

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SINTIA VALERIO KOHLER

EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO DO TRONCO E DO SORTIMENTO EM PLANTIOS  
DE *Pinus taeda* NOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA

CURITIBA

2013

SINTIA VALERIO KOHLER

EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO DO TRONCO E DO SORTIMENTO EM PLANTIOS  
DE *Pinus taeda* NOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Manejo Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Soares Koehler

Co-orientadores: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho  
Prof. Dr. Julio Eduardo Arce  
Prof. Dr. Sebastião do Amaral  
Machado

CURITIBA

2013



Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Kohler, Sintia Valerio

Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina / Sintia Valerio Kohler - 2013.

84 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Soares Koehler

Co-orientadores: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 28/02/2013




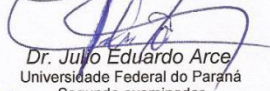
Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

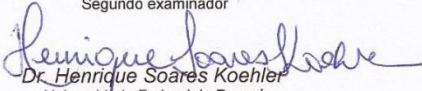
### PARECER

Defesa nº. 964

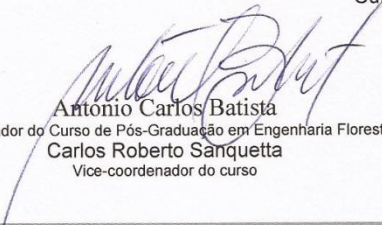
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Sintia Valerio Kohler* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO DO TRONCO E DO SORTIMENTO EM PLANTIOS DE *Pinus taeda* NOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.

  
Dr. Márcio Coraiola  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Primeiro examinador

  
Dr. Julio Eduardo Arce  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo examinador

  
Dr. Henrique Soares Koehler  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 28 de fevereiro de 2013.

  
Antonio Carlos Batista  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Carlos Roberto Sanquetta  
Vice-coordenador do curso

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



*Aos meus pais, Everli Valerio Kohler  
e Carlos Alberto Kohler*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, fonte de sabedoria e amor, por me iluminar neste caminho e por atender meus pedidos em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais e meu irmão por todo amor e carinho, por sempre me incentivarem e não medirem esforços para me ajudar nesta caminhada.

Ao meu orientador Professor Henrique Soares Koehler pela oportunidade e por toda ajuda e paciência nas horas mais complicadas deste trabalho.

Ao Professor Afonso Figueiredo Filho pela grande contribuição neste trabalho, pela amizade e incentivo dados durante todos esses anos.

Ao professor Julio Eduardo Arce, por compartilhar seus conhecimentos que foram de grande ajuda para o desenvolvimento deste trabalho.

Em especial aos meus amigos e colegas de profissão Fabiane Aparecida Retslaff e Rômulo Môra por todas as vezes que me ajudaram quando as dúvidas e problemas surgiam.

Ao colega Neumar Wolff II pela grande ajuda com parte dos dados deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de laboratório pelos momentos de descontração e amizade, durante os dias de trabalho e fora deles também.

Aos meus amigos de muito tempo pelo apoio e compreensão pelo tempo de ausência.

A meus tios Maria Lucia e José Mario e aos meus primos, que tanto me ajudaram aqui em Curitiba, principalmente a minha prima Marina pelo imenso apoio, nossas conversas e jantas me ajudaram muito a seguir em frente nos dias mais difíceis.

Em especial ao meu namorado que muito tem me apoiado neste caminho.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, a todos, que de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho

Muito obrigada

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PERFIL LONGITUDINAL OBTIDO POR ANÁLISE DE TRONCO.....	19
FIGURA 2 - FORMA DO TRONCO DE UMA ÁRVORE .....	22
FIGURA 3 - CARTA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	36
FIGURA 4 - FATIAS COLETADAS DA ÁRVORE .....	38
FIGURA 5 - ANÉIS DE CRESCIMENTO E MARCAÇÃO DOS RAIOS .....	38
FIGURA 6 - EQUIPAMENTO LINTAB 6.0.....	39
FIGURA 7 - ENTRADA DE DADOS NO FLOREXEL: TALHOES, PARCELAS E ÁRVORES.....	48
FIGURA 8 - ENTRADA DE DADOS NO FLOREXEL: COEFICIENTES E POTÊNCIAS DO MODELO DE AFILAMENTO .....	49
FIGURA 9 - ENTRADA DE DADOS NO FLOREXEL: DIMENSÕES DOS SORTIMENTOS.....	49
FIGURA 10 - PERFIL DA ÁRVORE GERADO PELA ANÁLISE DE TRONCO.....	51
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA AS EQUAÇÕES AJUSTADAS .....	52
FIGURA 12 - DISPERSÃO DOS DADOS EM RELAÇÃO ÀS LINHAS ESTIMADAS PELAS EQUAÇÕES DE POTÊNCIAS INTEIRAS E FRACIONÁRIAS AJUSTADAS, PARA OS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA .....	54
FIGURA 13 - RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS PARA OS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.....	55
FIGURA 14 - RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS POR CLASSES DE IDADE PARA O ESTADO DO PARANÁ O.....	58
FIGURA 15 - RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS POR CLASSES DE IDADE PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA.....	59
FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO DOS POVOAMENTOS PARA DADOS ORIUNDOS DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA .....	62
FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DOS FATORES DE FORMA NATURAL E ARTIFICIAL NOS POVOAMENTOS DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA .....	66
FIGURA 18 - VOLUME MÉDIO POR ÁRVORE PARA AS DUAS ÁREAS EM ESTUDO .....	67



FIGURA 19 - EVOLUÇÃO DOS VOLUMES (m <sup>3</sup> ) POR SORTIMENTO .....	68
FIGURA 20 - PERCENTUAL DOS VOLUMES CLASSIFICADOS POR TIPO DE USO E CLASSES DE IDADE.....	69
FIGURA 21 - COMPARAÇÃO DOS SORTIMENTOS PARA AS ÁREAS LOCALIZADAS NO ESTADODO PARANÁ (LINHAS CONTÍNUAS) E NO ESTADO DE SANTA CATARINA (LINHAS PONTILHADAS).....	72

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSES DE IDADE (ANOS) UTILIZADAS NOS AJUSTES.....	42
TABELA 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TESTE PROPOSTO .....	45
TABELA 3 - CLASSES DE SORTIMENTO .....	47
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS .....	50
TABELA 5 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA NAS DIFERENTES ALTURAS E POR IDADE .....	52
TABELA 6 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA AS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS PARA OS DADOS DO ESTADO DO PARANÁ E SANTA CATARINA .....	54
TABELA 7 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO POLINÔMIO AJUSTADO PARA AS CLASSES DE IDADE PARA OS ESTADOS DO PARANÁ E DE SANTA CATARINA.....	57
TABELA 8 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O ERRO MÉDIO PARA AS EQUAÇÕES AJUSTADAS .....	60
TABELA 9 - ERRO MÉDIO ABSOLUTO E RELATIVO NA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS .....	61
TABELA 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F NA COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE AFILAMENTO PARA DADOS DO ESTADO DO PARANÁ .....	63
TABELA 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F NA COMPARAÇÃO DA CURVAS DE AFILAMENTO PARA DADOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA .....	63
TABELA 12 - TESTE t PARA AS CURVAS DE AFILAMENTO OBTIDAS PARA OS DADOS ORIUNDOS DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA .....	63
TABELA 13 - FATORES DE FORMA ARTIFICIAL ( $f_{1,3}$ ) E NATURAL ( $f_{0,1}$ ) POR IDADE .....	64
TABELA 14 - SORTIMENTOS EM PORCENTAGEM PARA POVOAMENTO LOCALIZADO NO ESTADO DO PARANÁ .....	70
TABELA 15 - SORTIMENTOS EM PORCENTAGEM PARA POVOAMENTO LOCALIZADO NO ESTADO DE SANTA CATARINA .....	70

## RESUMO

A dinâmica da forma do tronco em povoamentos de *Pinus taeda* foi estudada com fatores de forma e funções de afilamento, avaliando-se também a evolução do sortimento produzido. Os dados utilizados foram obtidos pela técnica de análise de tronco completa aplicada em povoamentos estabelecidos nos estados do Paraná e de Santa Catarina, amostrando-se 126 e 120 árvores respectivamente em cada estado. Foram ajustados como modelos de afilamento o polinômio de quinto grau e o polinômio de potências inteiras e fracionárias, para o conjunto total de dados e para os dados estratificados em classes de idade. Uma vez selecionado o modelo de afilamento, foram construídas curvas de afilamento para as classes de idades. Os fatores de forma verdadeiros e artificiais foram calculados para todas as árvores do estudo, sendo determinada sua evolução com a idade. O sortimento florestal foi calculado utilizando o programa FlorExel®, para os povoamentos a partir dos sete anos de idade. O modelo selecionado para a estimativa dos diâmetros ao longo do tronco foi o polinômio de potências inteiras e fracionárias. Na comparação do ajuste do modelo geral com os ajustes dos modelos em classes de idade não foram observadas grandes melhorias nas estimativas. As análises das curvas de afilamento e dos fatores de forma revelaram, como esperado, uma melhoria da forma das árvores com o aumento da idade. Os fatores de forma comum e natural foram determinados e curvas foram construídas para análise da evolução da forma. Os volumes totais médios por árvore obtidos aos 18 anos foram de 1,157 m<sup>3</sup> para o estado do Paraná e 0,959 m<sup>3</sup> para o estado de Santa Catarina. Volumes para celulose foram obtidos desde a classe de 7 a 9 anos, onde foi maior sua representatividade. Volumes para serraria tipo 1 (d >16 cm) foram produzidos nos plantios a partir da idade de 7 anos, e para serraria tipo 2 (d >23cm) a partir da idade de 8 e 9 anos, respectivamente, representando 70% do volume total (serraria tipo 1 + serraria tipo 2) na classe de idade 10 a 12 anos. Volumes para laminação foram obtidos a partir da idade 14 anos em ambos os estados, representando 15,51% do volume total na classe de 16 a 18 anos no estado do Paraná e 30,87% do volume total na classe 19 a 22 anos para estado de Santa Catarina.

Palavras-chave: análise de tronco; forma do tronco; sortimento florestal.

## ABSTRACT

The dynamic of stem form in stands of *Pinus taeda* was studied using form factors and taper functions, and also the evolution of the assortment produced was evaluated. The data used were obtained by the stem analysis applied in stands of *Pinus taeda* established in Paraná and Santa Catarina states, with a sample of 126 and 120 trees respectively for each state. A fifth degree polynomial equation and an integer and fractional power equation were fitted as taper functions, using the whole data set and the data separated by age classes. Once selected the taper model, curves were fitted by age classes. Artificial and true form factors were calculated for the entire data set and their evolution were determined by age. The tree assortment was calculated by the FlorExel® software, for stands older than seven years of age. The equation selected for estimating diameters at different stem heights was the integer and fractional power polynomial. Fitting equation by age classes as compared to the whole data set did not show major improvements in the estimates. The taper function and form factor analysis confirmed, as expected, a better stem shape as the age increases. Artificial and true form factors were determined and curves were built to analyze the evolution of form. The average tree volume was 1,157 m<sup>3</sup>, at age of 18 years in Paraná state and 0,959 m<sup>3</sup> at Santa Catarina state. Wood for cellulose was best produced at class age of 7 to 9 years, for sawn wood (DBH > 16cm) from 7 years of age on and for sawn wood (DBH > 23 cm) from 8 and 9 years of age, for stands in Paraná and Santa Catarina, respectively. Volumes for sawmill type 1 (d > 16 cm) were produced in plantations from the age of 7 years, and for sawmill type 2 (d > 23cm) from the age of 8 and 9 years, respectively, representing 70% of the total volume (sawmill type 1 + sawmill type 2) at 10 to 12 years of age. Tree volumes for veneer were produced from 14 years of age on, in both stands, and accounts for 15,1% of the total volume in Paraná state at age of 16 to 18 years of age and 30,8% at age of 19 to 22 years for Santa Catarina state.

Key words: stem analysis, taper function, forest assortment.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1	OBJETIVO GERAL.....	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1	PLANTIOS FLORESTAIS NO BRASIL.....	14
2.2	<i>Pinus taeda</i> .....	15
2.2.1	Usos.....	16
2.3	ANÁLISE DE TRONCO .....	16
2.4	FORMA DO TRONCO .....	20
2.4.1	Fatores que afetam a forma do tronco.....	22
2.5	MÉTODOS PARA EXPRESSAR A FORMA DAS ÁRVORES .....	26
2.5.1	Fator de forma .....	26
2.5.2	Quociente de forma .....	28
2.5.3	Funções de afilamento.....	28
2.6	SORTIMENTO FLORESTAL .....	32
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	35
3.1	DESCRIÇÃO DOS DADOS .....	35
3.1.1	Dados do estado do Paraná .....	35
3.1.2	Dados do estado de Santa Catarina .....	36
3.2	ANÁLISE DE TRONCO COMPLETA.....	37
3.2.1	Corte e tratamentos das fatias.....	37
3.2.2	Marcação e medição dos anéis .....	38
3.2.3	Exportação e processamento dos dados.....	39
3.3	VALIDAÇÃO .....	40
3.4	ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA.....	41
3.5	AJUSTE DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO .....	41
3.6	SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO DE AFILAMENTO.....	43
3.7	EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO.....	43
3.8	EVOLUÇÃO DO FATOR DE FORMA.....	45
3.9	EVOLUÇÃO DO SORTIMENTO.....	47
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	50
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS AMOSTRADOS .....	50

4.2	ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA.....	51
4.3	FUNÇÕES DE AFILAMENTO .....	53
4.3.1	Ajuste e seleção das equações de afilamento para todos os dados .....	53
4.3.2	Equações de afilamento ajustadas em classes de idade.....	56
4.3.3	Comparação entre os ajustes geral e em classes de idade.....	59
4.4	CURVAS DE EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO.....	61
4.5	FATOR DE FORMA.....	64
4.6	EVOLUÇÃO DO SORTIMENTO.....	66
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	73
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75
	<b>APÊNDICE 1</b> .....	83
	<b>APÊNDICE 2</b> .....	84

## 1 INTRODUÇÃO

Plantios com os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* constituem a principal fonte de produtos advindos de florestas no Brasil, contribuindo para diminuir a exploração de florestas naturais. A madeira de *Pinus* spp. possui diversos usos, sendo de grande importância para indústrias de celulose, serraria e laminação.

De acordo com Ferreira (2005), o plantio de pinus pode ser visto como uma atividade que minimiza a exploração extrativista de florestas nativas no Brasil e que o aumento da sua produtividade é relevante para a contínua redução das áreas destinada à atividade florestal.

O aumento da produtividade dos povoamentos está altamente relacionado com as práticas de manejo aplicadas e com o planejamento do uso das florestas. As práticas de manejo adotadas têm como objetivo agregar valor à madeira, melhorando suas características, podendo ser empregadas visando a obtenção de multiprodutos das florestas, que possibilitam a maximização dos lucros.

A maximização da renda obtida com povoamentos florestais tem sido a preocupação de muitas empresas, de modo que a diversificação de produtos é essencial para o desenvolvimento florestal. O mercado exige cada vez mais diversidade e qualidade dos produtos florestais, demandando formas para quantificar e qualificar esses produtos. Assim, os modelos de afilamento passam a representar uma importante ferramenta para atender a estas novas necessidades, uma vez que permitem a determinação de volumes das diferentes partes da árvore e conseguem representar a forma do tronco das árvores, sendo que esta tem influência direta na qualidade e quantidade dos multiprodutos.

A busca por um modelo que descreva com exatidão a forma do tronco das árvores tem sido o objetivo de muitas pesquisas recentes. Procura-se estimar os diâmetros a qualquer altura ao longo do fuste e a altura até qualquer diâmetro especificado, uma vez que esses dados permitem quantificar o número de toras com bitolas e comprimentos pré-definidos ou os múltiplos produtos da madeira.

Os modelos de afilamento permitem, além da estimativa dos volumes, descrever a forma do tronco das árvores, característica importante na determinação das dimensões dos multiprodutos. Dessa forma, a determinação e interpretação das relações entre a forma dos troncos e as condições ambientais, a possibilidade de

exercer influência sobre ela e de prognosticar a forma e os produtos que serão obtidos de uma árvore ou povoamento, constituem uma preocupação cotidiana dos manejadores de florestas.

A descrição e classificação dos fustes de forma otimizada segundo sua qualidade, suas dimensões e suas possibilidades de utilização, garante, além da classificação física, melhor remuneração da madeira, com a destinação de toras de diversas bitolas ao mercado específico (SOUZA, 2008).

Os desperdícios causados pelos atuais processos de transformação têm induzido a pesquisa e desenvolvimento de modelos estatísticos, aplicados ao manejo de florestas, que auxiliem na definição de uso dessas madeiras e de transformação em produto final, com o intuito de torná-las mais rentáveis (CHICHORRO *et al.*, 2003).

O estudo do sortimento florestal quantifica os multiprodutos que podem ser obtidos de um povoamento e representa uma atividade de grande importância para o planejamento do manejo florestal.

Conhecer como se desenvolve o sortimento de um povoamento florestal ao longo dos anos é uma importante ferramenta para o planejamento da produção florestal, pois permite um melhor aproveitamento da madeira, reduzindo o volume de resíduos gerados e aumentando os lucros. Planos de manejo mais adequados podem ser elaborados com bases nesses estudos, auxiliando o manejador florestal a tomar decisões mais seguras acerca de quando e como devem ser realizadas as intervenções na floresta, atendendo as exigências do mercado.

Segundo Schneider *et al.* (1996), uma das grandes dificuldades do manejo florestal e, em especial, da avaliação econômica de povoamentos florestais, reside na inexistência de tabelas de sortimento apropriadas que possibilitem determinações rápidas do estoque de madeira para diferentes tipos de aproveitamento.

