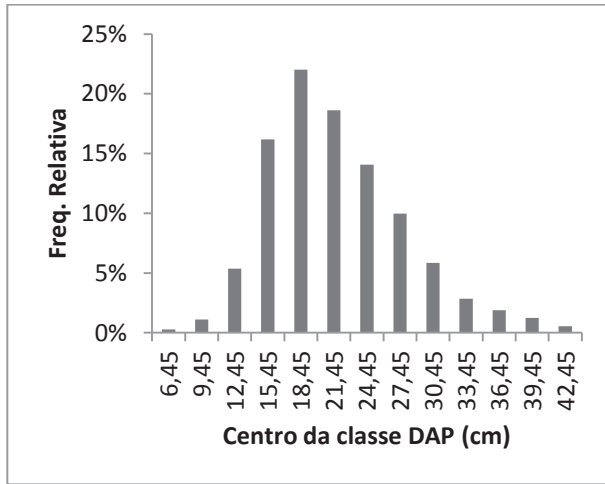


Figura 10 – Distribuição da frequência relativa para a classe de Sítio I.

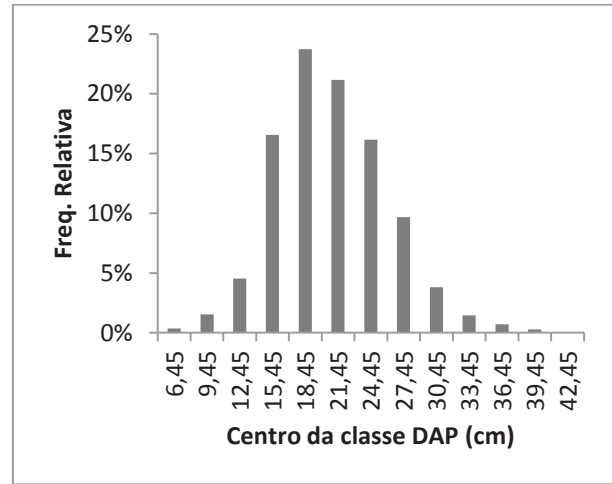


Figura 11 – Distribuição da frequência relativa para a classe de Sítio II.

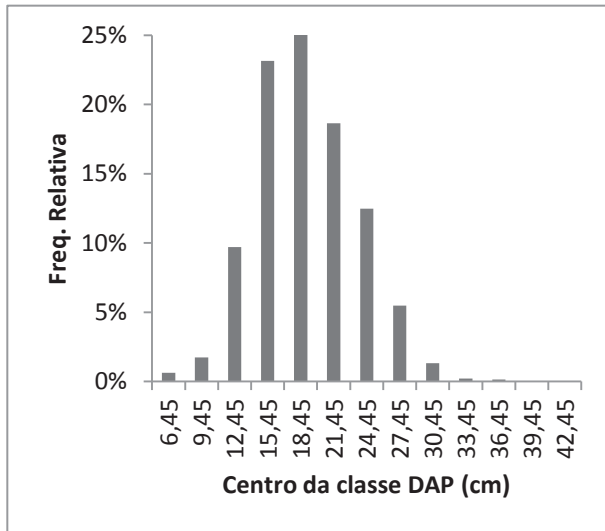


Figura 12 – Distribuição da frequência relativa para a classe de Sítio III.

Tabela 5: Distribuição diamétrica e número de árvores seleccionadas para a ANATRO

Núm.	<i>Sítio I (23 m)</i>				<i>Sítio II (19 m)</i>				<i>Sítio III (15 m)</i>			
	Classes DAP (cm)	Centro da classe (cm)	Freq./ha	Amostra	Classes DAP (cm)	Centro da classe (cm)	Freq./ha	Amostra	Classes DAP (cm)	Centro da classe (cm)	Freq./ha	Amostra
1	< 7,9		4	3	< 7,9		10	3	< 7,9		9	4
2	8 - 10,9	9,45	16	3	8 - 10,9	9,45	43	3	8 - 10,9	9,45	25	4
3	11 - 13,9	12,45	77	3	11 - 13,9	12,45	127	3	11 - 13,9	12,45	140	5
4	14 - 16,9	15,45	232	5	14 - 16,9	15,45	464	5	14 - 16,9	15,45	334	6
5	17 - 19,9	18,45	316	7	17 - 19,9	18,45	665	6	17 - 19,9	18,45	384	7
6	20 - 22,9	21,45	267	6	20 - 22,9	21,45	593	6	20 - 22,9	21,45	269	6
7	23 - 25,9	24,45	202	5	23 - 25,9	24,45	453	5	23 - 25,9	24,45	180	5
8	26 - 28,9	27,45	143	3	26 - 28,9	27,45	271	4	26 - 28,9	27,45	79	4
9	29 - 31,9	30,45	84	3	29 - 31,9	30,45	107	3	29 - 31,9	30,45	19	3
10	32 - 34,9	33,45	41	3	32 - 34,9	33,45	41	3	32 - 34,9	33,45	3	3
11	35 - 37,9	36,45	27	3	35 - 37,9	36,45	20	3	35 - 37,9	36,45	2	1
12	38 - 40,9	39,45	18	2	38 - 40,9	39,45	8	3	38 - 40,9	39,45	0	0
13	> 41		8	2	> 41		2	1	> 41		0	0
<b>TOTAL</b>			<b>1435</b>	<b>48</b>			<b>2804</b>	<b>48</b>			<b>1444</b>	<b>48</b>

### 5.2.2. Análise de tronco

O software *Florexel* fornece todas as estimativas por árvore em cada um de seus anos de vida, possibilitando com isto obter estimativas médias do crescimento passado do povoamento estudado, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros médios por árvore resultantes da ANATRO – Árvore 1

<i>Idade</i>	<i>dap</i> ( <i>cm</i> )	<i>ICA</i> <i>dap</i>	<i>IMA</i> <i>dap</i>	<i>h</i> ( <i>m</i> )	<i>ICA</i> <i>h</i>	<i>IMA</i> <i>h</i>	<i>g</i> ( <i>m</i> <sup>2</sup> )	<i>ICA</i> <i>g</i>	<i>IMA</i> <i>g</i>	<i>v</i> ( <i>m</i> <sup>3</sup> )	<i>ICA</i> <i>v</i>	<i>IMA</i> <i>v</i>
1				0,45	0,45	0,45						
2	1,01	0,50	0,50	1,89	1,44	0,95	0,0001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
3	4,63	3,62	1,54	3,50	1,61	1,17	0,0017	0,002	0,001	0,005	0,004	0,002
4	9,40	4,76	2,35	5,29	1,79	1,32	0,0069	0,005	0,002	0,022	0,017	0,006
5	10,98	1,59	2,20	6,79	1,50	1,36	0,0095	0,002	0,002	0,036	0,014	0,007
6	13,74	2,75	2,29	8,39	1,60	1,40	0,0148	0,005	0,002	0,064	0,028	0,011
7	15,43	1,69	2,20	9,89	1,50	1,41	0,0187	0,004	0,003	0,093	0,029	0,013
8	16,89	1,46	2,11	11,39	1,50	1,42	0,0224	0,004	0,003	0,125	0,032	0,016
9	18,27	1,37	2,03	12,43	1,04	1,38	0,0262	0,004	0,003	0,162	0,037	0,018
10	19,22	0,96	1,92	14,39	1,96	1,44	0,0290	0,003	0,003	0,198	0,036	0,020
11	20,84	1,62	1,89	14,80	0,40	1,35	0,0341	0,005	0,003	0,255	0,057	0,023
12	22,32	1,48	1,86	15,20	0,40	1,27	0,0391	0,005	0,003	0,314	0,058	0,026

### 5.3. ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA

O ajuste do modelo linear simples e do procedimento de seleção de variáveis *Stepwise* para estimar os diâmetros com casca ao longo do tronco nas idades anteriores à coleta geraram as equações apresentadas na Tabela 7 com suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão:

Tabela 7: Modelos ajustados para estimar o diâmetro com casca e suas estatísticas.

Nº	Equação ajustada	<i>R</i> <sup>2</sup> <i>ajust.</i>	<i>S</i> <sub><i>y</i><i>x</i></sub> ( <i>cm</i> )	<i>S</i> <sub><i>y</i><i>x</i></sub> (%)
(1)	$d_{cc} = 0,024184 + 1,062557 \cdot d_{sc}$	0,9983	0,38	3,14
(2)	$d_{cc} = -1,73908 + 1,06751 \cdot d_{sc} + 0,00092 \cdot d_{sc}^2 - 0,01663 \cdot S$ $- 0,00216 \cdot d_{sc} \cdot I + 8,14484 \cdot \frac{1}{I} + 0,17114 \cdot I$ $- 0,00311 \cdot ht \cdot I$	0,9986	0,35	2,90

Conforme já esperado, os valores obtidos pelo procedimento *Stepwise* apresentaram resultados levemente superiores aos obtidos pela regressão linear simples, sendo por este motivo escolhidos para estimar o diâmetro com casca (Tabela 7).

Foram gerados também os gráficos de distribuição dos resíduos para cada um dos modelos testados (Figuras 13 e 14). Pode-se observar que para ambos os modelos os resíduos foram considerados elevados somente para os menores diâmetros, quase sempre aqueles correspondentes às últimas fatias de cada árvore (95%). Como este segmento final da árvore possui uma representatividade mínima tanto em sua área basal quanto em seu volume, esta tendência não prejudica os resultados desta pesquisa. Para os demais diâmetros, a distribuição de resíduos ficou dentro de um limite aproximado de 20% comparado aos valores reais, não sendo observado nenhum tipo de tendência.

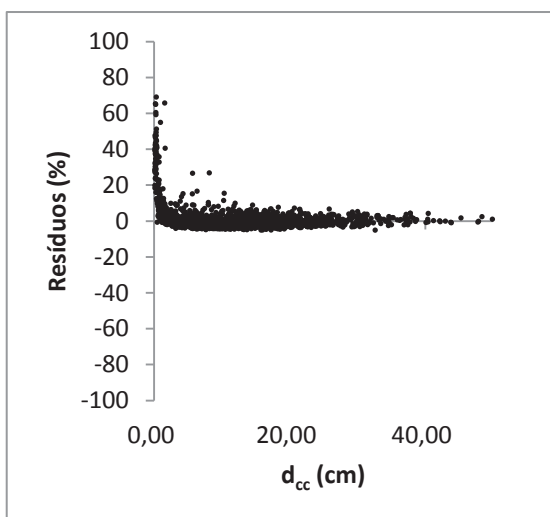


Figura 13 - Distribuição de resíduos do diâmetro com casca em relação ao diâmetro sem casca.

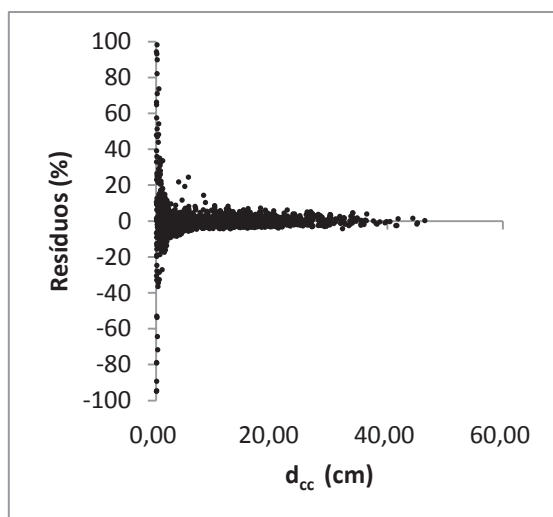


Figura 14 - Distribuição de resíduos do diâmetro com casca em relação às variáveis do procedimento *Stepwise*.

#### 5.4. ESTIMATIVAS DA ÁREA BASAL E VOLUME UNITÁRIO E POR HECTARE

Os resultados da obtenção das estimativas individuais médias da área transversal e do volume por sítio podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8: Estimativas médias obtidas por idade para as árvores analisadas na ANATRO.

Idade (anos)	Sítio I		Sítio II		Sítio III	
	Área Transv. (m <sup>2</sup> /ind)	Volume (m <sup>3</sup> /ind)	Área Transv. (m <sup>2</sup> /ind)	Volume (m <sup>3</sup> /ind)	Área Transv. (m <sup>2</sup> /ind)	Volume (m <sup>3</sup> /ind)
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
2	0,0001	0,0007	0,0001	0,0005	0,0001	0,0005
3	0,0015	0,0046	0,0010	0,0031	0,0009	0,0028
4	0,0041	0,0133	0,0033	0,0103	0,0031	0,0098
5	0,0078	0,0290	0,0065	0,0231	0,0061	0,0216
6	0,0125	0,0542	0,0107	0,0435	0,0100	0,0407
7	0,0174	0,0855	0,0158	0,0736	0,0153	0,0700
8	0,0226	0,1265	0,0207	0,1090	0,0206	0,1045
9	0,0286	0,1767	0,0266	0,1538	0,0275	0,1563
10	0,0370	0,2480	0,0333	0,2090	0,0332	0,2058
11	0,0419	0,3006	0,0395	0,2708	0,0396	0,2654
12	0,0499	0,3843	0,0466	0,3377	0,0454	0,3313
13	0,0597	0,4802	0,0430	0,3686	0,0432	0,3341
14	0,0733	0,6429	0,0492	0,4580		
15	0,0812	0,7514	0,0536	0,5316		
16	0,0884	0,9033	0,0777	0,7919		
17	0,0957	1,0291	0,0840	0,9027		
18	0,1017	1,1421	0,1053	1,1699		

Pode-se observar na Tabela 8 que nas idades de 12 para 13 anos dos sítios II e III houve um decréscimo da área transversal estimada, o que não era esperado. Este fato ocorreu pois houve uma grande diminuição do número de árvores consideradas acima da média entre estas duas idades, de 19 para 12 árvores no sítio II, e de 13 para 3 árvores no sítio III.

Para a obtenção do número de árvores plantadas e sua evolução ao longo dos anos por unidade de área (hectare) em cada parcela utilizada no estudo, foram utilizadas as informações dos dois inventários realizados pela empresa, um em 2010 e outro em 2007-2008, sendo o número de árvores por hectare durante este intervalo de anos estimado proporcionalmente aos anos do período, uma vez que não haviam informações de sobrevivência disponíveis. Na Tabela 9 segue exemplo da recuperação dos dados de uma parcela inventariada e a metodologia da proporcionalidade aplicada, considerando o número de árvores nas idades iniciais e finais. Cabe mencionar que as informações destacadas nas idades 1 e 8 eram conhecidas por meio dos dados de inventário, e a

mortalidade de 150 árvores ocorrida durante este período foi distribuída igualmente ao longo do intervalo entre estes anos.

Tabela 9: Proporcionalização da sobrevivência e respectivas estimativas por unidade de área para a parcela PLG02T16, ao longo dos anos.

<b>Idade (anos)</b>	<b>Núm. arv/ha</b>	<b>Índice de Sítio (m)</b>	<b>g (m<sup>2</sup>)</b>	<b>G (m<sup>2</sup>/ha)</b>	<b>v (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>/ha)</b>
<b>1</b>	<b>1383</b>	23	0,0000	<b>0,000</b>	0,0000	<b>0,068</b>
2	1362	23	0,0001	0,199	0,0007	0,968
3	1340	23	0,0015	2,010	0,0046	6,147
4	1319	23	0,0041	5,457	0,0133	17,547
5	1297	23	0,0078	10,106	0,0290	37,614
6	1276	23	0,0125	15,888	0,0542	69,179
7	1254	23	0,0174	21,830	0,0855	107,229
<b>8</b>	<b>1233</b>	23	0,0226	<b>27,825</b>	0,1265	<b>156,028</b>

Uma vez que a seleção das árvores para a ANATRO baseou-se nas estatísticas obtidas por parcela, foram considerados os dados individuais de cada árvore para a sua parcela de origem, e nos talhões onde existia mais de uma parcela mensurada, esta pela sua proximidade geográfica foi considerada como integrante da mesma classe de sítio e suas informações sobre o número de árvores foram consideradas para a composição do banco de dados.

### **5.5. AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO**

Os resultados obtidos nos ajustes e as respectivas equações com seus coeficientes são apresentados na Tabela 10.



Tabela 10: Modelos ajustados para estimar o crescimento e produção e suas estatísticas.