Levando em consideração que são poucos os estudos sobre o sortimento florestal e sua evolução nas diferentes fases de crescimento do povoamento e devido a importância deste estudo para o planejamento das florestas, fica evidente a importância de estudos sobre a forma do tronco das árvores, usados na determinação de multiprodutos de acordo com as dimensões do tronco, ou seja, na determinação do sortimento do povoamento



## 1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a forma do tronco e avaliar a evolução do sortimento em várias fases do crescimento de árvores oriundas de plantios de *Pinus taeda* localizados nos estados do Paraná e Santa Catarina, usando a técnica de análise de tronco completa para obtenção dos dados.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recuperar o crescimento passado em diâmetro, altura, volume e afilamento das árvores estudadas, com o uso de dados provenientes de análise de tronco completa;
- Ajustar modelos de afilamentos para o conjunto total de dados e para classes de idades;
- Avaliar a necessidade de utilizar dados estratificados em classes de idade ou não, para as estimativas dos diâmetros ao longo do tronco;
- Avaliar a evolução do afilamento do tronco das árvores ao longo do desenvolvimento dos povoamentos com o uso de fatores de forma e de funções de afilamento;
- Avaliar o comportamento do sortimento da espécie estudada em diferentes classes de idade dos povoamentos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PLANTIOS FLORESTAIS NO BRASIL

O setor florestal brasileiro desenvolveu-se principalmente a partir da década de 60 com a implementação de incentivos fiscais por parte do governo, que viabilizaram os plantios florestais. Devido a isso, extensas áreas foram plantadas com as espécies *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus* spp., as quais, atualmente, constituem-se a base de importantes atividades industriais do setor florestal brasileiro.

Em 2011 as áreas ocupadas por plantios florestais no Brasil totalizaram 6.515.844 ha, sendo 74,8 e 25,2%, correspondentes aos plantios dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, respectivamente. As áreas com povoamentos do gênero *Pinus* estão concentradas principalmente na região sul do país, representando 83% de um total de 1.641.892 ha plantados no Brasil (ABRAF, 2012).

A maior concentração de povoamentos de pinus no sul se deve ao fato de que essa região possui as melhores condições edafoclimáticas para esse gênero e concentra os principais centros processadores de sua madeira. O Paraná é o estado com maior área plantada com o gênero *Pinus*, totalizando 658.707 ha, e o estado de Santa Catarina tem a segunda maior área com 538.254 ha (ABRAF, 2012).

O sul do país já possuía uma vocação madeireira com base no Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*) e outras madeiras nobres como canelas, imbuías, perobas e cedros. Essas madeiras foram exploradas por anos seguidos até chegarem ao esgotamento de suas florestas, passando a partir disso a serem protegidas pela lei. Assim, segundo Coelho (2010) o gênero *Pinus* veio como uma alternativa ao esgotamento da madeira nativa das citadas espécies no sul do país. O uso do *Pinus* representa também uma forma de minimizar a exploração de florestas nativas, constituindo-se em uma alternativa para gerar matéria prima florestal de forma renovável e com sustentabilidade.

No Brasil, o gênero *Pinus* foi introduzido inicialmente em 1936, pelo Serviço Florestal do estado de São Paulo, e vem sendo amplamente utilizado nos programas de reflorestamento no país. As condições de adaptação do *Pinus* aos solos

ligeiramente ácidos, que constituem a grande maioria dos solos do país, permitiram a implantação de extensas áreas que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornaram as espécies deste gênero em uma importante fonte de matéria-prima, proveniente de florestas estabelecidas dentro dos padrões de sustentabilidade (KRONKA *et al.*, 2005).

## 2.2 *Pinus taeda*

O *Pinus taeda* é uma conífera pertencente ao reino *Plantae*, filo *Coniferophyta*, classe *Pinopsida*, ordem *Pinales*, família *Pinaceae*. É conhecido popularmente como pinheiro-americano e pinheiro-amarelo. É a espécie mais plantada entre os *Pinus*, segundo Shimizu (2005), abrangendo aproximadamente um milhão de hectares no planalto da região sul do Brasil, sendo utilizado para produção de celulose de fibra longa, papel, madeira serrada, chapas laminadas e compensados.

O *Pinus taeda* é uma espécie nativa dos Estados Unidos, sendo comercialmente a mais importante no sul desse país, com uma extensão de cerca de 11,7 milhões de hectares. A área de distribuição natural dessa espécie se estende por 14 estados desde o sul de Nova Jersey até a região centro-sul da Flórida e do oeste do Texas. Esta área inclui a Planície Atlântica, o Planalto Piemonte, e as extremidades sul do Planalto Cumberland, nas terras altas do Rim, e no vale e cume das montanhas Apalaches. É uma espécie adaptável, apresentando variado grau de sucesso quando introduzidas em outros continentes (BAKER e LANGDON, 1990).

Segundo Shimizu (2005), a região de ocorrência de *Pinus taeda* apresenta clima úmido, temperado-ameno, com verões quentes e longos. A precipitação média anual varia de 1.020 mm a 1.520 mm e o período livre de geadas varia de cinco meses na parte norte até dez meses, na parte costeira sul. No Brasil esta espécie se desenvolve bem nas regiões com clima fresco e inverno frio, com disponibilidade constante de água, solo bem drenado, onde não haja déficit hídrico. Esta condição é encontrada em todo o planalto das regiões Sul e Sudeste, que inclui as partes

serranas dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, bem como as partes mais chuvosas do sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais.

O *Pinus taeda* destacou-se como espécie em potencial para reflorestamentos na região sul do país devido ao seu elevado incremento volumétrico nas regiões mais frias do planalto sulino, além de apresentar um menor teor de resina em sua madeira, em comparação com o *Pinus elliottii* (SHIMIZU e HIGA, 1981).

### 2.2.1 Usos

O *Pinus taeda* é uma das espécies do gênero de maior desenvolvimento na região sul do Brasil, alcançando incrementos médios anuais (IMA) superiores a 40m<sup>3</sup>/ha/ano aos 18 anos e níveis de produtividade entre os maiores do mundo para a espécie (FERREIRA, 2005). Esses valores de crescimento são superiores aos encontrados nas plantações dos Estados Unidos, onde a média de crescimento é de 13,7 m<sup>3</sup>/ha/ano (ABRAF, 2012).

Espécies de *Pinus* são plantadas em todo o mundo, e valorizadas por apresentarem madeira de cor clara, com fibras longas usadas para produção de celulose empregada na fabricação de papel de alta resistência para embalagens, papel de imprensa, etc. Além de fornecer madeira para serraria, construção civil, movelaria, laminados, compensados, entre muitos outros.

Algumas espécies apresentam potencial para extração de resina em escala comercial além de apresentarem rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para a agricultura (SHIMIZU e MEDRADO, 2005).

### 2.3 ANÁLISE DE TRONCO

Como o desenvolvimento de uma floresta, desde o plantio das mudas até o corte final, é de grande interesse para o manejador florestal, obter informações sobre esse desenvolvimento ao longo dos anos é o objetivo de muitos estudos atualmente. De posse dessas informações é possível projetar com segurança qual

será a produção final do povoamento, bem como saber a época mais adequada para realizar as intervenções necessárias, como podas, desbastes e por fim o corte raso.

Coelho (2010) avaliou o manejo de povoamentos de *Pinus taeda*, utilizando dados provenientes de análise parcial do tronco para ajustar funções de crescimento e produção para estudo do comportamento do crescimento ao longo do tempo.

Meyer (1942), citado por Campos e Leite (2009), afirmou que o crescimento passado em florestas pode ser determinado de duas formas diferentes, ou medindo os anéis de crescimento das árvores ou com remedições de parcelas permanentes. Parcelas permanentes segundo Campos e Leite (2009) podem ser oriundas de inventários florestais contínuos ou ser estabelecidas unicamente para obter dados para monitorar mudanças na população estudada. Constituem uma fonte de dados muito eficiente permitindo obter informações sobre o crescimento de todas as variáveis da árvore, além de permitir a avaliação da mortalidade e do ingresso de árvores.

A análise de tronco (ANATRO) é uma técnica que possibilita "o registro do crescimento passado de uma árvore", e que revela quanto ela cresceu em diâmetro, altura e como mudou sua forma com o incremento do seu tamanho (HUSCH *et al.*, 1982). Essa técnica realiza a reconstituição de todo o crescimento passado da árvore, considerando cada ano de crescimento como uma árvore individual, permitindo a obtenção de um extenso conjunto de dados acerca do crescimento em diâmetro, altura e volume, bem como a obtenção dos incrementos médios e anuais para essas variáveis. São dados apropriados para diversos estudos sobre o povoamento.

A análise de tronco proporciona dados com praticamente a mesma qualidade dos obtidos por parcelas permanentes. Os custos podem ser considerados altos, no entanto, os dados podem ser utilizados imediatamente (CLUTTER *et al.*, 1983).

Até certo ponto a técnica de análise de tronco pode substituir o emprego de parcelas permanentes como fonte de dados para estudo de crescimento e produção florestal, sendo uma limitação a restrição do emprego somente em espécies onde os anéis anuais de crescimento são distintos. Outra limitação da análise de tronco como fonte de dados é a dificuldade em computar possíveis desbastes parciais, além da mortalidade e ingresso de árvores, ocorridos em idade anteriores à amostragem (CAMPOS e LEITE, 2009).

Existem duas formas de realizar a análise de tronco, a parcial e a completa. A análise de tronco parcial é uma técnica que não necessita o corte da árvore. As amostras são obtidas das árvores em pé, com o uso do trado de Pressler, com o qual, retiram-se pequenas amostras do tronco em forma de rolos de incremento e a partir deles é feita a contagem e a medição dos anéis.

As amostras, em geral, são retiradas na altura do diâmetro à altura do peito (DAP) e acondicionadas em recipientes apropriados para evitar que quebrem. Segundo recomendou Prodan (1965), devem ser retiradas duas amostras de cada árvore, com ângulo de 90° entre os pontos de amostragem. Uma dificuldade encontrada na extração dos rolos de incremento ocorre devido à natureza do lenho, quando o grau de dureza do mesmo é muito elevado.

As amostras extraídas podem apresentar algumas restrições à contagem dos anéis, em função da excentricidade das seções, das formações irregulares dos anéis e o tamanho dos mesmos, principalmente em árvores de maior idade e de grandes dimensões. Mesmo assim, a contagem dos anéis permite a determinação rigorosa da idade da árvore para a realização de estudos acurados dos correspondentes incrementos (ENCINAS *et al.*, 2005).

A análise de tronco completa é um método destrutivo, onde as árvores selecionadas são derrubadas para retirada de seções do troco em diferentes alturas absolutas e/ou relativas. Segundo Rosot *et al.* (2003), trata-se de um procedimento laborioso, que envolve a derrubada das árvores, a marcação e o seccionamento das fatias. Em seguida é necessário transportá-las ao laboratório, onde são secadas e depois lixadas para facilitar a visualização dos anéis. Na última etapa é realizada, sobre cada fatia, a marcação e a medição de raios, cujas médias constituem o conjunto de dados gerador de todas as demais informações obtidas na análise de tronco. Essa técnica é aplicada principalmente em coníferas, por apresentarem anéis de crescimento anuais bem definidos, mas pode ser aplicada em folhosas que apresentem esses anéis.

O crescimento do tronco corresponde ao acúmulo de camadas de células sobrepostas em forma de cones (FIGURA 1), originadas pela atividade dos tecidos meristemáticos e resultado da interação entre a árvore e ambiente onde ela cresce (FRIEDL, 1989). Os anéis de crescimento são resultado de um ano de crescimento da árvore, sendo assim o número de anéis de uma fatia retirada da base do tronco corresponde à idade da árvore quando cortada.

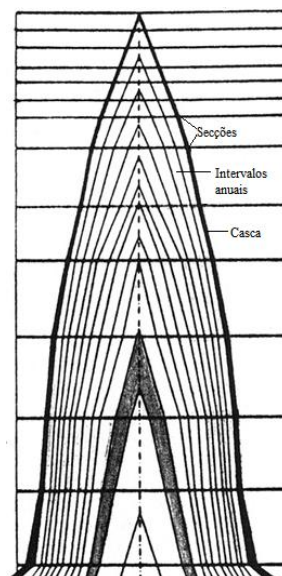


FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PERFIL LONGITUDINAL OBTIDO POR ANÁLISE DE TRONCO

Fonte: Finger (1992)

Os limites entre os anéis são definidos pelo crescimento diferenciado do lenho durante as estações do ano. No período em que o crescimento é favorável, a madeira formada possui tonalidade mais clara, sendo definido como lenho inicial ou primaveril. Nos meses de pouco crescimento, ocasionado por estresse fisiológico devido às temperaturas muito baixas ou períodos de seca, a madeira formada é mais escura, definida como lenho tardio ou outonal. A junção desses dois períodos corresponde a um anel de crescimento. Pode ocorrer a formação de falsos anéis, produzidos em consequência de sucessivos períodos curtos de seca e chuva, geadas, doenças e outros fatores.

Segundo Encinas *et al.* (2005) a formação dos anéis de crescimento requer consequentemente a existência de um período de estresse fisiológico durante o ano, o que se associa a climas temperados, ou seja, nesse tipo de clima a formação dos anéis fica bem definida. As espécies tropicais e subtropicais normalmente não apresentam o contraste entre o lenho inicial e o lenho tardio, uma vez que em climas tropicais e subtropicais não há uma perfeita diferenciação entre as estações de crescimento em função da estiagem. Deste modo, este método ainda necessita ser estudado para aplicação em climas tropicais e subtropicais.

A análise de tronco permite a obtenção de uma grande gama de informações sobre todo o desenvolvimento da árvore, desde sua idade no momento da derrubada até os diâmetros e alturas em todas as idades anteriores. Com base

nesses dados, outras variáveis podem ser determinadas, tais como a área transversal, o volume e as taxas de incrementos. A partir dos dados gerados pela análise de tronco, inúmeros outros estudos podem ser feitos.

Segundo Rosot *et al.* (2003) as empresas florestais utilizam a análise de tronco principalmente para verificação das taxas de incremento médio da floresta, avaliação da reação do crescimento a tratos culturais ou a determinadas práticas de manejo e para o desenvolvimento de equações de índice de sítio.

Estudos sobre o volume total da árvore, bem como o volume em todas as idades durante seu crescimento, é um exemplo de aplicação dos dados gerados pela análise de tronco. Thomas *et al.*, (2006) utilizaram dados de volume de árvores de *Pinus taeda* do estado de Santa Catarina, obtidos por análise de tronco sem casca e cubagem com casca, para comparar estimativas de volume com casca.

Os dados da análise de tronco são empregados na determinação, classificação e comparação da qualidade de sítios diferentes. Para este estudos são coletadas árvores dominantes dispersas pela população amostrada. Campos e Turnbull (1980) utilizaram dados de análise de tronco para construção de curvas de índice de sítio para *Pinus patula*, sendo que os dados se mostraram adequados para o estudo. Selle (2009) utilizou dados de análise de tronco de *Hovenia dulcis* para construir curvas de índice de sítio e elaborar diagramas de manejo de densidade para populações localizadas na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Diversos estudos, envolvendo várias espécies, realizados no Brasil empregaram dados oriundos de análise de tronco, devido ao fato da técnica representar todo o crescimento passado da árvore, permitindo o desenvolvimento de várias pesquisas na área florestal. Dentre esses trabalhos, podem ser citados: Campos e Turnbull (1980), Machado (1982), Friedl (1989) até os mais recentes, Figueiredo Filho *et al.* ( não publicado), Kohler *et al.* (2011) e Wolf II (2012).

## 2.4 FORMA DO TRONCO

A forma do tronco pode ser definida como a taxa relativa de mudança do diâmetro do tronco com o aumento da altura da árvore (LARSON, 1963). Os fustes



das árvores apresentam formas bastante variáveis, que podem modificar-se conforme a espécie e até mesmo dentro da mesma espécie. A forma varia de indivíduo para indivíduo, conforme as condições de sítio, o espaçamento inicial, tratamentos silviculturais aplicados e a posição sociológica em que cada árvore se desenvolve. Varia também ao longo da idade, quer como um fenômeno evolutivo natural, ou como resultado das várias fases de concorrência relativas às árvores vizinhas (LARSON, 1963; FINGER *et al.*, 1995).

Schneider *et al.* (1996) afirmaram que independentemente das irregularidades das seções transversais dos troncos, as árvores possuem determinado tipo de forma de tronco que varia com a espécie e em função de vários fatores, como o sítio, a densidade do povoamento, a intensidade do vento que age sobre a copa das árvores, e as intervenções silviculturais aplicadas aos povoamentos, como os desbastes e as desramas.

Experiências têm demonstrado que cada espécie, nos seus diversos estádios de desenvolvimento, possui características de afilamento diferenciadas (SCOLFARO *et al.*, 1998). Árvores com mesmo diâmetro e mesma altura podem apresentar volumes e sortimentos distintos se a forma dos fustes for diferente. Assim, a forma do fuste tem sido objeto de muitos estudos que buscam alcançar maior acurácia na estimativa de volumes totais e ou parciais dos fustes.

Borges (1981) buscou desenvolver uma metodologia para estimar o volume de toras para serraria e de madeira serrada, com base em funções de forma, para um povoamento de *Pinus taeda* localizado no município de Guarapuava, estado do Paraná. Muller (2004) estudou a forma de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, empregando o polinômio do quinto grau para descrever sua forma e determinar os volumes totais e volumes dos sortimentos para o povoamento.

De acordo com Husch *et al.*, (1982) o tronco de uma árvore pode apresentar diferentes formas, não se identificando especificamente com apenas um sólido (FIGURA 2). Assim, o tronco das árvores pode ser geometricamente descrito como um neilóide na base, um parabolóide no meio e um cone no topo. Os pontos de transição ou limites desses sólidos são de difícil determinação nos troncos, sendo por isso, de pouca importância prática. No entanto, desempenham um grande valor teórico na definição de expressões matemáticas que descrevem a forma do fuste (FIGUEIREDO FILHO, 1991).

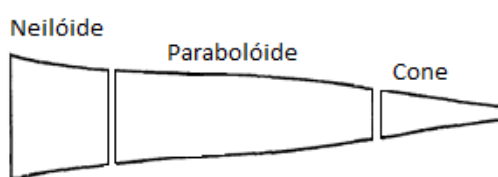


FIGURA 2 - FORMA DO TRONCO DE UMA ÁRVORE

Segundo Assmann (1970), os fustes, tanto das coníferas como das folhosas, até a base da copa podem assumir características distintas. A base do fuste é convexa ao eixo longitudinal, com um ponto de inflexão variável em função da espécie, a qual se assemelha a um sólido geométrico do tipo neilóide. A partir desse ponto de inflexão até a base da copa, compreendendo a seção do fuste, o perfil externo apresenta-se côncavo ao referido eixo. Em coníferas, essa porção do fuste poderia ser descrita por um parabolóide e a parte terminal até a base da copa por um tronco de cone. A parte terminal das coníferas, que vai da base da copa até o ápice, apresenta perfil levemente côncavo ao eixo da árvore, podendo ser representada por um parabolóide quadrático ou cone.