Nº	Sítio	Equação ajustada	$R^2$ ajust.	$S_{yx}$ ( $m^3/ha$ )	$S_{yx}$ (%)
(1)	I	$ln(V) = 7,0760 + \frac{-17,1990}{I}$	0,8284	43,734	33,67
	II	$ln(V) = 7,0333 + \frac{-17,8264}{I}$	0,8437	29,932	31,33
	III	$ln(V) = 7,2032 + \frac{-18,9810}{I}$	0,9056	22,797	25,54
(2)	I, II, III	$ln(V) = 6,5783 + \frac{-269,6945}{I.S}$	0,5894	46,798	45,24
(3)	I, II, III	$ln(V_2) = 3,3097 + \frac{-9,3418}{I_2} + 0,0134.S + 0,7811.ln(G_2)$	0,9779	15,230	10,66
		$ln(G_2) = ln(G_1) \cdot \left(\frac{I_1}{I_2}\right) + 4,8519 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + 0,0070 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) \cdot S$	0,9769	1,807	7,67

As estatísticas de ajuste dos modelos demonstram a superioridade do modelo de Clutter em relação aos demais, pois o mesmo apresentou o maior valor do coeficiente de determinação e os menores erros, devido à inclusão da terceira variável (área basal) no ajuste, além da idade e do sítio. Os valores dos coeficientes obtidos também foram todos significativos a 5% de significância. Nas Figuras 15 a 18 foram gerados os gráficos das distribuições dos resíduos do volume para os modelos I e II.

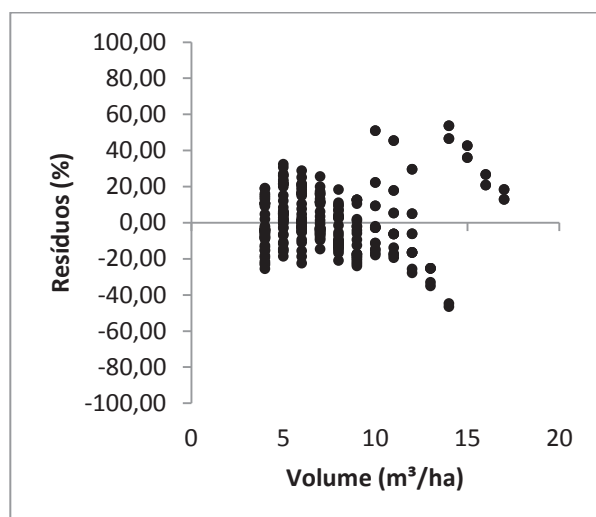


Figura 15: Distribuição dos resíduos para volume do modelo de Schumacher para o Sítio I.

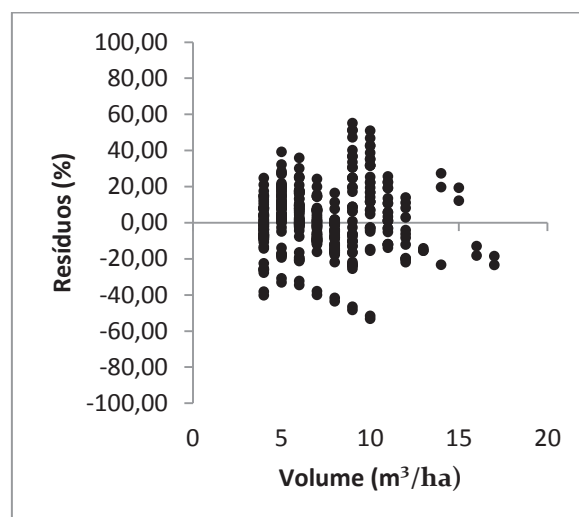


Figura 16: Distribuição dos resíduos para volume do modelo de Schumacher para o Sítio II.

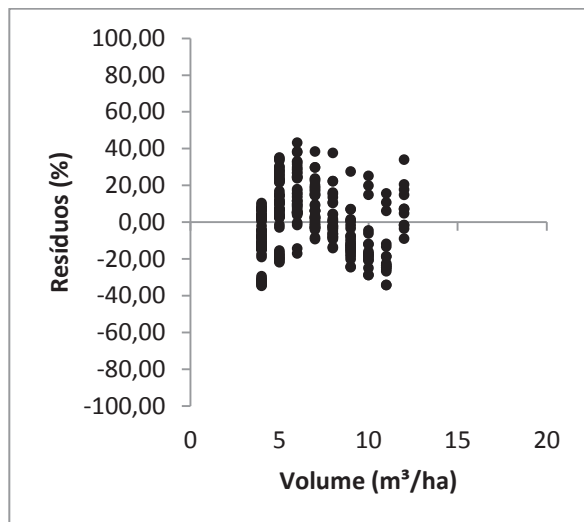


Figura 17: Distribuição dos resíduos para volume do modelo de Schumacher para o Sítio III.

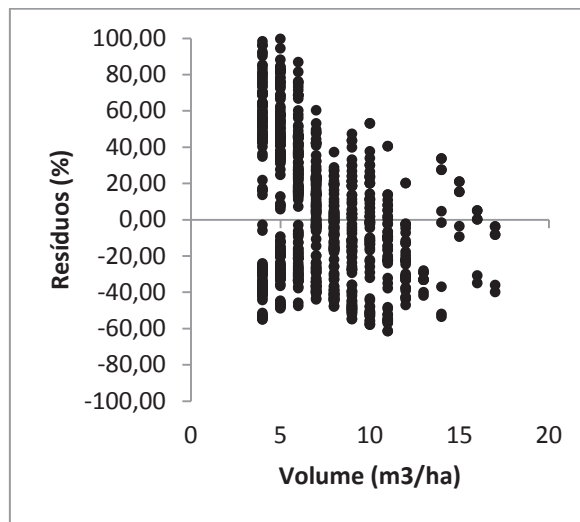


Figura 18: Distribuição dos resíduos para volume para o modelo  $f(I, S)$ .

A distribuição dos resíduos apresentou em sua maioria valores dentro de um intervalo de 50% da média do volume por hectare. Nos dois primeiros gráficos referentes aos sítios I e II não nota-se nenhuma tendência nos valores estimados, somente no terceiro representativo do sítio III é que os dados aparentam valores subestimados nas idades iniciais, passando a uma superestimação nas idades médias consideradas e novamente sendo subestimados nas idades mais avançadas.

O modelo 2 foi o que apresentou os piores resultados, com alguns valores estimados apresentando resíduos superiores a 100 % em comparação aos valores observados. Também nota-se a tendência de superestimação nas idades iniciais (Figura 18).

Nas Figuras 19 e 20 podem ser observadas as distribuições de resíduos respectivamente para área basal e volume para o modelo de Clutter. Não foi identificada nenhuma tendência tanto para a área basal quanto para o volume, uma vez que os resíduos ficaram praticamente em sua totalidade distribuídos dentro de um intervalo de 20% em relação à média observada. Somente para o volume nota-se uma pequena tendência de superestimação dos valores estimados a partir da idade aproximada de 15 anos. Provavelmente isto deve ter ocorrido pelo fato já citado de não existirem dados observados na classe de sítio inferior (classe III) a partir dos 13 anos de idade, o que pode ter colaborado para fazer com que a partir desta idade, os valores estimados terem sido levemente superestimados em relação aos valores observados.

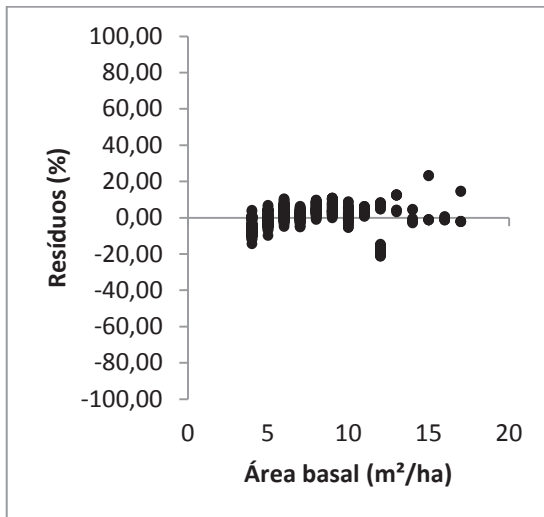


Figura 19: Distribuição dos resíduos para a área basal pelo modelo de Clutter.

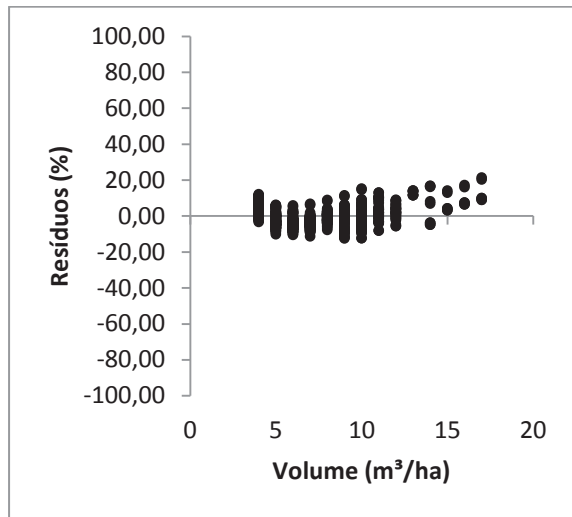


Figura 20: Distribuição dos resíduos para o volume pelo modelo de Clutter.

### 5.5.1. Área basal inicial

No caso da aplicação do modelo de Clutter é necessário estimar a área basal inicial em cada classe de sítio. Os coeficientes e as estatísticas obtidas para o modelo de área basal em função do sítio foram as seguintes:

$$G_i = 10,863971 - 0,852957.S + 0,026886.S^2 \quad (15)$$

$$R^2_{ajust.} = 0,3400$$

$$S_{yx} (m^2/ha) = 0,75$$

$$S_{yx} (\%) = 16,33$$

Esta regressão, porém, não apresentou parâmetros estatísticos confiáveis, resultando em valores não condizentes com a realidade biológica da área basal inicial. Esta particularidade já foi encontrada por outros autores, como Novaes (2009) que trabalhando com dados de povoamentos de *Tectona grandis* localizados no Estado do Mato Grosso utilizou a média da área basal observada aos 48 meses. Nascimento (2010) utilizou a área basal média aos cinco anos para o sítio intermediário, acrescentando um desvio padrão ao melhor sítio e descontando um desvio ao pior sítio, para a projeção volumétrica de um povoamento de *Pinus taeda*, da região do Planalto Norte de Santa Catarina. Uma metodologia semelhante a esta também foi adotada por Miranda (2012), que mesmo tendo realizado o ajuste de três diferentes modelos para estimar a área basal inicial de povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* estratificados por classes de precipitação na Região Nordeste do Estado da Bahia, teve que utilizar a área

basal inicial média em cada classe de sítio e de precipitação por não ter obtido dados condizentes com a realidade biológica.

Desta forma, optou-se por seguir a metodologia proposta inicialmente por Dias (2000), que trabalhando com dados de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* e não tendo obtido resultados satisfatórios nos ajustes propostos, utilizou a média da área basal inicial aos 27 meses de idade menos um desvio padrão para o sítio inferior (III), a área basal média da idade inicial para o sítio intermediário (II), e a área basal média da idade inicial mais um desvio padrão para o melhor sítio (I).

Uma vez avaliado, o modelo de Clutter foi utilizado para elaborar a tabela de produção. Utilizou-se a seguinte pressuposição para a construção da tabela:  $\bar{G}_4 - \sigma_4$  (área basal inicial média aos 4 anos – desvio padrão) para o índice de sítio 15 m (classe de sítio III);  $\bar{G}_4$  (área basal média) para índice de sítio 19 m (classe de sítio II); e  $\bar{G}_4 + \sigma_4$  (área basal inicial média aos 4 anos + desvio-padrão) para o índice de sítio 23 (classe de sítio I).

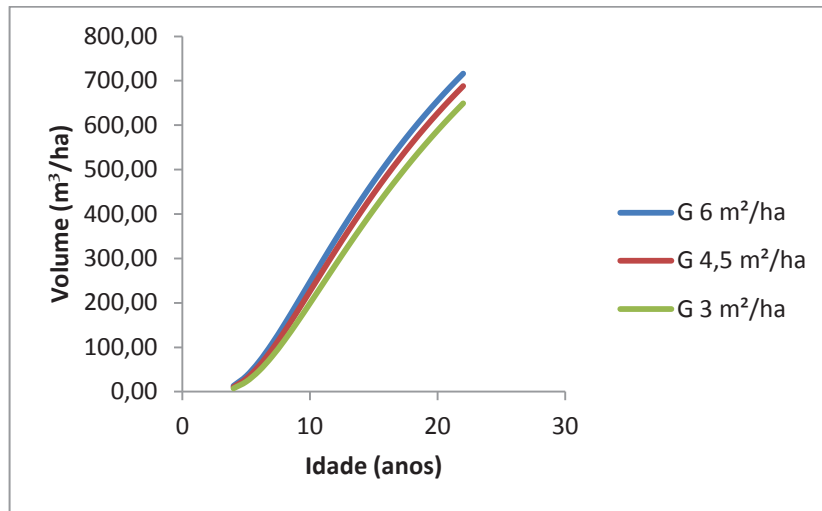
O modelo de Clutter também foi avaliado para verificação dos fundamentos biológicos. Para este propósito, foram estabelecidas as seguintes condicionantes, de acordo com Dias (2000):

I - Para a mesma capacidade produtiva, povoamentos com maior área basal inicial resultam, até certo ponto, em maior produção volumétrica em uma mesma idade futura.

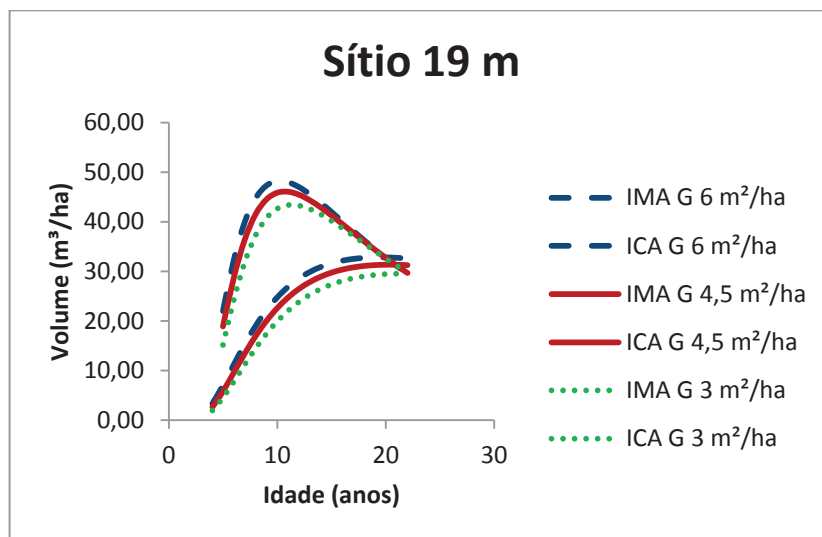
II - Para a mesma capacidade produtiva, quanto maior a área basal inicial menor a idade de máxima produtividade (rotação).

III – Para a mesma área basal inicial, quanto maior a capacidade produtiva menor a idade de máxima produtividade (rotação).

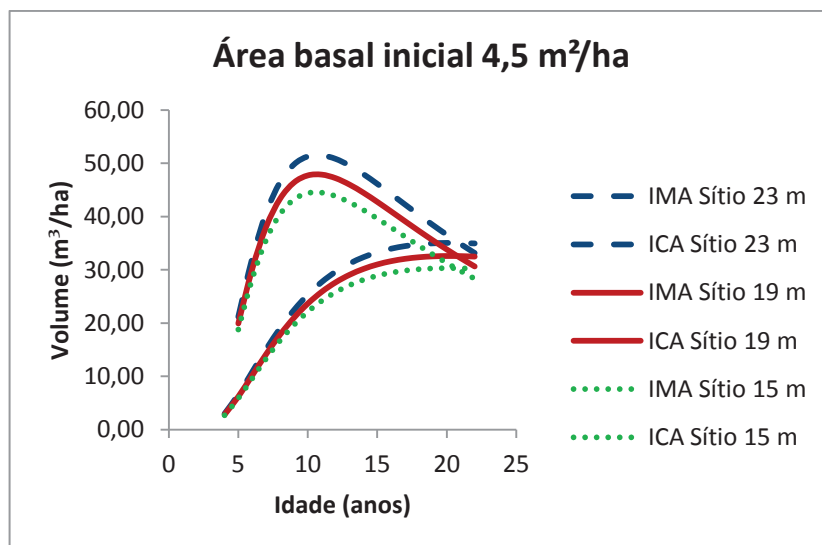
Para verificação dessas condicionantes biológicas, foi elaborada a Figura 21.