De acordo com Newnham (1988), citado por Figueiredo Filho *et al.* (1996) há duas razões para a grande importância do estudo sobre a forma das árvores. Primeiro, porque nenhuma teoria desenvolvida explica adequadamente todas as variedades de formas que os troncos das árvores podem assumir, e segundo, e mais importante do ponto de vista prático, uma função de afilamento é necessária para estimar o volume para usos múltiplos das árvores em pé, principalmente quando informações sobre o tamanho das toras, diâmetros de topo e alturas são necessários para o melhor planejamento, instalações de fábricas e outros fins.

#### 2.4.1 Fatores que afetam a forma do tronco

Vários fatores afetam a forma do tronco de árvores, dentre os quais podem ser citados:

##### a) Local de crescimento e espaçamento

Árvores crescendo livres de competição e árvores que crescem sob competição diferem marcadamente em suas formas de tronco. Árvores que crescem

isoladas possuem copas vigorosas, e assim o tronco assume proporções fortemente cônicas. Árvores crescendo em povoamentos possuem o tronco menos afilado, fato também associado ao decréscimo do comprimento da copa (LARSON, 1963).

A forma do tronco em plantios depende estritamente da densidade do povoamento. Conforme Baldwin *et al.* (2000), citados por Campos e Leite (2009) é esperado que árvores plantadas em maiores espaçamentos iniciais apresentem fustes mais cônicos, em comparação com árvores sob espaçamentos mais reduzidos.

#### b) Desenvolvimento da copa

O desenvolvimento da copa dentro de um povoamento também é dependente do espaçamento entre as árvores. Espaçamentos mais amplos geram copas maiores e mais vigorosas. Uma copa longa e vigorosa exerce uma profunda influência sobre os padrões de crescimento da árvore e, conseqüentemente, na forma do tronco. Normalmente, árvores jovens têm copas compridas e um tronco altamente afilado. Quando o povoamento cresce e inicia a competição, os galhos inferiores começam a morrer e progressivamente a parte do tronco livre de galhos aumenta. A mudança no comprimento da copa e outros fatores associados resultam no decréscimo do afilamento do tronco principal (LARSON, 1963).

#### c) Posição sociológica

Árvores dominantes possuem copas mais vigorosas e tendem a apresentar maior afilamento que árvores dominadas. Gray (1943), citado por Larson (1963), explicou essa diferença sugerindo que a dominância é caracterizada pelo crescimento em diâmetro relativamente maior que o crescimento em altura. Árvores suprimidas possuem forma geralmente muito cilíndrica devido a uma forte redução do incremento na parte inferior do tronco e conseqüentemente uma concentração do crescimento na parte superior do tronco (METZGER, 1893, citado por LARSON 1963). Em árvores com mesmo diâmetro (DAP) e alturas, aquelas com copas mais longas apresentam fustes mais afilados, mostrando que a copa é o fator de relevância no estudo de forma das árvores (LARSON, 1963).

#### d) Idade

Segundo Machado (1982) a idade afeta a forma do fuste e quanto mais velha a árvore, menor é a sua conicidade ou afilamento da base para o ápice. Burger *et al.* (1980) estudaram o desenvolvimento da forma de *Araucaria angustifolia* e com base no fator de forma de Hohenadl encontrado por idade, os autores chegaram a conclusão de que a forma geométrica das árvores está em constante melhoria.

Há uma tendência natural do tronco das árvores se tornarem mais cilíndricos com o aumento da idade. Nas idades jovens a mudança da forma é bastante rápida, enquanto que nas idades avançadas a forma muda levemente. A taxa de mudança de forma da árvore devido à idade pode variar entre as diferentes classes de copas ou posições sociológicas dentro do mesmo povoamento (FRIEDL, 1989).

Burger (1951), citado por Larson (1963), afirmou que as árvores ficam mais cilíndricas com a idade devido a um aumento relativamente maior no crescimento em altura do que no crescimento em diâmetro. Em outras palavras, o decréscimo no afilamento do tronco com a idade é primeiramente um efeito aditivo do crescimento contínuo em altura. Árvores com crescimento livre, por outro lado, tendem a superar a influência da idade e manter seu elevado afilamento do tronco até mais tarde, deixando suas copas vigorosas.

A taxa de mudança na forma do tronco com a idade pode também ser mostrada pela variação entre as diferentes classes de copa dentro de um povoamento. Por exemplo, Horn (1961), citado por Larson (1963) demonstrou que árvores dominantes de plantios de Red pine aumentaram em classe de forma, a uma taxa de 0,76% por ano, enquanto que árvores codominantes aumentaram em aproximadamente 1% ao ano. Durante o período estudado de 15 anos, as dominantes tiveram crescimento na base maior do que na altura de 5,18 m, enquanto que o crescimento das codominantes foi aproximadamente igual em todas as partes.

#### e) Poda ou desrama

Segundo Koslowski (1971), a poda inibe o crescimento na base do tronco e faz com que ocorra acréscimo do xilema na porção acima de onde ocorreu a poda, ou seja, na porção não desganhada. A poda tende a reduzir a conicidade do tronco,

mas seu efeito depende da severidade e da época em que é aplicada e das características das copas das árvores.

Cardoso (2009) comparou o fator de forma de árvores podadas e não podadas de um plantio de *Pinus elliottii*. O fator de forma das árvores podadas mostrou-se maior que o das árvores não podadas, em média 6,2% maior. Isso indica o efeito positivo da poda na forma das árvores, tornando-as mais cilíndricas, se comparado com árvores não podadas.

Floriano (2004) buscou determinar a influência da desrama sobre a forma do tronco de *Pinus elliottii*, instalando um experimento em um povoamento com seis anos de idade e acompanhando o mesmo até a idade de 15 anos. Os resultados mostraram que a maior influência da intensidade da desrama foi sobre o crescimento em diâmetro e em volume e que a desrama afetou significativamente a forma das árvores. Os tratamentos com desrama apresentaram forma cônica com leve tendência à parabolóide e a testemunha apresentou forma cônica com leve tendência à neilóide.

#### f) Desbaste

Quando se realiza o desbaste, a competição entre as árvores dentro do povoamento diminui, o crescimento em diâmetro é favorecido e, dessa forma, contribuindo para o aumento do afilamento. Desbastes leves, na maior parte das vezes, produzem árvores com menos galhos e fustes mais cilíndricos do que desbastes pesados, que tendem a aumentar a conicidade, afirmou Flury (1903), citado por Larson (1963).

#### g) Sítio

Figueiredo Filho (1991) mencionou que a qualidade do sítio afeta a forma do tronco. Em sítios de baixa capacidade produtiva, as árvores normalmente têm maior conicidade ou formas indesejáveis. Nesses sítios, o crescimento em altura para árvores de mesmo diâmetro é menor e como consequência o fuste é mais afilado. Sítios mais produtivos permitem que as árvores tenham maior crescimento e melhor desenvolvimento da copa, contribuindo para o aumento no afilamento dos troncos.

## 2.5 MÉTODOS PARA EXPRESSAR A FORMA DAS ÁRVORES

A forma do tronco de árvores, em geral, pode ser avaliada usando fatores de forma, quocientes de forma e funções de afilamento.

### 2.5.1 Fator de forma

O Fator de forma é uma razão entre o volume da árvore e o volume de um sólido geométrico, normalmente o de um cilindro com o mesmo diâmetro e altura da árvore. Esse fator multiplicado pelo volume do cilindro representa o volume total da árvore, ou seja, o fator de forma é um fator de redução para obtenção do volume das árvores (PRODAN *et al.*, 1997).

A determinação do fator de forma varia de acordo com o ponto onde é calculada a área transversal. Para estar de acordo com os sólidos geométricos essa área deveria ser calculada na base da árvore, no entanto, quase sempre é calculada com base no diâmetro a altura do peito, devido à falta de praticidade para medir o diâmetro na base da árvore, assim como pela irregularidade dessa seção, causada pelo sistema radicular (CONCEIÇÃO, 2004).

O fator de forma, conforme Prodan *et al.* (1997), pode ser real ou verdadeiro, falso ou artificial, dependendo da altura em que for medido o diâmetro do cilindro de referência. Dessa maneira, se o diâmetro do cilindro de referência for medido em altura relativa, o fator de forma será denominado real ou verdadeiro, e caso seja medido a uma altura absoluta, o fator de forma denominar-se-á falso ou artificial.

Fator de forma artificial ( $f_{1,3}$ ), também denominado de falso ou artificial, é assim chamado por apresentar a característica de que dois fustes com mesma forma geométrica, mas com diferentes alturas, não apresentarem o mesmo fator de forma artificial. Este efeito é causado pela influência das suas bases, que em árvores velhas e grandes excedem a região do diâmetro à altura do peito, o que ocorre principalmente com espécies tropicais (FERREIRA, 1999). Genericamente, este fator pode ser obtido pela razão entre o volume cubado da árvore (total ou parcial) e o volume de um cilindro, cuja altura e diâmetro (medido a 1,30 m da base da árvore) sejam iguais aos da árvore considerada.

Segundo Prodan *et al.* (1997) os fatores de forma falsos não permitem a representação direta da forma geométrica do fuste, porque devido a sua referência ao DAP, contém um elemento de distorção. Segundo Ferreira (1999) a posição fixa da base do cilindro induz a erros, principalmente em árvores baixas, podendo o volume real ser maior que o volume do cilindro, resultando em um fator de forma maior do que um.

O fator de forma natural ( $f_{0,1h}$ ), ou verdadeiro, foi introduzido por Hohenadl em 1924 e é definido como a razão entre o volume cubado da árvore e o volume de um cilindro com diâmetro e altura igual ao da árvore, sendo o diâmetro tomado a 10% da altura total da árvore, isto é  $d_{0,1h}$ . Para obter o diâmetro a 10% da altura é necessário conhecer previamente a altura da árvore. A medição mais simples do diâmetro a altura do peito influencia para que na prática, geralmente se trabalhe com os fatores de forma falsos, apesar de que com eles se oculta a funcionalidade da forma do fuste (PRODAN *et al.*, 1997).

Utilizando o fator de forma natural, podem-se comparar árvores que apresentam formas similares e alturas diferentes, pois os diâmetros das séries são medidos a uma mesma distância relativa vinculada a um diâmetro situado à mesma altura relativa (FRIEDL, 1989).

Relacionando o fator de forma falso com o fator de forma verdadeiro, é possível afirmar que, em contraposição ao fator de forma falso, o fator de forma verdadeiro é uma caracterização da forma geométrica do fuste e expressa a forma da árvore, mas apresenta o inconveniente de requerer um diâmetro a uma altura variável no tronco, sendo assim difícil de medir. O fator de forma falso, por sua vez se refere ao DAP, o qual pode ser facilmente medido, porém caracteriza muito grosseiramente a forma do fuste. Como exemplo, Prodan *et al.* (1997) compararam dois fustes com formas distintas, um de forma cônica e o outro de forma parabolóide. O fuste cônico se caracterizava por um fator de forma verdadeiro de 0,407, o fuste parabolóide tinha um fator de forma verdadeiro de 0,555, mas ambos os fustes apresentam um fator de forma falso de 0,407.

Segundo Conceição (2004) a utilização do fator de forma é um dos métodos amplamente empregados para estimação do volume de árvores individuais, sendo o método mais simples e de fácil aplicação.

Ferreira (1999) estudou a influência das dimensões das árvores, em forma de classes de diâmetros e idade sobre os fatores de forma absoluto e natural.

Concluiu ao final do estudo que tanto o fator de forma natural quanto o absoluto são altamente afetados pela idade e pelas dimensões das árvores. O autor aconselhou a se trabalhar com um fator de forma por idade e por classe de diâmetro para estimar volumes e estudar a forma.

### 2.5.2 Quociente de forma

O quociente de forma é a relação entre dois diâmetros no tronco, possuindo também a função de corrigir o volume cilíndrico para o volume sólido do tronco. Vários são os estudos relacionados ao quociente de forma, todos buscando a melhor maneira de expressar a forma dos fustes a partir da razão entre dois diâmetros. A aplicação do quociente de forma é a mesma dada ao fator de forma, ou seja, serve de fator de redução para o volume do cilindro. Entretanto, a estimativa do volume assim calculado não tem a mesma precisão que a obtida com fator de forma. Outra aplicação está no estudo da forma de árvores e em modelos estatísticos, como variável independente (FINGER, 1992).

### 2.5.3 Funções de afilamento

O afilamento do tronco é o decréscimo do diâmetro do fuste da base para o topo. É o adelgaçamento do fuste e pode ser expresso por uma função matemática que descreve a tendência dessa variação (BORGES, 1981).

O emprego de funções de afilamento no setor florestal tem proporcionado uma otimização dos recursos florestais. Essas funções, devido à sua flexibilidade, possibilitam uma estratificação, ou seja, quantificação dos múltiplos produtos existentes por meio de dimensões preestabelecidas (QUEIROZ *et al.*, 2008). Funções de afilamento são equações que descrevem a forma e o afilamento das árvores, representando a variação diamétrica ao longo do fuste em função do diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura total. Segundo Prodan *et al.* (1997) as funções de afilamento são uma importante ferramenta para determinação do volume de árvores e toras por permitirem estimar três características básicas das árvores:



diâmetros em qualquer ponto do fuste; altura no fuste em que se encontra um determinado diâmetro e o volume entre dois pontos quaisquer no fuste.

As funções de afilamento podem ser usadas em modelos de crescimento e produção e em simulação do traçamento de toras, quando se deseja conhecer seu sortimento. Conforme Souza (2007) as funções de afilamento são uma excelente opção para quantificação dos sortimentos dos povoamentos florestais. A gama de informações que propiciam tem levado ao desenvolvimento de diferentes técnicas de modelagem do perfil dos fustes das espécies florestais.

Segundo Fischer *et al.* (2001) a aplicação dessas funções de afilamento é um poderoso instrumento para avaliar biológica e economicamente o maciço florestal e a resposta às práticas de manejo executadas, já que permite valorar de maneira detalhada quanto renderá o povoamento florestal.

Souza (2007) sugeriu o uso de funções de afilamento para estimar diâmetros e alturas comerciais das árvores, uma vez que essa prática, quando realizada em campo pode tornar-se não operacional e essas informações são essenciais nos programas de seccionamento do fuste.

Mensurar variáveis de interesse, como diâmetro ou altura comercial, que sofrem influência das mudanças de forma nos fustes, diretamente no povoamento antes da colheita, torna-se não operacional. A necessidade de tais informações, essenciais para o seccionamento do fuste, requer sua estimativa por modelos de afilamento (LEITE *et al.*, 1995).

Função de afilamento é uma ferramenta dendrométrica um pouco mais complexa do que equações de volume, mas oferecem uma maior quantidade de informações. Com isso é possível encontrar qualquer volume desejado (volume total, comercial ou de partes do tronco) para uma árvore (FERREIRA, 1999). O grau de exatidão ou acuracidade na obtenção das estimativas de afilamento varia, dependendo do modelo utilizado e da forma do tronco. Cada modelo descreve melhor a forma de uma determinada espécie, crescendo em um determinado local e sob condições ambientais específicas (ASSIS, 2000).

Existem vários modelos de afilamento encontrados na literatura e testados em inúmeras pesquisas, como as de Borges (1981), Figueiredo Filho *et al.* (1996), Scolforo *et al.* (1998), Gaffrey *et al.* (1998), Figueiredo Filho e Schaaf (1999), Fischer *et al.* (2001), Muller (2004), Machado *et al.* (2004), Souza (2009) e Môra (2011). Não existe um único modelo que se ajuste adequadamente para todas as populações e

seu desempenho depende das características do povoamento estudado. Dois povoamentos diferentes provavelmente terão modelos de afilamentos diferentes que se ajustem a eles.

Segundo Figueiredo Filho *et al.* (1996) a primeira tentativa de representar a forma de árvores foi feita por Hojer em 1903. Desde então muitas formas e tipos de modelo de perfil tronco foram testados. No início os modelos eram relativamente simples, mas com o advento dos computadores, modelos mais complexos foram utilizados para gerar funções de afilamento, de modo que estimativas mais realistas poderiam ser feitas.

Existem vários tipos de modelos de afilamentos caracterizados como simples, segmentados e polinomiais (CAMPOS e LEITE, 2009):

Modelos simples são aqueles em que uma única função representa a forma do fuste desde a base até o ápice. Tem a vantagem de modelar todo o fuste com uma única expressão, sendo fáceis de ajustar e empregar. Os modelos de Kozak e Ormerod são exemplos. Tem a desvantagem de apresentar algum erro de tendência na estimativa do diâmetro em certa porção do fuste.

Modelos segmentados são mais difíceis de serem trabalhados e constituem uma variação dos modelos polinomiais, sendo ajustados por seções do fuste, duas ou três seções. Esses modelos procuram diminuir erros de tendência nas estimativas dos diâmetros ao longo do fuste.

Os modelos polinomiais são caracterizados por ajuste de regressão entre a relação de diâmetros  $d_i/DAP$  e de alturas  $(h_i/h)^n$ . A variável dependente é dada pela razão entre os diâmetros superiores e o diâmetro medido a 1,30 m do solo e as variáveis independentes são expressas por razões de alturas comerciais e altura total. Como exemplos de modelos polinomiais pode-se citar o polinômio de quinto grau e o polinômio de potências inteiras e fracionárias. Segundo Machado *et al.* (2004) apesar de muito empregados, os modelos polinomiais não explicam de maneira acurada a base do tronco. Essa deficiência é devido a existência de maiores irregularidades nessa região do que nas porções superiores.

Segundo Figueiredo Filho *et al.* (1996), o polinômio do quinto grau tem sido o mais usado para descrever o perfil de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* na região sul do Brasil. Embora forneça resultados suficientemente acurados para a maioria dos seus usos, ele exhibe claras tendenciosidades nas estimativas (SOUZA, 2007).

O modelo de potências inteiras e fracionárias diferencia-se do polinômio de quinto grau por apresentar um mix de potências inteiras e fracionárias, como tentativa de melhor representar o perfil da árvore. Hradetzky (1976) sugeriu a utilização de potências inteiras da ordem de dezenas para representar a base de árvore, em conjunto com potências fracionárias para representar a porção superior do fuste.