(a)



(b)



(c)

Figura 21: Gráficos elaborados para verificação do modelo com base nas condicionantes biológicas de I a III do item 5.5.1.

As projeções de volume futuro, para três níveis diferentes de áreas basais iniciais e mesma capacidade produtiva (Sítio 19 m), resultaram na maior produção volumétrica para projeções feitas a partir da maior área basal inicial  $G_4 = 6,0 \text{ m}^2/\text{ha}$  (Figura 21-a). Para a mesma capacidade produtiva, as projeções de incrementos em volume para três níveis de áreas basais iniciais ocasionaram menor idade técnica de corte, definida como a idade em que o IMA se iguala ao ICA, quando se utilizou a área basal inicial maior ( $G_4 = 6,0 \text{ m}^2/\text{ha}$ ) (Figura 21-b). Finalmente, as projeções dos incrementos em volume para as diferentes capacidades produtivas, considerando a área basal inicial igual ( $G_4 = 4,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ ), demonstraram menor idade técnica de corte para o maior índice de sítio ( $S = 23 \text{ m}$ ), porém esta diferença foi pequena, podendo ser notada apenas pelo valor numérico da tabela de produção, pois o ano de intervenção estimado (20° ano) foi igual para os três sítios, sendo a diferença observada somente nos meses (Figura 21-c). Assim, as condicionantes I, II e III propostas foram atendidas.

### 5.5.2. Construção das tabelas de produção

Uma vez avaliado, o modelo foi utilizado para elaborar a tabela de produção de densidade variável em nível de povoamento (Tabela 11). Esta tabela não levou em consideração a idade de rotação técnica diferenciada por intensificação das retiradas em área basal, conforme citado por Dias (2000). Sua construção é de suma importância para o planejamento estratégico do manejador florestal, servindo como ferramenta de auxílio na tomada de decisões sobre o momento ideal de uma intervenção silvicultural na floresta.

Tabela 11 – Tabela de produção (m<sup>3</sup>/ha.ano) para três índices de sítio, para povoamentos de *Pinus taeda* situados na região Centro Sul do Paraná.

Índice de sítio (m)	Idade (anos)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha)	ICA (m <sup>3</sup> /ha)
23	4	5,727*	14,103	3,526	
	5	11,010	37,490	7,498	23,387
	6	17,023	71,943	11,990	34,452
	7	23,239	114,598	16,371	42,655
	8	29,349	162,488	20,311	47,889
	9	35,192	213,189	23,688	50,701
	10	40,694	264,923	26,492	51,734
	11	45,829	316,461	28,769	51,538
	12	50,600	366,989	30,582	50,528
	13	55,023	415,996	32,000	49,007
	14	59,121	463,178	33,084	47,183
	15	62,918	508,377	33,892	45,199
	16	66,441	551,531	34,471	43,153
	17	69,712	592,639	34,861	41,108
	18	72,755	631,745	35,097	39,106
	19	75,589	668,917	35,206	37,172
	<b>20</b>	<b>78,235</b>	<b>704,238</b>	<b>35,212</b>	<b>35,321</b>
	21	80,708	737,800	35,133	33,562
	22	83,025	769,696	34,986	31,897

Tabela 11 – Cont.

Índice de sítio (m)	Idade (anos)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha)	ICA (m <sup>3</sup> /ha)	
19	4	4,294**	10,674	2,669		
	5	8,696	29,550	5,910	18,876	
	6	13,919	58,261	9,710	28,711	
	7	19,478	94,615	13,516	36,354	
	8	25,060	136,113	17,014	41,497	
	9	30,487	180,609	20,068	44,496	
	10	35,662	226,470	22,647	45,862	
	11	40,543	272,531	24,776	46,061	
	12	45,118	317,995	26,500	45,464	
	13	49,390	362,339	27,872	44,345	
	14	53,372	405,239	28,946	42,900	
	15	57,082	446,507	29,767	41,268	
	16	60,539	486,049	30,378	39,542	
	17	63,762	523,838	30,814	37,789	
	18	66,772	559,887	31,105	36,049	
	19	69,585	594,240	31,276	34,353	
	20	72,217	626,956	31,348	32,716	
		<b>21</b>	<b>74,685</b>	<b>658,105</b>	<b>31,338</b>	<b>31,149</b>
		22	77,002	687,764	31,262	29,659
15	4	2,862***	7,368	1,842		
	5	6,250	21,636	4,327	14,269	
	6	10,521	44,370	7,395	22,733	
	7	15,262	74,110	10,587	29,740	
	8	20,173	108,885	13,611	34,775	
	9	25,061	146,868	16,319	37,983	
	10	29,812	186,593	18,659	39,725	
	11	34,361	226,965	20,633	40,373	
	12	38,679	267,206	22,267	40,241	
	13	42,753	306,781	23,599	39,575	
	14	46,585	345,335	24,667	38,554	
	15	50,183	382,647	25,510	37,312	
	16	53,558	418,588	26,162	35,941	
	17	56,724	453,093	26,653	34,506	
	18	59,696	486,146	27,008	33,052	
	19	62,486	517,758	27,250	31,612	
	20	65,108	547,962	27,398	30,204	
	21	67,576	576,805	27,467	28,843	
		<b>22</b>	<b>69,900</b>	<b>604,342</b>	<b>27,470</b>	<b>27,537</b>

\*  $\bar{G}_4 + \sigma_4$ , \*\*  $\bar{G}_4$ , \*\*\*  $\bar{G}_4 - \sigma_4$ . Valores em negrito indicam a ITC.



Com base nos dados apresentados na Tabela 11, foram gerados os gráficos com as curvas de produção referentes à área basal e ao volume, que encontram-se representadas nas Figuras 22 e 23. As maiores produções, tanto para o volume quanto para a área basal foram no Sítio I, e as menores no Sítio III, comprovando novamente a realidade biológica dos ajustes.

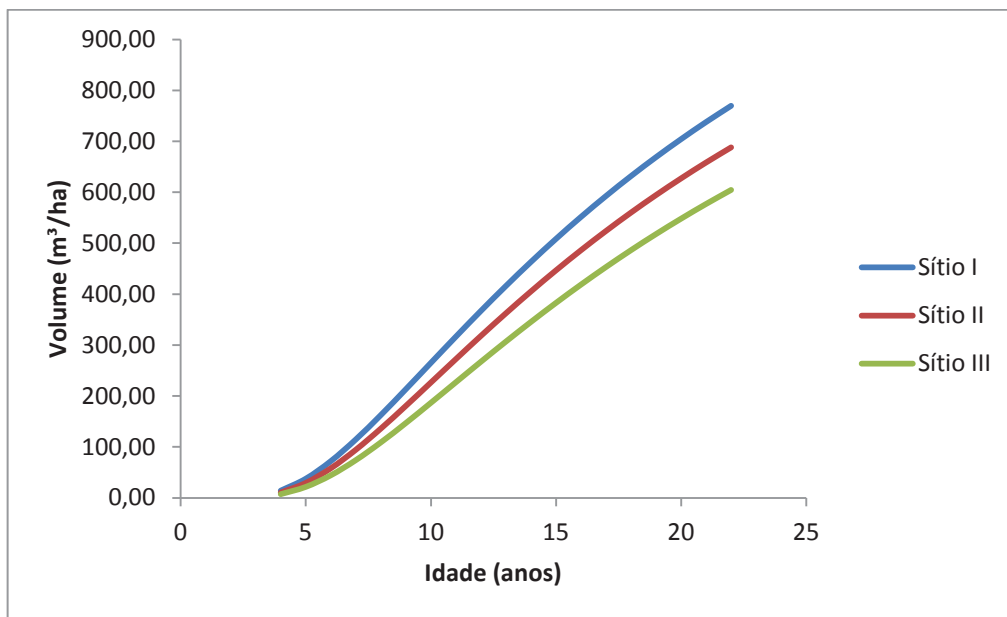


Figura 22: Curvas de produção em volume para os três sítios considerados.

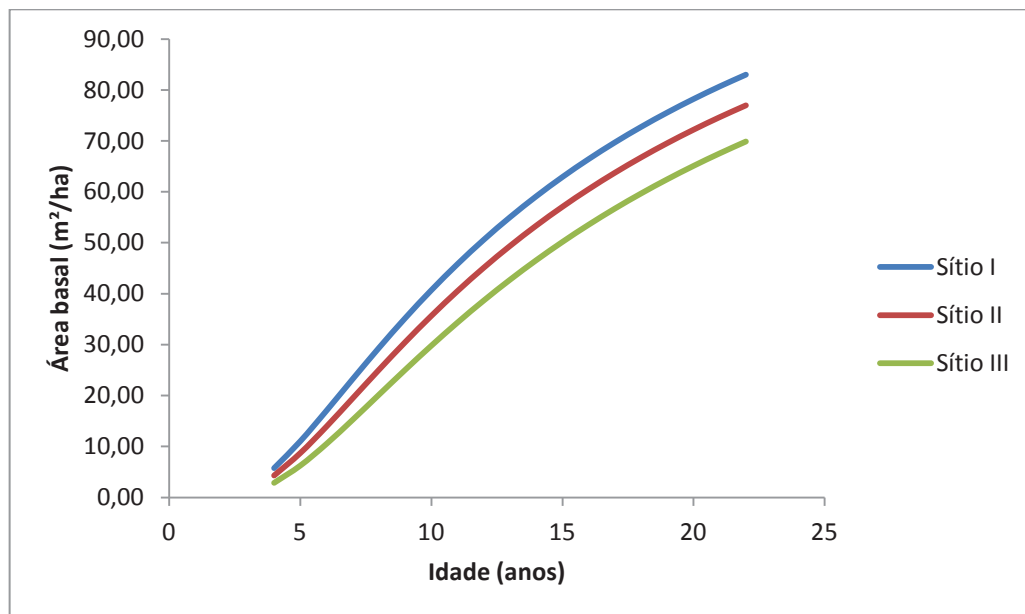


Figura 23: Curvas de produção em área basal para os três sítios considerados.

Nas Figuras 24 e 25 são apresentadas as curvas de incremento corrente e médio para as variáveis volume e área basal para o povoamento, construídas para cada uma das três classes de sítio consideradas na pesquisa.

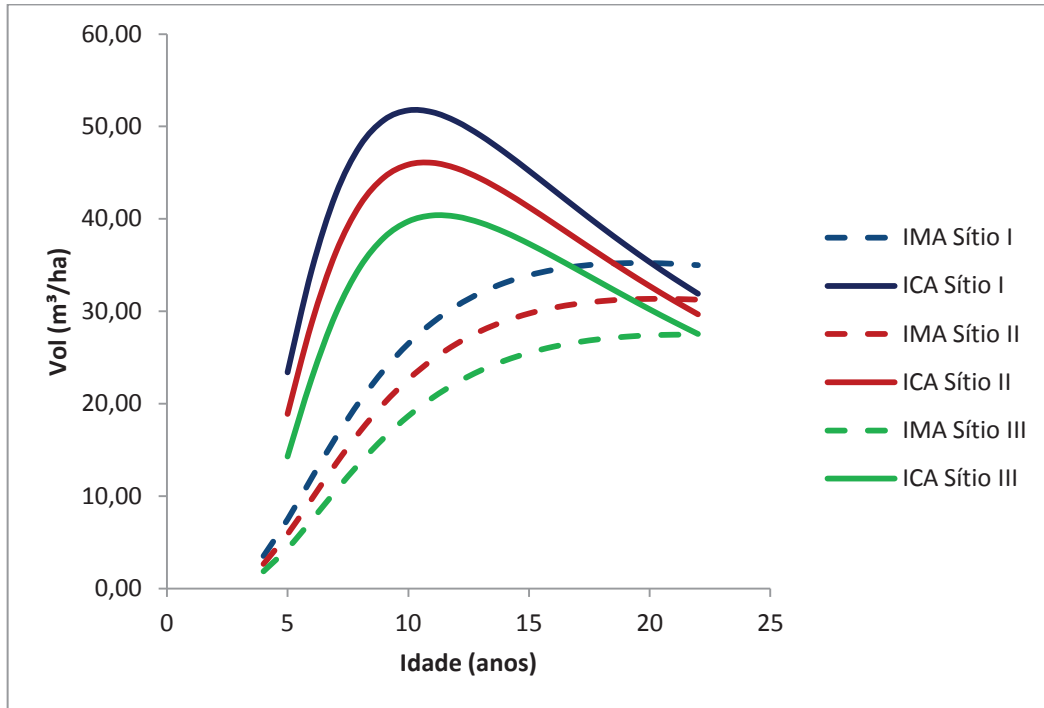


Figura 24: Curvas de incremento médio e corrente em volume por sítio.

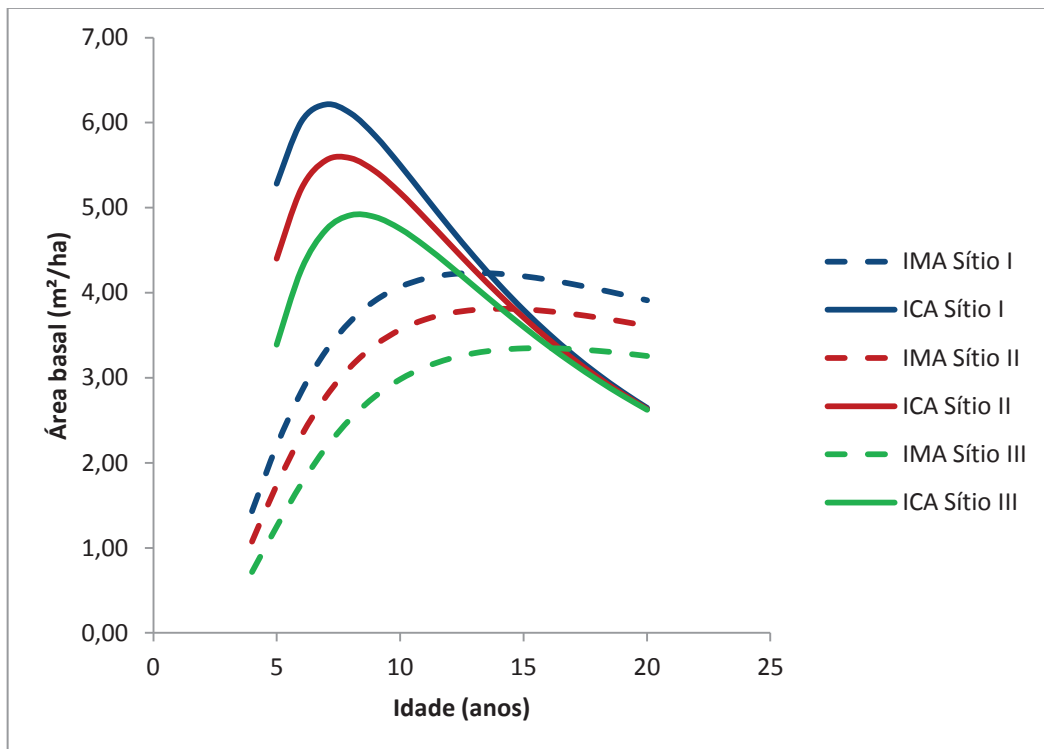


Figura 25: Curvas de incremento médio e corrente em área basal por sítio.

De acordo com as tabelas e gráficos de produção e as curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA) demonstrados, pode-se observar que as idades onde as curvas se cruzam para a variável volume, ou onde os valores do ICA passam a ser menores que os do IMA na tabela de produção, denominadas de idades técnicas de corte (ITC), são de 20, 21 e 22 anos, respectivamente para os sítios I, II e III, comprovando que quanto maior o índice de sítio, menor a idade desta intervenção, ou seja, existe compatibilidade biológica do modelo ajustado, conforme era esperado.