O modelo de potências inteiras e fracionárias deve ser construído para cada situação de trabalho. De acordo com Hradetzky (1976) uma boa representação do tronco por meio de polinômios exige uma combinação apropriada de potências e para isso sugeriu a construção do modelo utilizando o método de seleção de variáveis *Stepwise*, com potências variando de 0,005 a 25. A expectativa é que as potências inteiras unitárias representem melhor a seção intermediária da árvore, as potências com grandezas de dezenas a base da árvore, e as potências fracionárias o topo da árvore (FISCHER *et al.*, 2001).

Souza (2007) avaliou os modelos de afilamento não segmentados e segmentados na estimativa da altura comercial, volume comercial e volumes ao longo do fuste de *Eucalyptus* spp. O autor conclui que tanto na estimativa da altura comercial, volume comercial e no volume das toras, os modelos não segmentados apresentaram melhores resultados, sendo os modelos de Biging, Schoepfer e Hradetzky os que apresentaram os melhores resultados na estimativa das variáveis citadas.

Queiroz *et al.* (2008) analisaram a acuracidade de três funções de afilamento para estimar volumes ao longo do fuste de *Mimosa scabrella* por classe de idade e para o conjunto total dos dados, onde 121 árvores foram divididas em 4 classes de idade. Os modelos testados foram o de Schoepfer, o de Hradetzky e o de Kozak. Os autores verificaram que o modelo de Hradetzky foi o mais adequado para estimar os volumes, em quase todas as classes de idade, e o melhor para o conjunto total dos dados. O modelo de potências inteiras e fracionárias de Hradetzky mostrou uma alta eficiência na estimativa dos diâmetros, principalmente nas partes inferiores do fuste.

## 2.6 SORTIMENTO FLORESTAL

Em algumas atividades industriais como a produção de celulose, carvão vegetal ou chapas de madeira, o volume total de madeira por árvore ou por unidade de área é informação suficiente. Porém as indústrias florestais demonstram interesse em desenvolver sua produção obedecendo a uma integração vertical de atividades, onde se tornam necessárias uma definição de novos objetivos e métodos, que envolvem a quantificação do volume de madeira. Devido a isso é necessário determinar estimativas de volume por árvore para qualquer limite de utilização, expresso em termos de altura (comprimento da tora) ou diâmetro (AHRENS e HOLBERT, 1981).

Sortimento florestal é o termo utilizado para resumir a avaliação comercial qualitativa e quantitativa da floresta em pé, a partir de uma lista de diferentes multiprodutos, e constitui-se em uma ferramenta para tomada de decisões referentes ao manejo florestal (ARCE, 2000). Esse mesmo autor afirmou que é sensato supor que nenhuma árvore deveria ser cortada sem antes se saber, com um nível adequado de exatidão, quantos e quais tipos de produtos poderiam ser obtidos a partir dela. Um raciocínio semelhante pode ser feito para o povoamento e para a floresta inteira.

Jorge e Lara (1993) afirmaram que o estudo de sortimento dos povoamentos florestais é de grande importância para o planejamento e avaliação do manejo das florestas de potencial madeireiro, observando-se aspectos do planejamento das atividades de manejo, dimensionamento das unidades de processamento mecânico da madeira, bem como da comercialização de madeira serrada.

Geralmente os plantios florestais concentram sua produção apenas em um determinado tipo de produto para abastecer uma indústria. Porém, em geral, as florestas produzem uma variedade maior de produtos que sevem para laminação, serraria, celulose, por exemplo, e para os quais nem sempre existe uma demanda localizada e próxima para outorgar algum tipo de valor a estes produtos (ARCE *et al.*, 2004).

Para proporcionar o uso múltiplo do tronco de uma árvore em povoamentos florestais, é necessário o conhecimento da forma do tronco, do volume e dimensão dos seus sortimentos, possibilitando o planejamento e o estudo da viabilidade

econômica do povoamento. Gaffrey *et al.* (1998) afirmaram que a aplicação mais importante de modelos de afilamento do tronco é a predição do sortimento individual da árvore ou a distribuição do sortimento de um povoamento ou de uma amostra.

Nos últimos anos novas técnicas visando otimizar o uso das árvores têm sido empregadas para contribuir com um planejamento mais eficiente de um complexo industrial. É muito comum que cada parte da árvore seja destinada a um fim diferente de acordo com suas dimensões, ou seja, cada porção do tronco poderá ser utilizada em produtos específicos. É possível definir que a parte de maior diâmetro da árvore irá para a produção de madeira serrada, a de diâmetro intermediário para produção de fibra e a parte superior da árvore e galhos para produção de energia. A equação de forma de tronco permite conhecer o diâmetro a uma determinada altura ou comprimento de tora, bem como o comprimento em que se encontra um determinado diâmetro, permitindo direcionar a tora segundo sua mais rentável utilização (MULLER, 2004).

O aproveitamento de uma árvore deve ser feito de maneira que proporcione o maior retorno financeiro. Assim, quando uma mesma árvore tem diversos usos finais, o seu valor agregado é maior, pois alcança preços diferentes no mercado (MACHADO *et al.*, 2004). Quanto maior o diâmetro e os comprimentos, maiores as dimensões das peças resultantes, conseqüentemente, maior preço. Geralmente o sortimento conduz a maior quantidade de resíduos (menor valor), mas o objetivo é um equilíbrio, resultando assim maior retorno financeiro (CONCEIÇÃO, 2004).

Muitas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de descrever, de forma otimizada, a classificação dos fustes segundo sua qualidade, suas dimensões e suas possibilidades de utilização, garantindo, além da classificação física, melhor remuneração da madeira, com a destinação de toras de diversas bitolas ao mercado específico (SOUZA *et al.*, 2008). O conhecimento do sortimento em dado momento da floresta, bem como de sua evolução ao longo do tempo, é fundamental para fins de planejamento de uso da matéria prima produzida.

Ferreira (1999) afirmou que o interesse nesse sistema de utilização de matéria prima é que de um mesmo fuste de uma árvore se consegue extrair madeira para laminação, serraria, celulose e energia, sendo esta a melhor possibilidade de remuneração do produto advindo de povoamentos florestais. Estudos mostram que em países de tradição florestal, aproximadamente de 95% das árvores colhidas são aproveitadas, onde 16% são destinadas ao uso como energia, 20% para a

fabricação de produtos sólidos de madeira, 36% para a produção de fibras em celulose ou chapas de madeira e o restante para cogeração ou produtos de vapor.

Gomes *et al.* (1997) avaliaram o volume total e o volume por sortimento por unidade de área em povoamentos de *Pinus taeda*, submetidos a condições distintas de sítio e de densidade de plantio. A análise do sortimento demonstrou que espaçamentos mais amplos implicam em maiores quantidades de madeiras para fins mais nobres, como serraria e laminação e que o efeito do sítio é mais acentuado na produção de madeira de maior valor agregado.

Schneider *et al.* (1996) estudaram a forma do tronco de *Eucalyptus grandis* Maiden para a determinação de volume e formação de sortimentos de madeira em duas classes. A primeira para serraria, com diâmetro da ponta fina superior a 30 cm com casca e com comprimentos de 4,20 m, 3,40 m e 2,60 m, priorizando a formação de sortimentos com o maior comprimento. A segunda para troncos ou porções deste, com diâmetros entre 7 e 30cm com casca. Os autores selecionaram o polinômio de quinto grau para estimar o número de toras e o volume relativo dos sortimentos, sendo que este permitiu obter esses valores com boa precisão.

Souza *et al.* (2012) realizaram trabalho com objetivo de modelar a forma do tronco de *Pinus taeda*, comparar a eficiência na estimativa do volume total do polinômio do quinto grau ajustado com dados não estratificados e estratificados, segundo quocientes de forma, e apresentar os resultados em forma de tabelas de sortimentos. Os resultados mostraram que a classificação das partes do tronco em sortimentos foi acurada sendo que os volumes estimados a partir das integrais das equações de afilamento apresentaram valores residuais pequenos e sem tendências.

Poucos trabalhos buscaram avaliar a evolução do sortimento ao longo da rotação de espécies florestais. Podem-se citar como exemplo Figueiredo Filho (1991) que avaliou os efeitos da resinagem e a evolução do sortimento para 44 árvores de *Pinus elliottii*.

Figueiredo Filho *et al.* (não publicado) usou dados de análise de tronco para avaliar a evolução do sortimento até os 50 anos de idade de plantios de *Araucaria angustifolia*, pertencentes a duas classes de sítios.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Os dados foram obtidos empregando-se a técnica de análise de tronco em povoamentos de *Pinus taeda*, sendo um localizado no estado do Paraná e outro no estado de Santa Catarina.

##### 3.1.1 Dados do estado do Paraná

Os dados foram obtidos junto à empresa REMASA Reflorestadora LTDA., localizada no município de Bituruna, região Centro-Sul do estado do Paraná (FIGURA 3). Sua produção é voltada para a venda de madeira em toras e seu regime de manejo atual possui o objetivo final de produzir toras de grandes dimensões e múltiplos usos. Para atender este objetivo a empresa trabalha com espaçamentos iniciais maiores, tratos culturais frequentes, realiza apenas uma poda com a altura de 3 metros, e prevê a realização futura de dois desbastes, nas idades de 10 e 15 anos.

A região Centro-Sul está localizada no terceiro planalto do estado do Paraná, com altitudes variando entre 900 a 1.100 metros, com topografia fortemente ondulada a montanhosa. Os solos nesta região apresentam textura argilosa. O clima, segundo a classificação de Köppen, é o subtropical úmido mesotérmico (Cfb) com temperatura média anual de 16°C, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C e média do mês mais quente inferior a 22°C, sem estação seca definida, com verões frescos e geadas severas e frequentes, com chuvas variando entre 1.600 e 1900 mm (MAACK, 1981).



FIGURA 3 - CARTA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO  
Fonte: Wolf II (2012)

Os dados utilizados foram provenientes de povoadamentos florestais localizados nos municípios de Bituruna, Palmas e General Carneiro, região Centro-Sul do estado do Paraná, e são compostos exclusivamente pela espécie *Pinus taeda*, implantados entre os anos de 1992 a 2005, com espaçamentos iniciais de 3,0 x 3,0 metros, 3,0 x 2,5 metros e 2,5 x 2,5 metros, com desbastes realizados aos 10 e 15 anos.

A amostragem foi realizada de forma a representar a população ali existente. Para tanto, a seleção foi feita segundo uma estratificação em classes de diâmetro (DAP), visando amostrar árvores em toda a variação diamétrica do povoamento. No total foram amostradas para análise de tronco, 144 árvores com idades variando entre 5 e 18 anos. Por questões metodológicas, só foram utilizadas árvores com idade a partir de sete anos, resultando em 126 árvores utilizadas nesta pesquisa. A amostra foi coletada por Wolff II (2012).

### 3.1.2 Dados do estado de Santa Catarina

As árvores amostradas foram oriundas de plantios de *Pinus taeda* localizados na região serrana do estado de Santa Catarina. A coleta dos dados foi



realizada pela própria empresa no ano de 2007, com objetivos de estudos internos sobre o desenvolvimento do povoamento.

A região serrana do estado de Santa Catarina é classificada, segundo Köppen, como uma região de clima subtropical úmido (Cfb), com verões frescos, não apresentando estação seca definida. A precipitação média anual é de 1.740 mm, com temperatura média anual de 16,8°C (SANTA CATARINA, 1986).

As árvores foram coletadas em quatro talhões distintos, sendo amostrados 30 indivíduos em cada um deles. O primeiro talhão possuía árvores com 11 anos de idade, densidade inicial de 1600 árvores/ha e com um desbaste realizado aos 9 anos (950 – 1000 árvores/ha). O segundo talhão, com árvores de 13 anos de idade, densidade inicial de 1600 árvores/ha e com desbastes aos 9 anos (994 árvores/ha) e 12 anos (688 árvores/ha). O terceiro talhão era formado por árvores de 16 anos de idade, densidade inicial de 2000 árvores/ha e com desbastes aos 10 anos (1000 árvores/ha), 12 anos (683 árvores/ha) e 16 anos (352 árvores/ha). O quarto talhão apresentava árvores com 22 anos de idade, densidade inicial de 2500 árvores/ha com desbastes aos 10 anos (1666 árvores/ha), 16 anos (416 árvores/ha) e 19 anos (320 árvores/ha).

## 3.2 ANÁLISE DE TRONCO COMPLETA

### 3.2.1 Corte e tratamentos das fatias

Depois de selecionadas, as árvores foram derrubadas, sendo medidos o DAP (diâmetro à altura do peito) e a altura total. Foram coletadas em cada árvore, 11 fatias nas alturas absolutas de 0,1 e 1,3 m, uma vez que na primeira altura tem-se todos os anéis e, como consequência a idade atual da árvore. Também foram coletadas fatias nas alturas relativas de 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total da árvore.

As fatias possuíam aproximadamente 5 cm de espessura e foram identificadas com uma plaqueta metálica contendo o número da árvore e a identificação da seção da fatia (FIGURA 4). As fatias foram secas à sombra por um

período médio de 30 dias. Após a secagem todas foram lixadas em uma face para facilitar a visualização dos anéis de crescimento.



FIGURA 4 - FATIAS COLETADAS DA ÁRVORE

### 3.2.2 Marcação e medição dos anéis

Após todas as fatias terem sido cortadas, identificadas, secas e lixadas seguiu-se com a marcação dos anéis de crescimento. Foram determinados quatro raios perpendiculares entre si em cada disco, nos quais foram feitas marcações evidenciando o término de cada anel de crescimento para facilitar a identificação no momento da medição (FIGURA 5).



FIGURA 5 - ANÉIS DE CRESCIMENTO E MARCAÇÃO DOS RAIOS

A medição dos anéis foi efetuada em equipamento LINTAB 6.0 (*Frank Rinn Distributors*, Alemanha), disponível no Laboratório de Manejo Florestal da UNICENTRO. O LINTAB (FIGURA 6) consiste numa plataforma com mesa móvel onde é colocada a fatia, uma manivela usada para movimentar a mesa e uma lupa

contendo uma pequena escala no visor. Com o auxílio da 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 (SANTOS, 2006).

A medição dos anéis inicia-se a partir da casca, coincidindo o zero da escala do microscópio com a extremidade da casca, faz-se a primeira marcação continuando a mesma pelos anéis em direção ao centro da fatia.

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



FIGURA 6 - EQUIPAMENTO LINTAB 6.0

Com este sistema as medições dos anéis de crescimento são obtidas com precisão na casa do centésimo do milímetro e são registradas pelo programa TSAP e salvas em seu formato original e em arquivo texto do tipo *txt*.

### 3.2.3 Exportação e processamento dos dados

O processamento dos dados da análise de tronco foi feito com o programa FlorExel® (desenvolvido pelo Professor Julio Eduardo Arce da Universidade Federal do Paraná), que reúne um conjunto de ferramentas para dados florestais e que

trabalha em conjunto com o Excel. Foi desenvolvido com o objetivo 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 para análise de tronco completa (ANATRO).

De posse de todos os arquivos em formato *txt*, seguiu-se com o tratamento dos dados para a análise de tronco. Primeiramente os mesmos foram exportados para planilhas do Excel, e padronizados no formato específico para entrada de dados no módulo de análise de tronco do FlorExel®. As informações geradas após o processamento dos dados foram diâmetros e áreas transversais a diferentes alturas no tronco, volume total e volume das seções cubadas e alturas totais, bem como seus incrementos médios e correntes anuais. Todas essas informações são obtidas para a idade atual e para todas as idades pretéritas da árvore. Ao final, o programa gera um gráfico representando o perfil de crescimento em diâmetro e altura das árvores. Com base neste gráfico é possível identificar a ocorrência de erros de medição dos anéis. Detectando-se algum erro, a árvore remeida e os valores corrigidos no arquivo de dados.

### 3.3 VALIDAÇÃO

A validação refere-se a verificação do comportamento de uma equação ajustada para um conjunto de dados independentes dos usados para o seu ajuste. Para isso, foram retiradas, de cada grupo de dados, 10% das árvores para posterior validação das equações. As árvores separadas para validação foram escolhidas de acordo com suas classes de idades e distribuição diamétrica. Foram escolhidas árvores que tinham diâmetros a altura do peito (DAP) iguais à média da classe de diâmetro e aqueles que se situavam a um desvio padrão acima e um desvio padrão abaixo da mesma.

### 3.4 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA

A análise de tronco completa possibilita a medição do diâmetro com casca apenas para a idade final da árvore, sendo que para todas as idades anteriores os diâmetros obtidos são sem casca. Como a comercialização do sortimento da matéria prima florestal emprega diâmetros com casca, foi necessário estimar os diâmetros com casca ao longo do tronco, para todas as idades passadas da árvore.

O procedimento de seleção de variáveis *Stepwise* foi utilizado para gerar um modelo matemático para os dados originados pela análise de tronco. Esse procedimento procura obter a melhor equação de regressão por meio da inserção ou retirada de variáveis independentes.

As variáveis independentes utilizadas no ajuste foram o  $d_{sc}$  (diâmetro sem casca nas várias alturas e idade),  $I$  (idade em anos),  $ht$  (altura total em cada idade),  $d_{sc}^2$ ,  $ht^2$ ,  $d_{sc} \cdot I$ ,  $d_{sc} \cdot I^2$ ,  $ht \cdot I$ ,  $1/I$ . Como variável dependente foi utilizada o diâmetro com casca nas várias alturas do tronco e por idade ( $d_{cc}$ ).

A avaliação do modelo foi feita considerando o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), o erro padrão da estimativa relativo ( $S_{yx}\%$ ) e a análise gráfica de resíduos.

### 3.5 AJUSTE DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Foram ajustados dois modelos de afilamento para a obtenção das estimativas dos diâmetros ao longo do tronco das árvores, nas diversas idades. Os modelos avaliados foram (1) o Polinômio de quinto grau (Schopfer, 1966) e (2) Polinômio de Potências inteiras e fracionárias (Hradetzky, 1976):

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5 \quad (1)$$

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{p2} + \dots \beta_n \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{pn} \quad (2)$$

onde:

$\beta_i$  = coeficientes dos modelos;

$d_i$  = diâmetro com casca em diferentes alturas ( $h_i$ ) ao longo do fuste (cm);

$DAP$  = diâmetro com casca a 1,3 m de altura (cm);

$h_i$  = altura  $i$  (m) de um determinado diâmetro  $d_i$ ;

$ht$  = altura total da árvore (m);

$pi$  = potências selecionada para o modelo.