No que diz respeito à área basal, os pontos de cruzamento das curvas ocorrem ligeiramente antes se comparado ao volume, aos 13, 14 e 16 anos, respectivamente para os sítios I, II e III. Resultados similares foram encontrados por Nascimento (2010), que trabalhando com ajustes de modelos biométricos utilizando dados de *Pinus* sp de 5 a 34 anos na região Norte do Estado de Santa Catarina, obteve as mesmas idades técnicas de corte por meio do ajuste do modelo de Clutter. Dacosta (2008), estudando o crescimento de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes, Argentina, observou uma produção média entre os sítios 16 e 18 de 275 e 342 m<sup>3</sup>/ha na idade de 12 anos, valores compatíveis com os projetados nesta pesquisa.

Porém, apesar da similaridade das projeções com algumas publicações pesquisadas e já citadas, cabe sempre lembrar que todos estes resultados foram obtidos pela utilização de dados extremamente variados, que consideraram espaçamentos iniciais diversos (3,0 x 3,0 metros, 3,0 x 2,5 metros e 2,5 x 2,5 metros) e diferentes regimes de manejo (plantios novos sem nenhum desbaste, plantios com 10 anos de idade com e sem desbaste, plantios de 15 anos sem desbaste, plantios de 18 anos com 2 desbastes, por exemplo). Como o objetivo do trabalho não foi testar a utilização de diferentes regimes de manejo e suas consequências no crescimento e produção, e sim avaliar a técnica da ANATRO para a obtenção e sua utilização como fonte de dados para o ajuste de modelos de crescimento e produção, esta peculiaridade deve ser considerada, comparada, testada e validada antes que se realize qualquer estimativa de projeção futura com os resultados aqui obtidos.

Uma forma encontrada de realizar esta validação foi utilizar os dados de algumas das parcelas de inventário não consideradas na coleta da análise de tronco e plotar seus resultados observados de volume na idade da medição comparativamente às curvas de produção obtidas. Estes resultados podem ser observados na Figura 26.

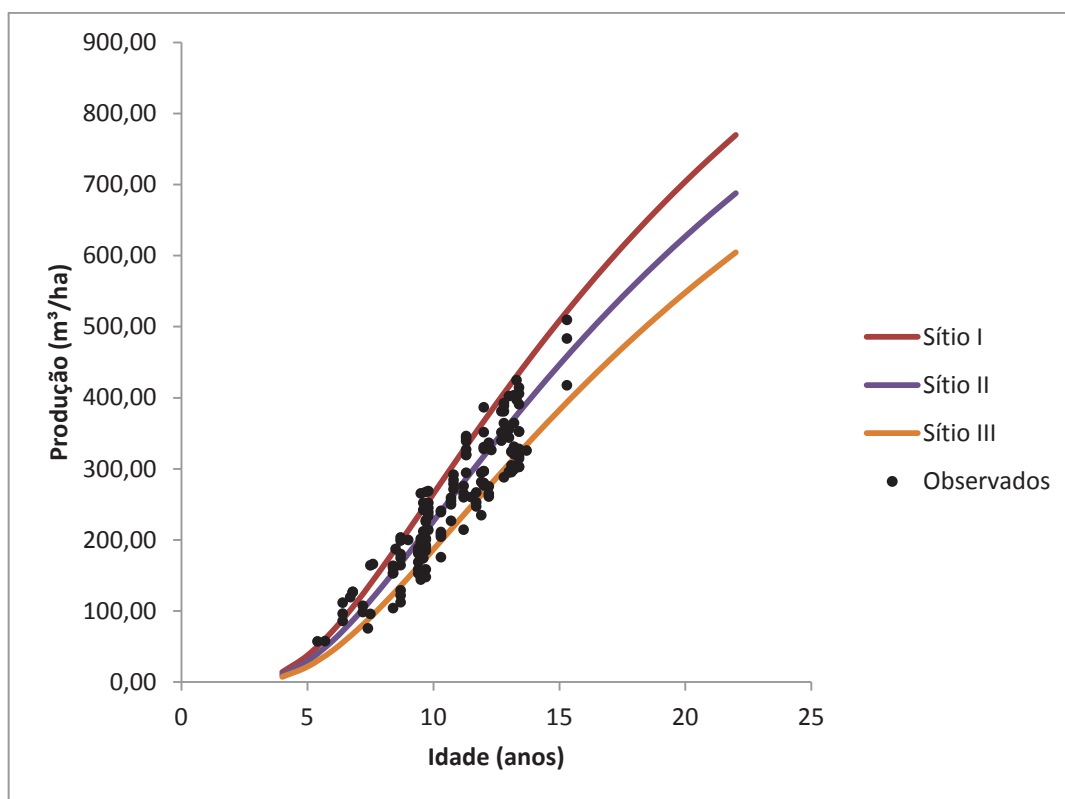


Figura 26: Validação dos resultados – Produção estimada x Produção observada

Conforme demonstrado na Figura 26, os dados observados de 150 amostras escolhidas aleatoriamente e que não foram utilizadas para a coleta das árvores derrubadas para a análise de tronco situaram-se, em sua imensa maioria, dentro do limite compreendido para os três sítios considerados neste estudo. Isto comprova que as curvas obtidas podem ser utilizadas para projeções futuras, desde que sejam considerados os volumes suprimidos em eventuais desbastes realizados ao longo dos anos.

## 6. CONCLUSÕES

A execução desta pesquisa, com base nos dados utilizados, possibilitou chegar às seguintes conclusões:

- O sistema LINTAB e os *softwares* TSAP e Florexcel proporcionaram agilidade no processo de medição dos anéis de crescimento e eficiência no processamento das informações da ANATRO;
- O modelo desenvolvido por Schumacher foi adequado para expressar o índice de sítio para a espécie *Pinus taeda* no local estudado;
- O modelo selecionado para estimar a área basal nas idades iniciais forneceu estimativas incoerentes, sendo a utilização da média e do desvio-padrão para a área basal por sítio mais adequada para estimar a área basal inicial;
- Os modelos de crescimento e produção que utilizam o sítio como variável independente, apresentaram idades técnicas de corte coerentes do ponto de vista biológico, ou seja, para sítios melhores, a idade técnica de corte foi menor;
- O modelo de produção de Clutter mostrou-se o mais adequado na obtenção das estimativas de volume e área basal, fornecendo valores coerentes do ponto de vista estatístico e biológico;
- As tabelas de produção construídas apresentaram valores coerentes do ponto de vista biológico, e também quando comparadas com a de outros autores;
- Obteve-se resultados adequados no emprego da análise de tronco completa como base de dados para estudos de modelagem do crescimento e da produção.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF; **Anuário Estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**, Brasília - ABRAF, 2012, 150 p.

ABREU, E. C. R.; **Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. UFLA, Lavras, 2000. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Lavras, 2000.

ACERBI JR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; **Modelo para Prognose do Crescimento e da Produção e Análise Econômica de Regimes de Manejo para *Pinus taeda***. Viçosa: Revista Árvore, v.26, n.6, 2002, p. 699-713.

ALVES, M. V. G.; OLIVEIRA, R. A.; KOEHLER, H. S.; MELLO FILHO, B. **Diagnóstico do Setor Florestal no Estado do Paraná. In: 2º Congresso Latino Americano** La Serena – Chile: IUFRO, Anais. Instituto Florestal do Chile, 2006.

ARCE, J. E.; **Treinamento em cálculos florestais diversos por meio do software FlorExel**. Irati: X Semana de Estudos Florestais e I Seminário de Atualização Florestal. Disponível em: <http://anais.unicentro.br/sef2009/palestrantes/Minicurso%202.pdf>. Acesso: 20/04/2012, 2009.

ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgessellschaft, 1961. 435p.

BARUSSO A. P.; **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. UFPR, Curitiba, 1977. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, 1977.

BRITO, C. C. R.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, E. S.; FERRAZ, I.; **Modelos de Crescimento Resultantes da Combinação e Variações dos Modelos de Chapmann-Richards e Silva-Bailey Aplicados em *Leucaena leucocephala (lam.) de Wit*** Santa Maria: Revista Ciência Florestal, abril-junho, ano/vol. 17, número 002, Universidade Federal de Santa Maria, 2002, p. 175-185.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.; **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. atual. ampl. Viçosa: Editora UFV, 2009, 548 p.

CARAGLIO, Y., BARTHELEMY, D.; **Revisão crítica dos termos relativos ao crescimento e à ramificação de vegetais vasculares**. Original francês, Tradução de: Miroslava Rakocevic, Moacir Jose Sales Medrado e Jorge Ribasky. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. 101 p.

CASTRO, R. R.; **Regulação de florestas equiâneas incluindo restrições de adjacência.** UFV, Viçosa, 2007. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, 2007.

CLUTTER, J. C.; FORTSON, J. C.; PLENAAR, L. V.; BRISTER, G. H. e BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach.** 3. ed. New York: John Willey, 1983, 333 p.

COELHO, V. C. M.; HOSOKAWA, R. T.; **Avaliação da reação de crescimento aos desbastes em *Pinus taeda* L.** Boa Vista, RR. Revista Agro@ambiente On-line, v. 4, n. 1, jan-jun, 2010, p. 42-48.

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

DANIEL, O.; YARED, J. A. G.; **Procedimentos para análise de tronco de espécies florestais.** Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1987. 36 p.

DAVIS, K. P. **Forest management, regulation and valuation.** New York: McGraw - Hill, 1966. 519 p.

DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de plantações de eucalipto submetidas a desbaste.** UFV, Viçosa, 2005, 135 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, 2005.

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste.** UFV, Viçosa, 2000. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, 2000.

DIAS A. N.; LEITE H. G.; CAMPOS J. C. C.; COUTO L. e CARVALHO A. F. **Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.731-739, 2005.

DUDA, L. L.; **Seleção genética de árvores de *Pinus taeda* L. na região de Arapoti, Paraná.** UFPR, Curitiba, 2003. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, 2003.

ELESBÃO, L. E. G.; **Crescimento e produção de *Pinus taeda* L. na região dos campos de cima da serra, Rio Grande do Sul.** UFSM, Santa Maria, 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

FERRAZ FILHO, A. C.; **Sistema de prognose do crescimento e produção para *Pinus taeda* L. sujeito a regimes de desbastes e podas.** UFPA, Lavras, 2009. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, 2009.

FERREIRA, A. T. B.; **Caracterização da estrutura anatômica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et golf.** ESALQ, Piracicaba, 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, C. G.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Conversão de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliottii*.** Curitiba: Anais 1º CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 7º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Curitiba: SBS/SBEF, v.2, p. 501-503. 1993.

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

FONTES, P. J. P.; **Auto-suficiência energética em serraria de *Pinus* e aproveitamento dos resíduos.** UFPR, Curitiba, 1994. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 1994.

GONÇALVES, M.; **Avaliação de investimento em reflorestamentos de *Pinus* sob condições de incerteza.** UFPR, Curitiba, 2004. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e Tecnológicas), Universidade Federal do Paraná, 2004.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; **Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul.** Santa Maria, Revista Ciência Florestal, Vol. 19, Núm. 1, 2010, pp. 7-22.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W.; **Forest mensuration.** New York :Ronald Press Co, 1982, 410 p.

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

KOEHLER, A. B.; **Modelagem Biométrica e Morfometria em Povoamentos Jovens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze, em Tijucas do Sul, Estado do Paraná.** UFPR, Curitiba, 2009. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2009.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. . **A cultura de *Pinus* no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005, 154 p.



MAACK, R.; **Geografia física do Estado do Paraná**. Editora José Olympio, Curitiba, 1981, 350 p.

MAESTRI, R., SANQUETTA, C. R., ARCE, J. E.; **Modelagem do Crescimento de Povoamentos de *Eucalyptus grandis* Através de Processos de Difusão**. Curitiba: Revista Floresta 33, (2), Jan/Jul 2003, p 169-182.

MAINARDI, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; **Produção de *Pinus taeda* na região de Cambará do Sul, RS**. Santa Maria: Revista Ciência Florestal, v.6, n.1, 1996, p. 39-52.

MARCHIORI, J. N. D.; **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1996. 158 p.

MIRANDA, R. O. V. **Modelagem em nível de povoamento para *Eucalyptus sp* com estratificação em classes de precipitação pluviométrica**. UNICENTRO, Irati, 2012. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2012.

MUNHOZ, J. S. B.; **Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco**. ESALQ, Piracicaba, 2011. 117 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

NASCIMENTO, F. A. F. **Modelagem biométrica e planejamento florestal otimizado utilizando a meta heurística enxame de partículas**. UNICENTRO, Irati, 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2010.

NOVAES, D. M. **Modelagem do crescimento e produção de povoamentos de *Tectona grandis* L.f. a partir de análise de tronco**. UFV, Viçosa, 2009. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

OLIVEIRA, M. L. R. **Mensuração e Modelagem do Crescimento e da Produção de Povoamentos Não-Desbastados de Clones de Eucaliptos**. UFV, Viçosa, 2007. 119 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, 2007.

PELLICO NETTO, S.; BRENA, D. A.; **Inventário Florestal**. Curitiba: Editado pelos autores. 1997. 316 p.

RODRIGUES, F. L. **Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear**. UFV, Viçosa, 1997. 109 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal), Universidade Federal de Viçosa, 1997.

ROSOT, M. A. D. **Processamento digital de imagens aplicado à medição de anéis de crescimento na análise de tronco**. UFPR, Curitiba, 2002. 162 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, 2002.

ROSOT, N. C.; EMERENCIANO, D. B.; ROSOT, M. A. D. **Yield table for *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Plantation by stem analysis in Southern Brazil**. Lyngby: Danish Forest and Landscape Research Institute, 1993. p. 239-249.

SANQUETTA, C. R.; **Pinus – Uma alternativa de mercado**. REMADE - Revista da Madeira, [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=257&subject=Manejo&title=Manejo](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=257&subject=Manejo&title=Manejo); Acesso em 28 de Julho de 2012.

SANQUETTA, C. R.; WEBER, S. H.; FRMAGINI, F.; BARBEIRO, L. S.; VIEIRA, G.; **Equações individuais e determinação de classes de crescimento para *Nectandra grandiflora* Nees a partir de dados de análise de tronco**, Curitiba, PR: Revista Scientia Agraria, vol. 11, num. 1, 2010, p. 01-08.

SANTOS, W. C.; **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. UFPR, Curitiba, 2006. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, 2006.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo florestal**. Santa Maria: Ed. FACOS, 2008. 566 p.

SELLE, G. L.; SCHNEIDER, C. R.; FINGER, C. A. G.; **Classificação de sítio para *Pinus taeda* L., através da altura dominante, para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil**, Santa Maria: Revista Ciência Florestal, vol. 4, número 1, Universidade Federal de Santa Maria, 1994, p. 77-95.

SERRANO, A. L. M. **Análise econométrica do mercado de madeira em toras para produção de celulose**. UNB, Brasília, 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Economia Florestal), Universidade de Brasília, 2008.

SIQUEIRA, J. P. D. **Os conflitos institucionais da gestão florestal no Brasil – um benchmarking entre os principais produtores florestais internacionais**. UFPR, Curitiba, 2003. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2003.

SCHIMIZU, J. Y., **Pinus na Silvicultura Brasileira**, Embrapa Florestas. Disponível em: [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/pinus\\_na\\_silvicultura\\_brasil\\_eira.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/pinus_na_silvicultura_brasil_eira.html). Acesso em 30 de Julho de 2010.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas.** Lavras: UFLA/FAEP, 1998. 463 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Curvas de índice de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** Lavras: IPEF, n. 45, 1992, p. 40-47.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 276p.

SPURR S. H. **Forest Inventory.** New York : Ronald Press, 1952, 476 p.

SULLIVAN, A. D.; e CLUTTER, J. L.; **A simultaneous growth and yield for loblolly pine.** Forest Science, v. 18, n. 1, 1972, p. 76-86.

TEMPS, M.; **Adição da Precipitação Pluviométrica na Modelagem do Crescimento e da Produção Florestal em Povoamentos não Desbastados de *Pinus taeda* L.** UFPR, Curitiba, 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2005.

THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, C. R.; FINGER, C. A. G.; **Comparação de Equações Volumétricas Ajustadas com Dados de Cubagem e Análise de Tronco.** Santa Maria: Revista Ciência Florestal, v. 16, n. 3, 2006, p. 319-327.

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; FERREIRA, R. L. C.; SCHNEIDER, P. R.; SPATHELF, P.; **Comparação gráfica entre curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* desenvolvidas no sul do Brasil.** Santa Maria: Revista Ciência Florestal, vol. 12, número 1, Universidade Federal de Santa Maria, 2002, p. 143-152.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield – application to mixed tropical forests.** CABI Publishing, Oxon, UK, 1999, 312 p.