As variáveis empregadas nos ajustes são todas provenientes da análise de tronco e estes modelos são bastante difundidos e usuais na área florestal.

O Polinômio de potências inteiras e fracionárias se diferencia do polinômio de quinto grau por apresentar um conjunto de potências inteiras e fracionárias para melhor representar o afilamento da árvore nos extremos. Hradetzky (1976) sugeriu a construção do modelo pelo procedimento de seleção *Stepwise*, com a utilização de potências inteiras da ordem de dezenas para representar a base de árvore, em conjunto com potências fracionárias para representar a porção superior do fuste. As potências testadas foram: 0,005; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20 e 25.

Os modelos foram inicialmente ajustados para o grupo total de dados, contendo todas as árvores de todas as idades. A equação mais adequada para estes dados foi selecionada para realizar os ajustes com os dados estratificados em classes de idades. As classes de idade foram definidas de modo a contemplar as idades em que geralmente ocorrem as intervenções no povoamento. As classes de idade definidas e utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 - CLASSES DE IDADE (ANOS) UTILIZADAS NOS AJUSTES

Paraná	Santa Catarina
7 a 9	7 a 9
10 a 12	10 a 12
13 a 15	13 a 15
16 a 18	16 a 18
-	19 a 23

Com a finalidade de verificar se o ajuste das equações com os dados estratificados por classes de idade resulta em melhoria das estimativas dos diâmetros quando comparado com o ajuste realizado para todas as árvores de todas

as idades, o erro padrão de estimativa médio para todo o conjunto de dados foi calculado usando as equações ajustadas para cada classe. Este erro foi então comparado com o erro padrão de estimativa da equação geral.

### 3.6 SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO DE AFILAMENTO

A seleção da melhor equação para a obtenção das estimativas foi feita com base nas mesmas estatísticas utilizadas no item 3.4, ou seja, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão de estimativa ( $S_{yx}$ ) absoluto (cm) e relativo (%) e a distribuição gráfica dos resíduos em percentagem.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa o quanto da variação da variável dependente é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de um for o valor de  $R^2$ , melhor terá sido o ajuste. O  $R^2$  é afetado pelo número de coeficientes do modelo e dessa forma foi corrigido para eliminar o efeito quanto ao número de coeficientes.

O erro padrão de estimativa ( $S_{yx}$ ) é uma estatística que mede a dispersão média entre os valores observados e os valores estimados ao longo da linha de regressão. A unidade do erro padrão da estimativa gerada pela técnica de regressão é a mesma da variável dependente e quanto mais próximo de zero ele for mais eficiente será a equação (MACHADO *et al.*, 2004). Como a variável  $Y$  do modelo é  $d_i/DAP$ , o erro foi recalculado para a variável de interesse que é o  $d_i$ .

A análise gráfica dos resíduos indica se o ajuste foi bom ao longo de toda a linha de estimativa, identificando se houve alguma tendenciosidade dos valores estimados. É uma análise subjetiva, mas fundamental para seleção dos modelos.

### 3.7 EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO

Utilizando as equações de afilamento selecionadas em cada classe de idade, foram traçados os perfis dos troncos representando cada classe. Para isso

foram estimadas as relações de  $d/DAP$ , para as alturas relativas variando de 0,0; 0,1; 0,15; 0,20; ...; 0,9; 0,95 e 1.

Normalmente a análise das curvas de afilamento obtidas é feita apenas de forma visual. No presente trabalho buscou-se fazer uma avaliação menos subjetiva das curvas, testando-se estatisticamente a diferença entre curvas de classes de idade distintas.

Para comparar as curvas de afilamento foi empregado o teste proposto por Graybill (1976) e demonstrado por Regazzi (1993). Este teste compara a regressão de modelos polinomiais, verificando estatisticamente, a partir da análise de variância e do teste F, se existe diferença entre a soma dos quadrados das regressões ajustadas para cada classe de idade e a soma dos quadrados da regressão ajustada para o conjunto de todas as idades, ou seja, testa a necessidade ou não de desenvolver equações de afilamento, estratificando-se os dados em classes de idade. Graybill (1976) desenvolveu este teste para verificar a igualdade de um conjunto de equações de regressão, testando a seguinte hipótese de nulidade:

$H_0: \underline{\beta}_0 = \underline{\beta}_1 = \dots = \underline{\beta}_n$  (as "n" equações são idênticas);

$H_1: \underline{\beta}_i \neq \underline{\beta}_j$ , para pelo menos um  $i \neq j$  (as "n" equações não são idênticas).

Os procedimentos para o cálculo da análise de variância e teste F são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TESTE PROPOSTO

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão classes de idade	$\sum GL$ da Reg. classes (1)	$\sum SQ$ da Reg. classes (5)		
Regressão geral	$GL$ Reg. geral (2)	$SQ$ Reg. geral (6)		
Redução ( $H_0$ )	(1) – (2)	(5) – (6)	$SQ_{red}/GL$	$\frac{Q.M. red}{Q.M. res}$
Resíduo	(3) – (1)	(4) – (5)	$SQ_{res}/GL$	
Total	$\sum GL$ Tot. classes (3)	$\sum SQ$ Tot. classes (4)		



A não rejeição de  $H_0$  permite concluir a um nível de significância (adotou-se 5% nesta pesquisa) que as “n” equações não diferem estatisticamente entre si, ou seja, as equações ajustadas com as estimativas dos parâmetros comuns podem ser usadas como uma estimativa das demais equações envolvidas.

Foi realizada também, uma comparação entre as curvas de afilamento, representadas pela razão  $d_i/DAP$  de cada classe de idade, obtidas para as árvores do estado do Paraná e as árvores do estado de Santa Catarina, empregando-se o teste t de Student, que determina se duas amostras podem ser provenientes de duas populações que possuem a mesma média. A não rejeição da hipótese da nulidade ( $H_0$ ) indica que as médias das amostras são estatisticamente iguais, a determinado nível de significância.

### 3.8 EVOLUÇÃO DO FATOR DE FORMA

O fator de forma é um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore, podendo ser verdadeiro ou artificial. Se o diâmetro do cilindro de referência for medido em uma altura relativa o fator de forma será o verdadeiro, se for medido a uma altura absoluta será o fator de forma artificial.

Foram calculados os fatores de forma artificial e natural de cada árvore, em todas as idades estudadas. Com base no fator de forma médio por idade foi possível visualizar a evolução do mesmo com o tempo.

Os fatores de forma são usualmente calculados com base em volumes com casca, como a análise de tronco fornece apenas as estimativas dos volumes sem casca, foi necessário calcular os volumes com casca para as árvores, pelo método de Smalian. Para a obtenção dos volumes foram utilizados os diâmetros com casca ao longo do tronco estimados com o modelo ajustado (item 3.4).

O fator de forma artificial é calculado utilizando o diâmetro a altura do peito (DAP) como diâmetro de referência para o cálculo do volume do cilindro e é representado pela razão (3):

$$f_{1,3} = \frac{v_{arv}}{v_{cil}} \quad (3)$$

$$V_{cil} = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40000} \cdot ht \quad (4)$$

onde:

$f_{1,3}$  = fator de forma artificial;

$v_{arv}$  = volume total da árvore (m<sup>3</sup>);

$v_{cil}$  = volume do cilindro de referencia (m<sup>3</sup>);

$DAP$  = diâmetro a altura do peito (cm);

$ht$  = altura total (m).

Para calcular o fator de forma natural foi necessário encontrar os diâmetros com casca a 10% da altura total nas várias idades. Esses diâmetros foram obtidos por interpolação das áreas transversais obtidas na análise de tronco. Assim, primeiramente foram determinadas as áreas transversais a 10% da altura e os diâmetros respectivos correspondentes com a equação (5). Como se referem ao diâmetro sem casca, usou-se novamente a equação ajustada para estimava dos diâmetros com casca (item 3.4). Em seguida o fator de forma natural ( $f_{0,1}$ ) pode ser calculado com a equação (6).

$$d_{0,1} = \sqrt{\frac{g \cdot 40000}{\pi}} \quad (5)$$

$d_{0,1}$  = diâmetro correspondente a 10% da altura total da árvore (cm);

$g$  = área transversal a 10% da altura total da árvore, encontrada por interpolação.

$$f_{0,1} = \frac{v_{arv}}{v_{cil}} \quad (6)$$

$$V_{cil} = \frac{\pi \cdot d_{0,1}^2}{40000} \cdot ht \quad (7)$$

A evolução dos fatores de forma comum e natural foi analisada graficamente, plotando-os contra a idade (anos).

### 3.9 EVOLUÇÃO DO SORTIMENTO

Segundo Figueiredo Filho (1991) a avaliação da produção de uma floresta depende das bitolas que definem o seu uso final. Para se determinar esse uso é necessário fazer o sortimento da madeira, quantificando os percentuais do volume total que podem ser utilizados para os diferentes usos.

Os sortimentos são definidos com base em diâmetros mínimos de uso, chamados diâmetros de topo. As classes de sortimentos determinadas para este trabalho (TABELA 3) foram obtidas a partir de informações pessoais coletadas junto à STCP ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA. As dimensões sugeridas estão de acordo ao que tem sido atualmente utilizado pelas indústrias que operam com matéria prima de plantios florestais de *Pinus* spp.

TABELA 3 - CLASSES DE SORTIMENTO

Destinação	Diâmetro na ponta fina	Comprimento das toras (m)
<i>Resíduos</i>	5	2,4
<i>Celulose</i>	8	2,4
<i>Serraria tipo 1</i>	16	3,1
<i>Serraria tipo 2</i>	23	3,1
<i>Laminação</i>	35	3,1

Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

Para a estimativa dos sortimentos nas várias idades das árvores foi utilizado o módulo de inventário florestal do programa FlorExel®. O Florexel fornece os volumes totais e os volumes por sortimentos, para o número total de árvores, assim como as estimativas por hectare. Para isto é necessário fornecer ao programa dados relativos ao DAP e a altura total das árvores e as dimensões dos sortimentos desejados. As estimativas dos volumes são realizadas empregando-se uma equação de afilamento. Essa equação deve ter sido ajustada previamente, para o mesmo conjunto de dados, e os coeficientes da equação obtidos devem ser informados ao programa.

As Figuras 7, 8 e 9 mostram as principais janelas de entrada de dados para a estimativa do sortimento no programa FlorExel®. A Figura 7 mostra a janela de entrada de dados referente aos talhões, parcelas e as árvores individuais. Nesta pesquisa cada idade foi considerada como sendo um talhão contendo apenas uma

parcela. A Figura 8 mostra como foram especificados os coeficientes do polinômio utilizado e suas respectivas potências. A Figura 9 apresenta como foram especificadas as dimensões dos sortimentos utilizados. Além destes dados também devem ser informados valores que especificam a qualidade das árvores e a altura de toco deixado por ocasião da cubagem das árvores.

Desta forma, os sortimentos ao longo dos anos (classes de idades) foram estimados inserindo-se os coeficientes do modelo selecionado para cada classe, analisando-se finalmente, a evolução do sortimento.

FIGURA 7 – ENTRADA DE DADOS NO FLOREXEL: TALHOES, PARCELAS E ÁRVORES

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Talhão	Espécie	Idade	d	h	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	
2	PT_1	Pinus taeda	1	0	0	1,3	2254,3	-2255,6	2,068	-1,929	-0,121	-0,034	0	
3			10	12	99	0	0,00001	0,0001	0,5	1	10	95	0	
4	PT_2	Pinus taeda	11	12	0	1,2	124,7	-234,0	3,246	2,068	-1,929	-0,137	-0,018	
5			20	25	99		0,0	0,0	0,5	1	10	95	99	
6	PT_3	Pinus taeda	21	25	0	1,3	-4,6	21,2	-47,872	46,995	-17,056			
7			99	99	99		1	2	3	4	5			
8	PE_1	Pinus elliottii	1	0	0	1,3	2254,3	-2255,6	2,068	-1,929	-0,121	-0,034		
9			15	12	99		0	0,0001	0,5	1	10	95		
10	PE_2	Pinus elliottii	16	12	0	1,2	124,7	-234,0	3,246	2,068	-1,929	-0,137	-0,018	
11			25	25	99		0,00001	0,0001	0,5	1	10	95	99	
12	PE_3	Pinus elliottii	26	25	0	1,3	-4,6	21,2	-47,872	46,995	-17,056			
13			99	99	99		1	2	3	4	5			

FIGURA 8 – ENTRADA DE DADOS NO FLOREXEL: COEFICIENTES E POTÊNCIAS DO MODELO DE AFILAMENTO

FlorExel v.3.10.07 - Inventário Florestal

Importar | Talhões, parcelas e árvores | Altura | Volume | Afilamento | **Toras**

Qualidade | Opções | Processamento | Consistência | Formatação | Gráficos

Características dos multiprodutos (intervalos de células)

Características dos sortimentos. Matriz com m linhas e 4 colunas

dados!\$P:\$30:\$S:\$34

Atualizar ...

ATENÇÃO: O intervalo de dados deve conter uma matriz com m linhas (nº de sortimentos ou multiprodutos limitado a um máximo de 40) e 5 colunas, sendo as mesmas: 1 - Nome do multiproduto; 2 - Diâmetro mínimo na ponta fina (cm); 3 - Diâmetro máximo na ponta grossa (cm); 4 - Comprimento da tora (m); 5 - Preço unitário (R\$/m³)

	Posição	Poda	Perda %
'Energia 5 - 8 (>5 cm - 2,4 m - 1 R\$/m³)	Qualquer	Sem poda	0
'Celulose 8 - 16 (>8 cm - 2,4 m - 1 R\$/m³)	Qualquer	Sem poda	0
'Serraria 1 16 - 23 (>16 cm - 3,1 m - 1 R\$/m³)	Qualquer	Sem poda	0
'Serraria 2 23 - 35 (>23 cm - 3,1 m - 1 R\$/m³)	Qualquer	Sem poda	0
'Laminação >35 (>35 cm - 3,1 m - 1 R\$/m³)	Qualquer	Sem poda	0

Processar | Carregar | Inicializar | Ocultar | Fechar | Ajuda

FIGURA 9 – ENTRADA DE DADOS NO FLOREXEL: DIMENSÕES DOS SORTIMENTOS

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS AMOSTRADOS

O total de árvores amostradas para a realização deste trabalho foi de 126 indivíduos localizados nos estados do Paraná e 120 indivíduos no estado de Santa Catarina. A distribuição das árvores utilizadas, segundo seus diâmetros e idades na ocasião do corte, é apresentada na Tabela 4. A análise desta tabela revela que as árvores amostradas estão homoganeamente distribuídas entre as classes de diâmetros e as idades.

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS

DAP (cm)	Paraná				Santa Catarina			
	Idade (anos)				Idade (anos)			
	7 - 9	10 - 12	13 - 15	16 - 18	10 - 12	13 - 15	16 - 18	19 - 23
4 - 9	7							
9,1 - 14	17	1			1			
14,1 - 19	13	14	5		3	4		
19,1 - 24	7	18	5		12	8	3	2
24,1 - 30	1	9	6	2	11	13	13	3
30,1 - 34		7	1	3	3	4	8	6
34,1 - 39		2	2	3		1	6	5
39,1 - 44			1	2				6
44,1 - 49								5
49,1 - 54								3
Total	45	51	20	10	30	30	30	30

Os dados obtidos com as medições das fatias das árvores foram armazenados em arquivos de texto (*txt*) pelo programa TSAP. Os quais foram convertidos em planilhas do programa Excel, reorganizados e deixados no formato padrão necessário para o processamento da análise de tronco no programa FlorExel® (APÊNDICE1).

A análise de tronco forneceu informações para todas as idades de cada árvore. Foram obtidos os diâmetros e alturas ao longo do tronco, áreas transversais, alturas totais, volumes das seções cubadas e volumes totais, bem como seus incrementos médios e correntes anuais. Dentre essas variáveis obtidas, foram utilizados apenas os diâmetros e alturas ao longo do tronco e alturas totais das árvores. Um exemplo da saída de dados para os diâmetros ao longo do tronco no programa FlorExel® é apresentado no Apêndice 2.

A Figura 10 mostra um exemplo do gráfico que representa o perfil de crescimento em diâmetro e altura para uma árvore com sete anos de idade. Cada linha no gráfico representa o crescimento em uma idade da árvore

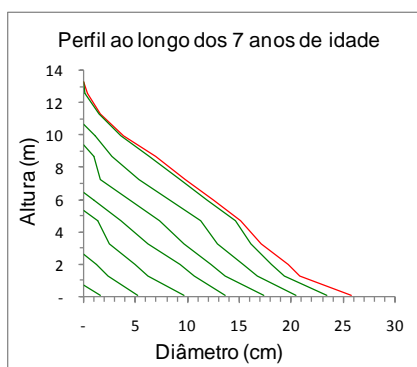


FIGURA 10 - PERFIL DA ÁRVORE GERADO PELA ANÁLISE DE TRONCO

#### 4.2 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA

O procedimento estatístico de seleção de variáveis *Stepwise* gerou modelos distintos para a obtenção da estimativa dos diâmetros com casca ao longo do tronco nas idades anteriores à idade de coleta das árvores. Para o estado do Paraná o modelo selecionado foi:

$$d_{cc} = b_0 + b_1 d_{sc} + b_2 d_{sc}^2 + b_3 I + b_4 d_{sc} I + b_5 1/I + b_6 htI \quad (8)$$

e para o estado de Santa Catarina o modelo selecionado foi:

$$d_{cc} = b_0 + b_1 d_{sc} + b_2 d_{sc} I + b_3 d_{sc}^2 + b_4 htI + b_5 I \quad (9)$$

A variável diâmetro sem casca ( $d_{sc}$ ) foi a mais correlacionada com a variável dependente diâmetro com casca ( $d_{cc}$ ), como esperado. Os modelos selecionados são semelhantes, apresentando as mesmas variáveis independentes, apenas diferenciadas em ordem de entrada, além da equação para o Paraná incluir uma variável a mais ( $1/I$ ). Os resultados dos ajustes (TABELA 5) mostram que ambas as

equações apresentaram excelentes estatísticas, com coeficientes de determinação ajustados maiores que 0,99 e erros padrão de estimativa menores do que 3%.

TABELA 5 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA NAS DIFERENTES ALTURAS E POR IDADE

Região	n	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> (%)	Coeficientes						
				b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>
Paraná	1574	0,998	2,93	-2,1318	1,0680	0,0009	0,1866	-0,0022	8,2825	-0,0037
Santa Catarina	1317	0,998	2,17	-1,4726	1,0954	-0,0061	0,0019	-0,0033	0,1736	-

Avaliando os resíduos dos modelos ajustados (FIGURA 11) é possível constatar que há uma dispersão maior nas estimativas dos menores diâmetros, na porção acima de 95% da altura total. Como essas porções têm pouca influência na estimativa do volume comercial, tendências em subestimar ou superestimar esses diâmetros podem ser consideradas irrelevantes. Desta forma os modelos gerados pelo método de seleção *Stepwise* podem ser considerados adequados para a obtenção das estimativas dos diâmetros com casca necessários para estabelecer os perfis com casca em cada idade, ressaltando-se ainda que os resíduos ficaram mais próximos de zero para os dados do estado de Santa Catarina.

Este mesmo procedimento foi utilizado por Ferreira (2005) na criação de um modelo para estimativa dos volumes com casca em árvores de *Pinus taeda*, obtendo estimativas acuradas para os mesmos.

Observando o gráfico nota-se que existem pontos que não correspondem exatamente às alturas relativas de onde as fatias eram retiradas. Quando a porção do tronco correspondente a altura relativa em que a fatia devia ser retirada coincidia com área de inserção de galhos, as mesmas eram retiradas um pouco acima do local.

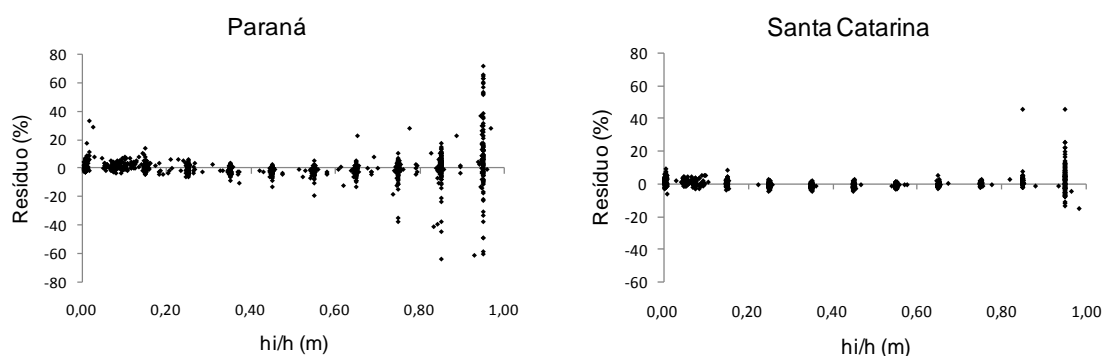


FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA AS EQUAÇÕES AJUSTADAS



### 4.3 FUNÇÕES DE AFILAMENTO

As duas funções de afilamento testadas foram ajustadas para a amostra contendo todos os dados (modelo geral), independentemente da idade e para cada classe de idade, para os estados do Paraná e Santa Catarina. Neste caso, utilizou-se somente o melhor modelo geral no item seguinte.

#### 4.3.1 Ajuste e seleção das equações de afilamento para todos os dados

O polinômio de potências inteiras e fracionárias teve suas potências selecionadas pelo procedimento de seleção de variáveis *Stepwise*. Os modelos gerados são apresentados a seguir, para os dados do estado do Paraná (10) e estado de Santa Catarina (11), respectivamente.

$$\frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + b_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{0,2} + b_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + b_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{0,005} + b_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 \quad (10)$$

$$\frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + b_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5 + b_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + b_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{0,005} + b_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{0,1} + b_6 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 \quad (11)$$

O modelo gerado para os dados do estado do Paraná possui cinco variáveis independentes e o do estado de Santa Catarina seis. Algumas das potências selecionadas foram as mesmas para os dois modelos. Segundo Fischer *et al.* (2001) a expectativa é de que as potências inteiras unitárias representem melhor a seção intermediária da árvore, as potências com grandezas de dezenas a base e as potências fracionárias o topo da árvore.

Eisfeld *et al.* (2008) testaram o polinômio de potências inteiras e fracionárias para a obtenção de estimativas do volume da *Araucaria angustifolia*. As potências selecionadas foram 2; 0,1; 20; 0,00001 e 3. Esses autores afirmaram que a associação entre potências fracionárias e inteiras representou bem tanto a porção superior quanto a inferior das árvores, resultados esses semelhantes aos obtidos na presente pesquisa. A Figura 12 mostra a linha média de ajuste da equação obtida

em relação aos dados, confirmando que as potências selecionadas representam adequadamente todo o tronco.

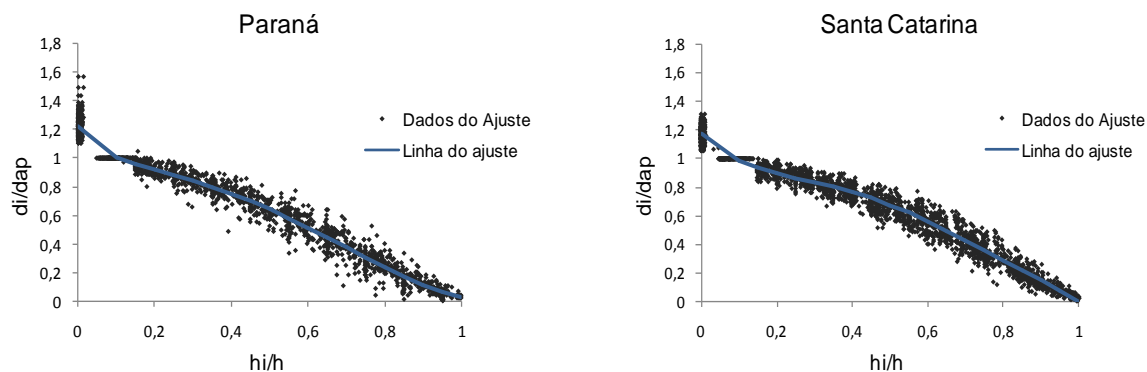


FIGURA 12 - DISPERSÃO DOS DADOS EM RELAÇÃO ÀS LINHAS ESTIMADAS PELAS EQUAÇÕES DE POTÊNCIAS INTEIRAS E FRACIONÁRIAS AJUSTADAS, PARA OS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA

Na Tabela 6 são apresentadas as estatísticas obtidas com o ajuste dos polinômios para os dados oriundos do estado do Paraná e Santa Catarina. Pode-se observar que para o estado do Paraná praticamente não houve diferença entre as estatísticas, ambas apresentando os mesmos coeficientes de determinação ajustados bem como os mesmos erros padrão das estimativas (8,4%). Para o estado de Santa Catarina o polinômio de potências inteiras e fracionárias apresentou estatísticas um pouco superiores, com um coeficiente de determinação de 0,997 e um erro padrão da estimativa de 7,57%

TABELA 6 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA AS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS PARA OS DADOS DO ESTADO DO PARANÁ E SANTA CATARINA

Região	Modelos	n	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (%)	Coeficientes						
					$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
Paraná	Polinômio de Quinto Grau	5570	0,983	8,45	1,2343	-3,264	12,992	-28,75	26,743	-8,946	-
	Polinômio de Potências Inteiras e Fracionárias	5570	0,983	8,40	1,2270	0,1681	-0,921	-2,605	0,3480	1,813	-
Santa Catarina	Polinômio de Quinto Grau	10029	0,979	8,45	1,173	-2,689	9,879	-20,38	17,564	-5,541	-
	Polinômio de Potências Inteiras e Fracionárias	10029	0,997	7,57	1,170	-0,134	1,156	-1,513	0,5601	-0,917	-0,311

Os resíduos das equações foram plotados (Figura 13) em relação as suas respectivas alturas relativas ( $h_i/h$ ). Pode-se observar que o polinômio de quinto grau apresenta tendência a subestimar os diâmetros na porção superior do tronco, ou seja, os menores diâmetros. A dispersão dos resíduos do polinômio de quinto grau é mais afastada de zero que a do polinômio de potências inteiras e fracionárias, o qual apresentou um ajuste mais homogêneo sobre as diversas partes do tronco.

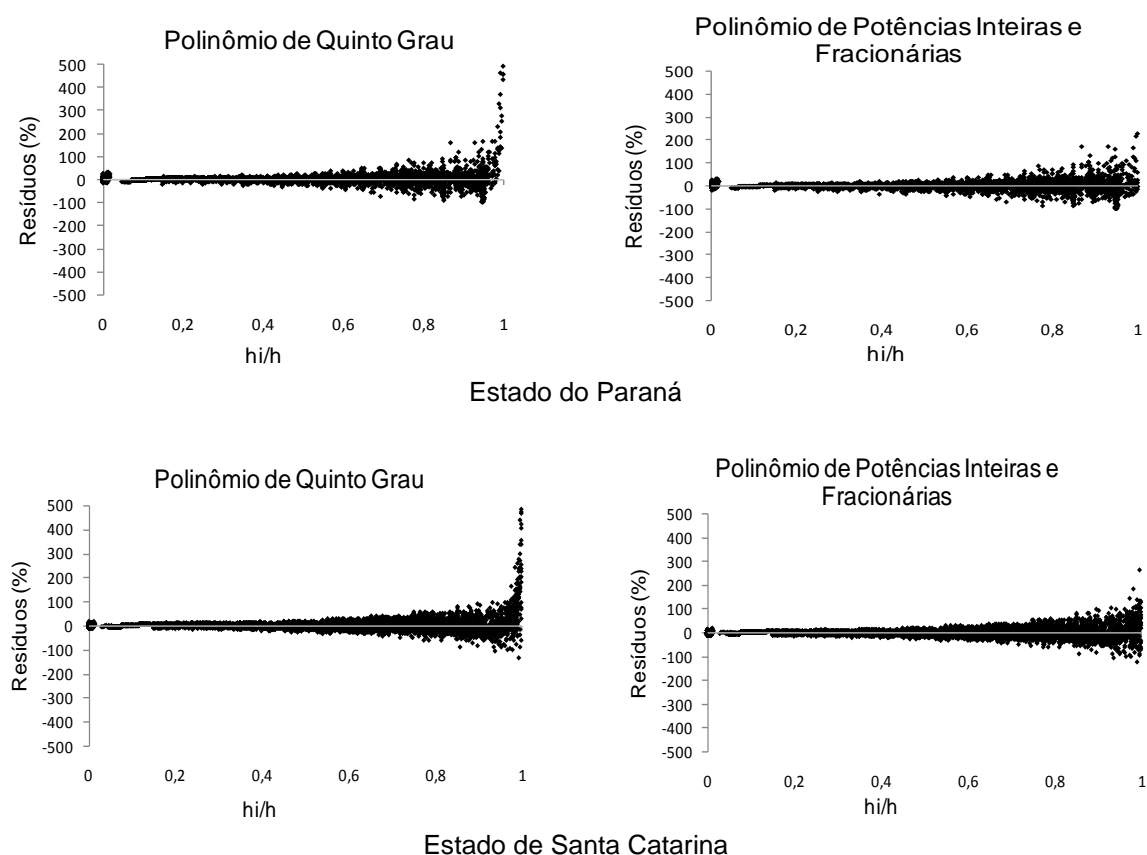


FIGURA 13 - RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS PARA OS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA

Rosot (1989) ajustou o polinômio de quinto grau e o polinômio de potências inteiras e fracionárias para dados de *Pinus taeda* agrupados e não agrupados em classes de diâmetros. Essa autora afirmou que a equação de potências apresentou um erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ) menor do que aquele obtido com o polinômio de quinto grau, mas essa diferença foi em termos de décimos. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações ajustadas foram superiores aos do polinômio do quinto grau, porém, devido à pequena diferença entre as equações e

pela maior facilidade de se trabalhar com sua integral, essa autora optou por escolher o polinômio de quinto grau para a estimativa dos volumes.

Queiroz *et al.* (2006) avaliaram a acurácia de funções de afilamento para estimar diâmetros e volumes ao longo do tronco de *Mimosa scabrella*. Entre os modelos testados, a equação de potências inteiras e fracionárias foi a mais acurada para estimativa dos diâmetros e volumes para o conjunto total dos dados, apresentando um coeficiente de determinação de 0,926 e erro padrão das estimativas de 12,47%.

Assis *et al.* (2002) ajustaram modelos de afilamento propostos por Schoepfer, Hradetzky e o de Goulding e Murray para estimar diâmetros ao longo do tronco de *Pinus taeda*. Concluíram que a equação de potências inteiras e fracionárias foi a mais estável para estimar os diâmetros ao longo de todo o tronco, destacando-se principalmente na estimativa dos diâmetros da porção inferior das árvores (aproximadamente 10% da altura total). Similarmente aos resultados obtidos no presente, o polinômio de quinto grau apresentou tendência a subestimar os volumes a partir de 85% da altura total.

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, é possível afirmar que ambas as equações poderiam ser consideradas adequadas para a obtenção das estimativas dos diâmetros ao longo do tronco das árvores, porém, o polinômio de potências inteiras e fracionárias foi selecionado como melhor equação para os dados do estado do Paraná e para o estado de Santa Catarina, por apresentar uma leve superioridade, tanto no coeficiente de determinação ajustado como no erro padrão da estimativa e distribuição de resíduos mais homogênea ao longo do tronco.

#### 4.3.2 Equações de afilamento ajustadas em classes de idade

O polinômio de potências inteiras e fracionárias selecionado como mais apropriado para todo o conjunto de dados (item anterior) foi novamente ajustado, mas para cada uma das classes de idade. Os coeficientes obtidos e suas respectivas estatísticas são apresentados na Tabela 7.

Os dados coletados no estado do Paraná foram divididos em quatro classes de idade, com um ajuste para cada classe. Analisando as estatísticas obtidas,

observa-se que os coeficientes de determinação ajustados ( $R^2$ ) foram semelhantes em todas as classes de idade, variando entre 0,981 a 0,990, indicando um excelente ajuste. O erro padrão das estimativas foi inferior a 8,5%, sendo mais alto nas classes de idade menores e diminuindo nas classes seguintes, sugerindo que os dados ficam mais homogêneos com o aumento da idade.

Para os dados do estado de Santa Catarina foram realizados ajustes para cinco classes de idade. As estatísticas encontradas apresentaram coeficientes de determinação ajustados em torno de 0,98, para todas as classes de idade, caracterizando a adequação do modelo aos dados. Para o erro padrão de estimativa foram encontrados valores inferiores a 6,5%.

Friedl (1989) estudou a dinâmica da forma do fuste de árvores de *Araucaria angustifolia*, ajustando modelos de afilamento para idades diferentes. O autor notou que a precisão do ajuste apresentou uma leve tendência de melhoria com a idade, relacionando essa tendência a uma melhor distribuição dos pontos amostrados no perfil ao aumentar a altura da árvore com a idade e a mudança que ocorre na forma das árvores com a idade.

TABELA 7 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO POLINÔMIO AJUSTADO PARA AS CLASSES DE IDADE PARA OS ESTADOS DO PARANÁ E DE SANTA CATARINA

Região	Classe de idade	n	$R^2$ aj	$S_{yx}$ (%)	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
Paraná	7 a 9	2723	0,981	8,47	1,2452	0,0299	-0,9154	-2,4724	0,3625	1,7937	-
	10 a 12	1898	0,981	8,18	1,2112	0,2685	-0,9385	-2,8111	0,3508	1,9458	-
	13 a 15	659	0,988	6,22	1,2054	0,4236	-0,9890	-2,7098	0,3537	1,7271	-
	16 a 18	290	0,990	5,25	1,1727	0,5009	-0,9285	-2,9735	0,3206	1,9056	-
Santa Catarina	7 a 9	2583	0,987	6,25	1,1797	-0,3303	0,6258	-0,5947	0,5098	-0,8018	-0,5835
	10 a 12	2938	0,987	5,99	1,1618	-0,2582	1,3466	-1,7392	0,5177	-0,8391	-0,1759
	13 a 15	2005	0,988	5,63	1,1633	0,0720	0,9478	-1,2448	0,5978	-0,9935	-0,5325
	16 a 18	1196	0,986	6,05	1,1685	0,1320	1,0422	-1,4816	0,6225	-1,0476	-0,4266
	19 a 23	1307	0,984	6,53	1,1809	0,1695	1,4767	-2,1780	0,6693	-1,1373	-0,1712

A distribuição gráfica dos resíduos para cada classe de idade é apresentada nas Figuras 14 e 15. Para os resíduos obtidos com base nos dados do estado do Paraná o número de pontos no gráfico diminui com a idade e isto se deve ao fato de que existiam poucas árvores com idade maiores. Os resíduos obtidos com os dados do estado de Santa Catarina apresentam um número semelhante de árvores nas

diferentes classes. Observa-se que, em geral, os resíduos tornam-se mais homogêneos, nas classes de idade superiores, característica esta presente em ambos os grupos de dados.

As equações apresentaram também uma pequena tendência em subestimar os diâmetros mais próximos à altura total da árvore, essa característica está mais acentuada nos dados do estado do Paraná.

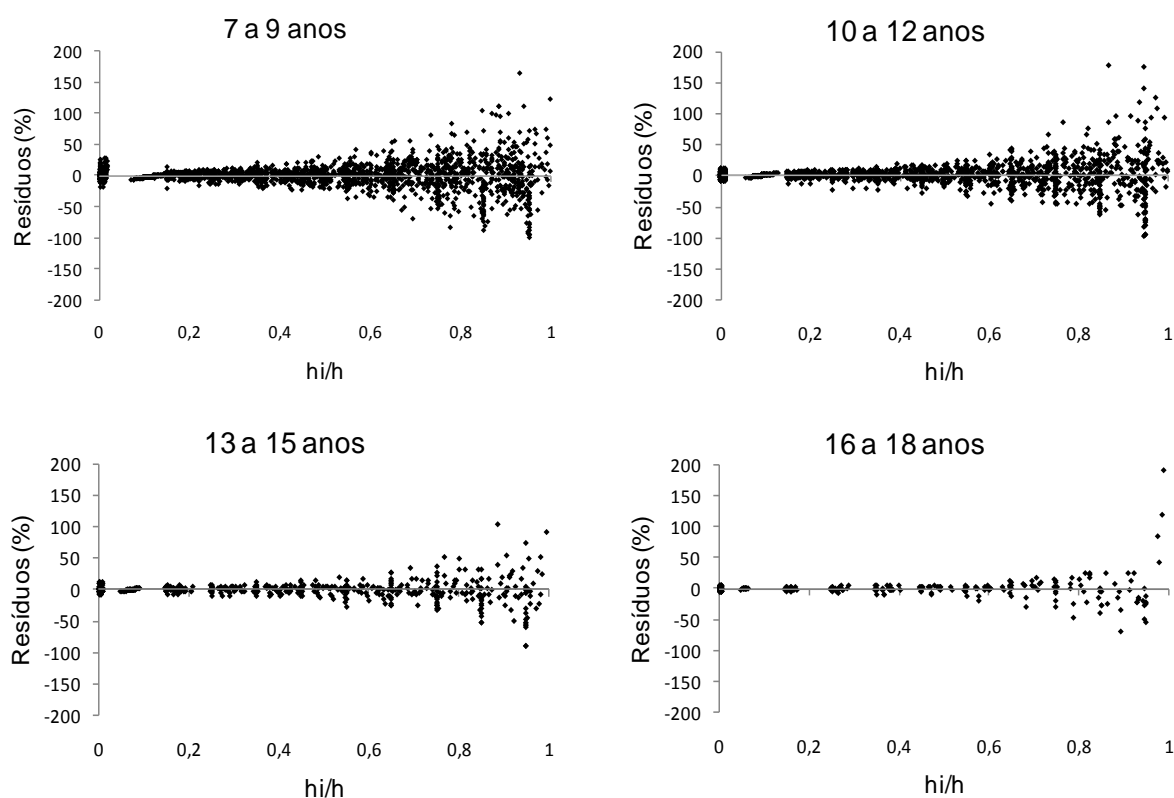


FIGURA 14 - RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS POR CLASSES DE IDADE PARA O ESTADO DO PARANÁ

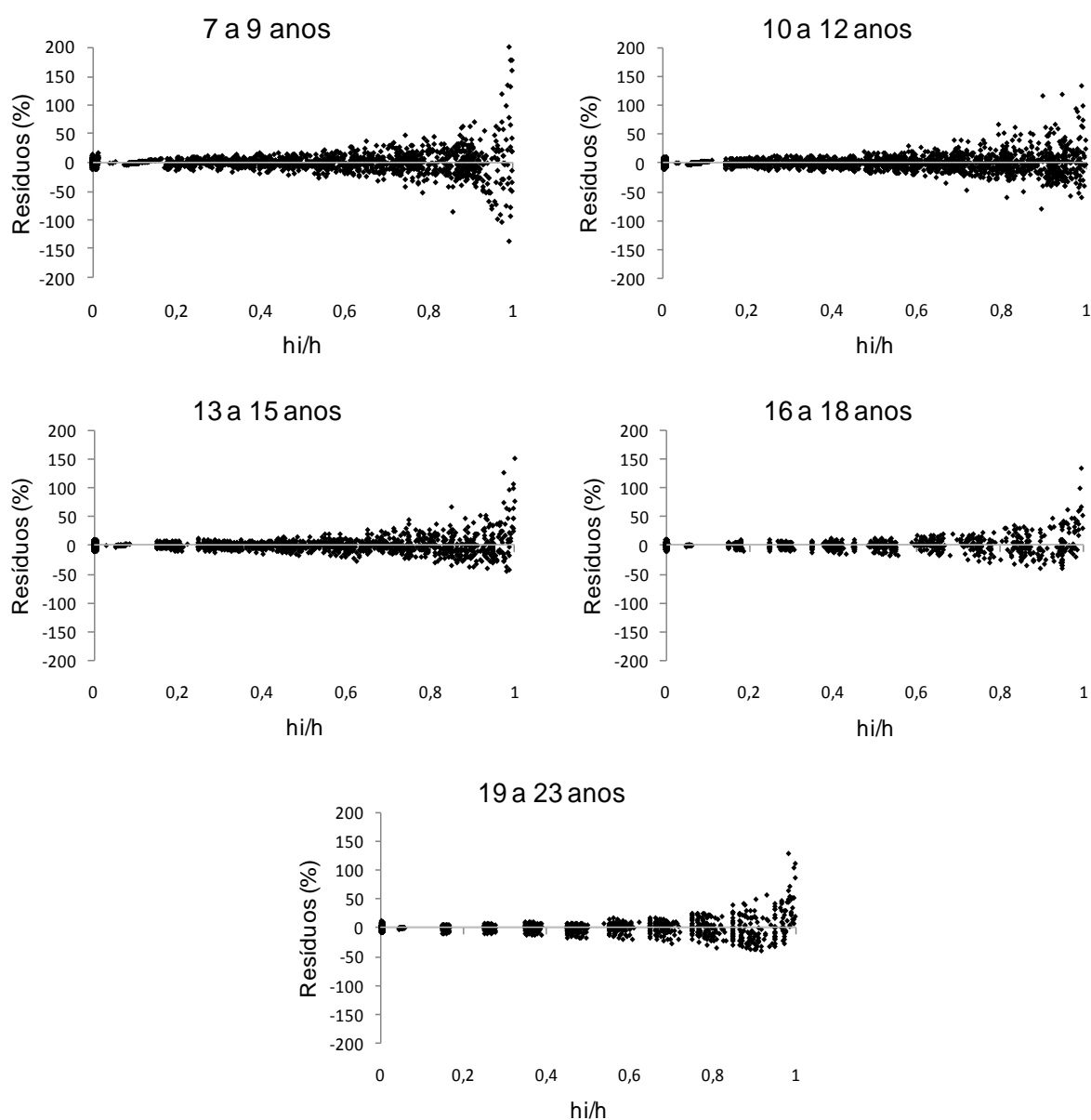


FIGURA 15 - RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS POR CLASSES DE IDADE PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA

#### 4.3.3 Comparação entre os ajustes geral e em classes de idade

O erro padrão de estimativa médio para a equação geral foi comparado com o erro padrão de estimativa das equações em classes de idade, conforme está na Tabela 8.

Observa-se uma pequena redução no erro médio quando se ajusta as funções de afilamento estratificando-se os dados em classes de idade. Houve uma diminuição em torno de 1% tanto para o Paraná como para Santa Catarina.

TABELA 8 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O ERRO MÉDIO PARA AS EQUAÇÕES AJUSTADAS

Região	Modelo	$S_{yx}$ (cm)	$S_{yx}$ (%)
Paraná	Classes	1,1258	7,77
	Geral	1,2162	8,40
Santa Catarina	Classes	1,1367	6,24
	Geral	1,3798	7,57

Foi também realizada a validação das equações ajustadas a partir das 12 árvores separadas do grupo inicial de árvores disponíveis para o ajuste.

Desta forma, este grupo de árvores, que não foi incluído nos ajustes dos modelos, teve seus diâmetros a várias alturas estimados por ambas as equações ajustadas, ou seja, pela equação ajustada para todas as árvores sem distinção de idade e pelas equações ajustadas para cada classe de idade. A qualidade de ambas as estimativas foi avaliada pelo cálculo do erro médio em termos absolutos e relativos, o qual compara o valor real (medido) dos diversos diâmetros com o valor estimado por ambas as equações ajustadas. O erro médio obtido representa uma medida da acuracidade ou exatidão dos valores estimados.

Os erros médios para as estimativas são apresentados na Tabela 9. Em geral, tanto os modelos por classes de idade quanto o modelo geral apresentaram baixos erros para ambos (PR e SC) os conjuntos de dados. As estimativas para os dados do estado do Paraná apresentaram erros maiores do que os dados do estado de Santa Catarina.

Fazendo a comparação entre as equações por classes de idade e a equação geral, pode-se afirmar, com base nos resultados obtidos, que em média, os erros estimados com as equações ajustadas por classe de idade foram menores, com exceção da classe de idade 10 a 12 anos para os dados do estado do Paraná e a classe 19 a 23 dos dados de Santa Catarina que apresentaram um erro médio maior que o erro do modelo geral, 12,23 e 8,24%, respectivamente. Dessa forma é possível concluir que os modelos ajustados para classes de idade apresentam certa superioridade sobre o modelo geral.



TABELA 9 - ERRO MÉDIO ABSOLUTO E RELATIVO NA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS

Região	Classes	Nº de observações	Erro médio	Erro médio (%)
Paraná	7 a 9	302	1,0158	8,66
	10 a 12	188	1,9775	12,23
	13 a 15	53	1,7380	9,18
	16 a 18	35	0,6887	3,02
	Geral	578	1,6555	11,41
Santa Catarina	7 a 9	287	0,6622	4,94
	10 a 12	323	0,6897	4,24
	13 a 15	221	0,7784	4,13
	16 a 18	131	0,7529	3,46
	19 a 23	140	2,0882	8,24
	Geral	1102	1,1155	6,25

#### 4.4 CURVAS DE EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO

As equações de afilamento ajustadas para as classes de idade foram utilizadas para a construção de curvas de afilamento, que representam as modificações na forma geométrica das árvores durante seu desenvolvimento. As curvas foram construídas estimando-se a relação  $d_i/DAP$  para uma dada altura relativa da árvore ( $h_i/h$ ).

As curvas obtidas são apresentadas na Figura 16, pode-se observar que nos primeiros anos as curvas são mais íngremes, indicando que existe maior afilamento do tronco das árvores nas idades mais jovens. Com a passar do tempo as curvas se tornam menos inclinadas, o que indica uma melhor distribuição de crescimento do tronco, ou seja, que as árvores tornam-se menos afiladas.

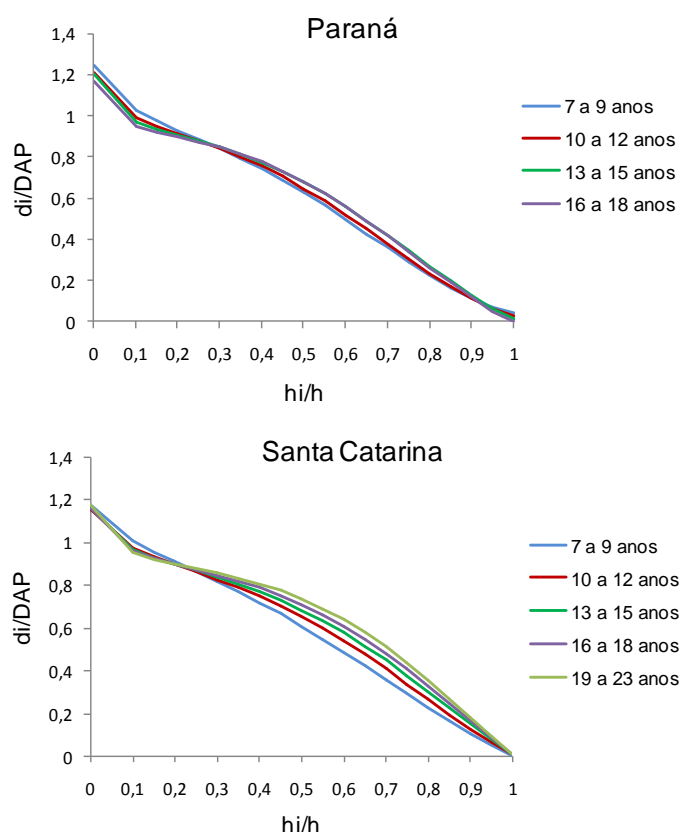


FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO DOS POVOAMENTOS PARA DADOS ORIUNDOS DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA

Burger *et al.* (1980) analisaram o comportamento de funções de forma em diferentes idades para árvores dominantes de *Araucaria angustifolia*, ajustando um polinômio de quinto grau para obter as curvas de afilamento relativas nas diferentes idades. Os autores descreveram que houve modificação da forma com a idade. Aos seis anos a forma das árvores ainda era parabolóide ao longo de todo o tronco, modificando-se para neilóide na parte inferior, enquanto que a forma parabolóide se acentuou na parte superior, levando os autores à conclusão de que o afilamento das árvores diminuiu com a idade.

Para verificar se existem diferenças significativas entre a forma das árvores nas diferentes classes de idade, as equações de afilamento obtidas foram comparadas pelo teste proposto por Graybill (1976).

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentados os resultados para o teste. O valor de  $p$  (probabilidade ou erro  $\alpha$ ) encontrado para os testes foi menor que 0,95, rejeitando hipótese da nulidade  $H_0$ , para ambos os conjuntos de dados. Isto significa que a soma de quadrados dos resíduos para as classes de idade não é estatisticamente igual a soma de quadrados do modelo geral. Sendo assim é

possível concluir, pelos resultados obtidos, que a forma das árvores muda de uma classe de idade para outra.

TABELA 10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F NA COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE AFILAMENTO PARA DADOS DO ESTADO DO PARANÁ

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	RAZÃO F	VALOR p
Regressão classes de idade	20	795,44			
Regressão geral	5	794,32			
Redução ( $h_0$ )	15	1,12	0,0748	22,56	0,0000
Resíduo	5546	18,39	0,0033		
Total	5566	813,83			

TABELA 11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F NA COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE AFILAMENTO PARA DADOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	RAZÃO F	VALOR p
Regressão classes de idade	30	1241,24			
Regressão geral	6	1232,28			
Redução ( $h_0$ )	24	8,9624	0,3734	189,53	0,0000
Resíduo	9994	19,6913	0,0020		
Total	10024	1260,9296			

Ferreira (2005) aplicou o mesmo teste de identidade proposto por Graybill (1976) para verificar a possibilidade de agrupar diferentes ambientes de produção de *Pinus taeda*, de modo que pudesse ser ajustado apenas um modelo para os possíveis grupos. O teste revelou ao final que os ambientes poderiam ser agrupados.

Para comparar se as curvas de afilamento ( $d_i/DAP$ ) obtidas para os dados oriundos dos dois povoamentos são iguais em cada classe de idade, foi realizado o teste t de Student. Com base nos resultados encontrados (TABELA 12), conclui-se que não existe diferença estatística ao nível de 5% de significância, entre as curvas de afilamento, indicando que os dois povoamentos possuem a mesma forma do tronco nas várias classes de idades.

TABELA 12 – TESTE t PARA AS CURVAS DE AFILAMENTO OBTIDAS PARA OS DADOS ORIUNDOS DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA

Classe de Idade	T	Valor de p
7 a 9	0,1427	0,8873
10 a 12	-0,0313	0,9752
13 a 15	-0,0846	0,9330
16 a 18	-0,2885	0,7745

#### 4.5 FATOR DE FORMA

Os fatores de forma naturais e artificiais foram calculados para cada árvore dentro dos dois conjuntos de dados. As análises foram feitas com base nos fatores de forma médios em cada idade e os resultados são apresentados na Tabela 13.

O fator de forma artificial apresentou valores altos nas idades menores, o que não significa que as árvores estejam com uma forma cilíndrica, mas representa o efeito da utilização do DAP como diâmetro de referência. Geralmente as árvores mais novas possuem troncos bem afilados, assim o diâmetro da base da árvore é bem maior que o DAP, fazendo com que o volume da árvore seja muito próximo ou até maior que o volume do cilindro de referência (obtido com base do DAP), gerando assim valores mais altos do fator de forma artificial. Burger *et al.* (1980) encontraram resultados semelhantes para árvores de *Araucaria angustifolia* e afirmaram que esta redução do fator de forma artificial não significa que a forma das árvores estejam piorando, pois esse fator não representa diretamente a forma geométrica da árvore (PRODAN, 1965) e sim um fator de redução para o cálculo do volume.

TABELA 13 - FATORES DE FORMA ARTIFICIAL ( $f_{1,3}$ ) E NATURAL ( $f_{0,1}$ ) POR IDADE

Idade	Santa Catarina		Paraná	
	$f_{1,3}$	$f_{0,1}$	$f_{1,3}$	$f_{0,1}$
5	0,483	0,360	0,556	0,380
6	0,458	0,389	0,497	0,394
7	0,445	0,409	0,476	0,411
8	0,443	0,431	0,471	0,433
9	0,446	0,446	0,463	0,447
10	0,451	0,461	0,461	0,460
11	0,459	0,474	0,466	0,472
12	0,465	0,485	0,464	0,476
13	0,471	0,495	0,470	0,487
14	0,476	0,502	0,474	0,497
15	0,481	0,508	0,472	0,499
16	0,484	0,513	0,468	0,500
17	0,494	0,525	0,468	0,503
18	0,498	0,530	0,459	0,500
19	0,498	0,533	-	-
20	0,503	0,540	-	-
21	0,508	0,547	-	-
22	0,509	0,549	-	-
23	0,511	0,556	-	-

Analisando o comportamento do fator de forma natural para os povoamentos estudados, pode-se verificar que ele é mais alto para os dados do estado do Paraná até a idade de 10 anos e, a partir desse ponto o fator de forma para os dados do estado de Santa Catarina passa a ser sempre mais alto. A mesma tendência pode ser observada para o fator de forma artificial. Esses valores indicam que a forma das árvores oriundas dos dados do estado de Santa Catarina têm melhorado mais rapidamente com a idade do que as árvores do estado do Paraná.

A Figura 17 apresenta a evolução dos fatores de forma durante o desenvolvimento das árvores. Os valores apresentados são os fatores de forma reais do povoamento, já que são valores médios das árvores amostradas em cada classe de idade. Pode-se observar que na idade 18 anos, para o povoamento localizado no estado do Paraná, os fatores de forma sofrem uma redução, isto ocorre em razão de existirem poucas árvores amostradas nesta idade.

O fator de forma aumenta à medida que as árvores ficam mais velhas e a tendência é de que se estabilizem com o tempo, tanto para o fator de forma natural como para o artificial. A partir dessa constatação, e como salientado por Ferreira (1999), o uso indiscriminado de um único fator de forma, em qualquer idade, pode gerar erros consideráveis na obtenção de estimativas volumétricas e no estudo da forma das árvores.

O ponto no gráfico onde as linhas dos fatores se encontram, corresponde à idade em que as árvores atingiram 13 metros de altura, ou seja, o diâmetro de referência (a 10 % da altura total) usado para o cálculo do volume do cilindro corresponde ao DAP, assim os fatores de forma natural e artificial serão iguais neste ponto. Isso ocorreu em idades diferentes para os povoamentos estudados, aos nove anos para os fatores de forma relativos ao estado de Santa Catarina, e aos dez anos para os dados do estado do Paraná, indicando que a média de crescimento em altura foi menor nos povoamentos do segundo estado. Isto pode ser devido aos tratamentos silviculturais aplicados nos povoamentos não serem semelhantes.

Segundo Ferreira (1999) é normal que se encontre um comportamento diferenciado entre o fator de forma natural e o fator de forma artificial e que nas árvores acima de 13 m de altura o fator de forma natural apresente maiores valores do que o fator de forma artificial.

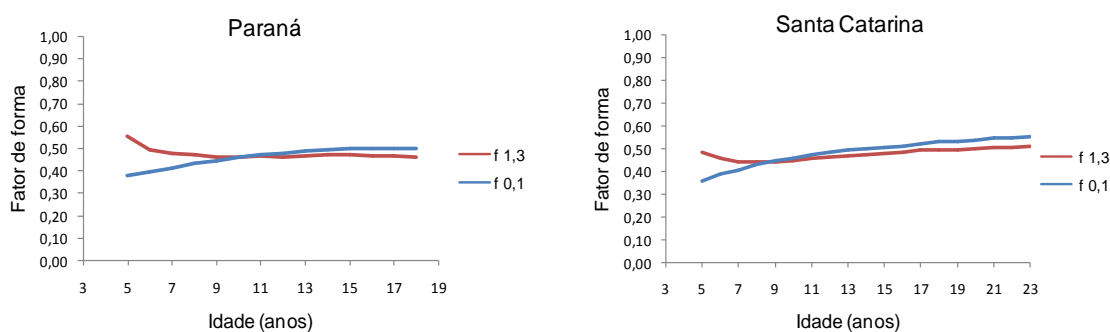


FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DOS FATORES DE FORMA NATURAL E ARTIFICIAL NOS POVOAMENTOS DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA

#### 4.6 EVOLUÇÃO DO SORTIMENTO

O sortimento foi estimado utilizando o módulo de inventário florestal do programa FlorExel®. Para efetuar os cálculos foram fornecidos, para cada árvore, seu DAP e altura total, além das dimensões dos sortimentos desejados, os coeficientes e as respectivas potências do polinômio de potências inteiras e fracionárias utilizados pelo programa.

Foram obtidos volumes totais e médios por árvores para todas as idades. Figueiredo Filho (1991) estudou a evolução do sortimento para árvores resinadas e não resinadas de *Pinus elliotti*. O autor afirmou que informações sobre os volumes obtidos em cada idade, refletem com precisão a evolução do volume de cada classe de sortimento e do volume total, além de mostrar a participação dos volumes não aproveitáveis comercialmente.

A Figura 18 apresenta a evolução do volume total médio para os dois povoamentos avaliados. Na idade de corte de 18 anos, o volume médio por árvore para o povoamento localizado no estado do Paraná foi de 1,157 m<sup>3</sup> e de 0,959 m<sup>3</sup> para o povoamento localizado no estado de Santa Catarina. O povoamento do estado de Santa Catarina apresenta maior volume médio por árvore até a idade de 15 anos, passando a partir daí a ser menor do que o volume do povoamento do estado do Paraná. Este comportamento pode refletir uma maior competição entre as árvores do estado de Santa Catarina devido ao efeito dos diferentes espaçamentos encontrados nos povoamentos.

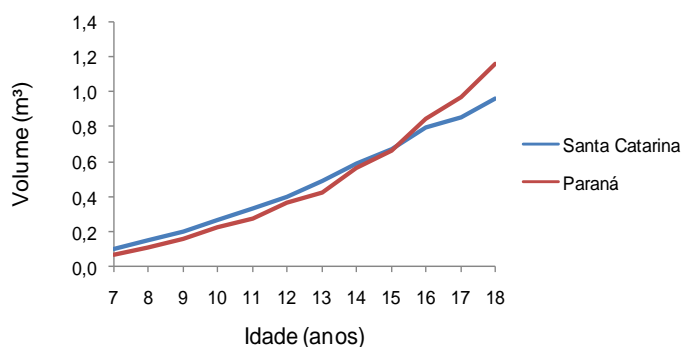


FIGURA 18 - VOLUME MÉDIO POR ÁRVORE PARA AS DUAS ÁREAS EM ESTUDO

A evolução do sortimento médio por árvore, para as duas regiões, pode ser observada na Figura 19. Ambas apresentaram comportamentos semelhantes quanto ao seu crescimento. Como os dados provenientes do estado de Santa Catarina possuíam árvores com idades maiores, foi possível estender seu sortimento até uma idade mais avançada (22 anos).

A quantidade de madeira destinada para *energia* foi baixa em todas as idades para as duas regiões estudadas e, em média, nunca chegou a representar uma tora por árvore. A madeira destinada à *celulose* apresentou um volume quase constante durante o crescimento das árvores, resultando, em média, em duas toras por árvore, durante todo o desenvolvimento do povoamento.

A partir dos sete anos algumas árvores já possuíam toras classificadas para *serraria tipo 1*. Volumes para este sortimento aumentaram rapidamente com a idade, se estabilizando aos 12 e 13 anos, para os estados do Paraná e Santa Catarina, respectivamente. A estabilização ocorre devido ao crescimento contínuo dos diâmetros, fazendo com que estes passem a ser adequados para utilização como *serraria tipo 2*.

Volumes para *serraria tipo 2* passam a ser encontrados nos povoamentos a partir da idade nove anos, aumentando rapidamente sua quantidade com o passar do tempo, chegando a representar, aos 16 anos, 61,67% do volume médio por árvore no estado do Paraná e 56,95% no estado de Santa Catarina. A partir desta idade houve uma redução nestes volumes devido ao surgimento de diâmetros adequados à *laminação*. Essa redução pode ser vista claramente na Figura 19, como essa mudança ocorreu rapidamente de um ano para outro, houve uma queda grande dos 16 para 17 anos na linha do sortimento *serraria tipo 2*.

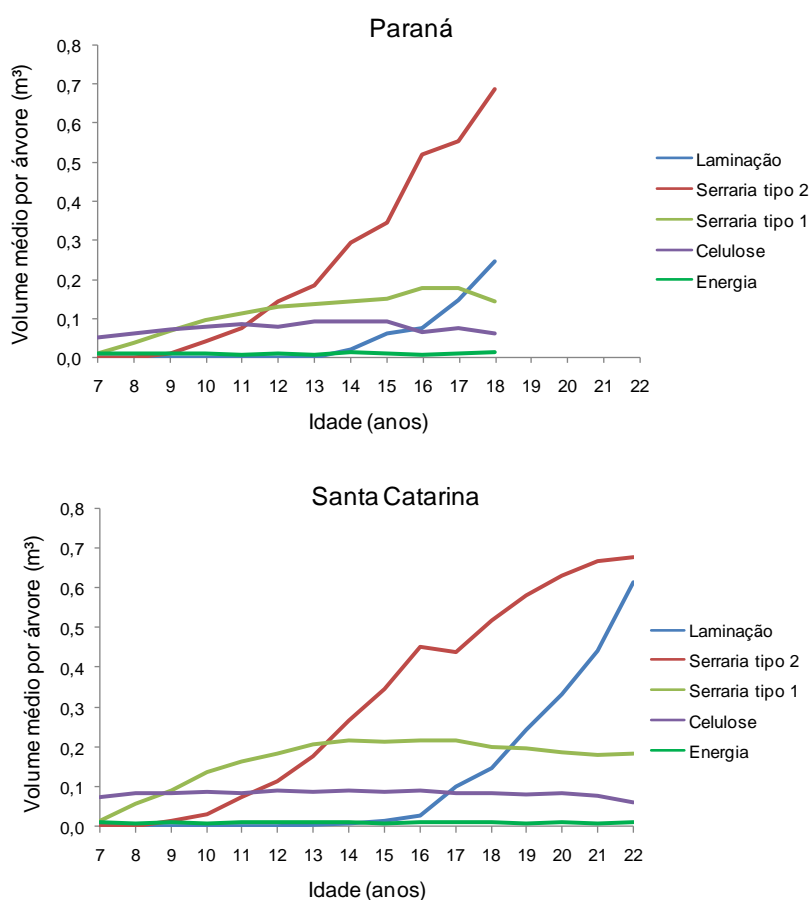


FIGURA 19 - EVOLUÇÃO DOS VOLUMES (m<sup>3</sup>) POR SORTIMENTO

A mesma tendência no crescimento dos sortimentos foi observado por Figueiredo Filho *et al.* (1992), que reportaram que os volumes para serraria diminuem com a idade, a medida que surgem diâmetros adequados para laminação. No povoamento de *Pinus elliottii* de 23 anos, estudado pelos autores, podiam ser laminados 20,42% do povoamento, aos 17 anos, valor esse que chegou a 47,68% 5 anos depois aos 23 anos, para toras que podiam ser laminadas desde que possuíssem 25 cm de diâmetro na ponta fina. Se fossem consideradas essas mesmas dimensões, no presente estudo seria possível laminar 72,97 e 63,43%, respectivamente, aos 17 anos de idade para os estados do Paraná e de Santa Catarina.

A Figura 20 mostra, em porcentagem, o quanto cada sortimento representa por árvore, para as classes de idades consideradas. As Tabelas 14 e 15 apresentam a evolução dos sortimentos por classe de idade.

Entre sete e nove anos, idade em que geralmente ocorre o primeiro desbaste, a maior parte da árvore é destinada a celulose, 55,86 e 53,85% do volume



total para o estado do Paraná e estado de Santa Catarina, respectivamente. Nesta mesma classe de idade algumas toras já poderiam ser serradas, em média 34% do volume nas duas regiões. Dos dez aos doze anos aumenta significativamente o volume de madeira para serraria, sendo que quase 70% do volume total dos povoamentos podem ser destinados a este fim (*Serraria tipo 1 + Serraria tipo 2*).

Entre 13 e 15 anos apareceram as primeiras toras com diâmetros adequados à *laminação*, porém com pouca representatividade em termos de volume total. Na classe de idade de 16 a 18 anos, ocorreu um grande aumento no volume para *laminação*, sendo possível obter até quatro vezes mais volume para este fim que na classe de idade anterior.

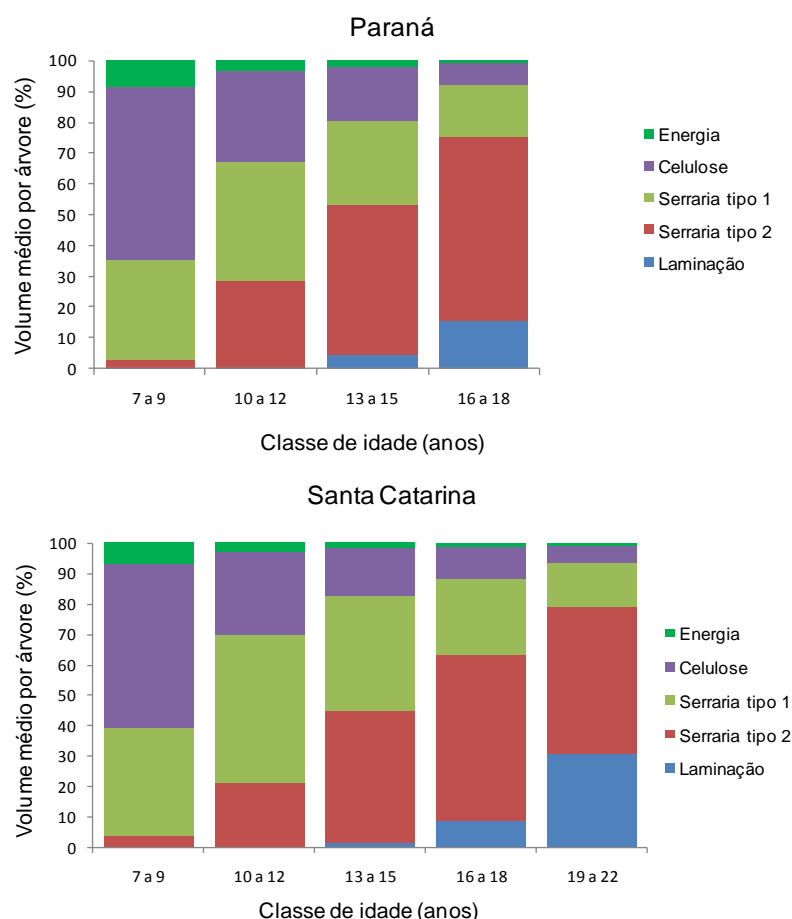


FIGURA 20 - PERCENTUAL DOS VOLUMES CLASSIFICADOS POR TIPO DE USO E CLASSES DE IDADE

Machado *et al.* (2011) estudaram a evolução do sortimento de plantios de *Pinus oocarpa* entre 7 e 22 anos de idade. A média dos sortimentos das árvores em cada ano revelou que toras com diâmetro na ponta fina de 25 cm, (neste caso, destinadas a laminação) aparecem dos 15 anos de idade em diante, chegando a

representar 50% da árvore aos 22 anos. Até os doze anos predominou a utilização para celulose (8 a 15 cm na ponta fina).

Informações obtidas sobre a evolução do sortimento de povoamentos florestais permitem determinar qual será a época mais adequada para que sejam realizadas intervenções, sejam desbastes ou o corte final, de acordo com a finalidade desejada.

TABELA 14 – SORTIMENTOS EM PORCENTAGEM PARA POVOAMENTO LOCALIZADO NO ESTADO DO PARANÁ

Idade	Laminação	Serraria tipo 2	Serraria tipo 1	Celulose	Energia
7	-	-	13,13	73,79	13,08
8	-	-	33,99	56,73	9,28
9	-	6,61	42,16	45,40	5,83
10	-	18,06	42,17	34,99	4,77
11	-	26,53	40,00	30,95	2,52
12	-	39,56	35,71	21,86	2,87
13	-	43,50	32,51	22,12	1,88
14	3,50	52,41	25,32	16,33	2,45
15	9,45	52,48	22,47	14,05	1,55
16	8,96	61,67	20,98	7,67	0,72
17	15,54	57,44	18,34	7,85	0,84
18	21,47	59,58	12,32	5,49	1,14

TABELA 15 – SORTIMENTOS EM PORCENTAGEM PARA POVOAMENTO LOCALIZADO NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Idade	Laminação	Serraria tipo 2	Serraria tipo 1	Celulose	Energia
7	-	-	15,19	73,54	11,27
8	-	1,10	37,69	55,83	5,38
9	-	6,84	45,07	42,59	5,50
10	-	11,75	51,60	33,45	3,20
11	-	21,73	49,38	25,44	3,46
12	-	28,64	45,89	23,06	2,41
13	0,81	36,34	42,44	18,19	2,22
14	1,08	45,07	36,68	15,44	1,73
15	1,87	51,58	32,04	13,16	1,34
16	3,14	56,95	27,18	11,40	1,34
17	11,85	51,59	25,48	10,02	1,07
18	15,33	54,09	20,69	8,75	1,15
19	21,69	52,36	17,76	7,42	0,78
20	26,70	50,71	14,95	6,85	0,78
21	32,20	48,61	13,05	5,65	0,49
22	39,64	43,83	11,94	3,89	0,69

Apenas para a região no estado de Santa Catarina, onde o povoamento possuía árvores mais velhas, foi possível observar a tendência de aumento do volume para *laminação* de forma significativa, ou seja, entre 19 e 22 anos de idade este volume representou 30,87% do volume total da árvore. Os demais volumes representaram 48,5% para *serraria tipo 2*, 14,17% para *serraria tipo 1* e apenas 6,47% do volume total para *celulose e energia*. Diante destes valores, é possível concluir que os sortimentos para serraria e laminação ( $d > 23$  cm) representam juntos 79,36% do volume total médio por árvore, resultado semelhante ao reportado por Dossa *et al.* (2002). Esses autores simularam o sortimento para um povoamento de *Pinus*, com 21 anos de idade, densidade inicial de 1666 árvores e dois desbastes. Juntos os volumes para serraria e laminação deste povoamento representam 92% do volume total produzido.

Segundo Figueiredo Filho *et al.* (1992) o sortimento empregado visa otimizar o aproveitamento da madeira para os usos mais nobres, ou seja, primeiro destina todo o material possível para laminação, depois para serraria e então para celulose. Dessa forma as tendências de evolução da matéria-prima para serraria e celulose, ficaram desvirtuadas, já que a preferência é pela laminação. Assim, mudanças na quantidade de volume para laminação, alteram os volumes destinados para serraria e celulose.

Digno de destaque foi o alto percentual de crescimento nos volumes destinados à *laminação*, que de uma classe de idade para outra passam de 4,26% (classe 13 a 15 anos) para 15,51% (classe 16 a 18) do volume total para o povoamento localizado no estado do Paraná e de 8,76% (classe 16 a 18 anos) para 30,87% (classe 19 a 22 anos) do volume total no caso do povoamento do estado de Santa Catarina.

Cardoso (2009) quantificou o volume potencial e efetivo de madeira para laminação (laminas *clear*) para a espécie de *Pinus spp.* A autora encontrou que em média, cerca de 11% do volume das toras podadas transforma-se em laminas *clear* ao final do processo.

As porcentagens apresentadas foram obtidas considerando apenas o total de volume comercial das árvores. O volume não comercial, constituído do volume do toco e das ponteiros, aos sete anos de idade do povoamento representava 10,77 e 8,26% do volume total das árvores dos povoamentos dos estados do Paraná e de Santa Catarina, respectivamente. Este volume diminui com o crescimento das

árvores, passando a representar apenas 1,83 e 1,95% do volume total aos 18 anos. Valores semelhantes foram encontrados por Figueiredo Filho (1991), sendo que aos 15 anos um povoamento de *Pinus elliottii* apresentou 2,5% de madeira não comercial. É possível concluir a partir dessas informações, que as árvores vão aumentando o seu rendimento em percentagem de madeira comercial com o tempo, pois quanto mais velhas menos são os volumes não aproveitáveis.

Utilizando curvas de sítio para plantações de Pinus nos estados do Paraná e de Santa Catarina, desenvolvidas por Scolforo e Machado (1988), observou-se que os povoamentos estudados pertencem a classes de sítio equivalentes, podendo dessa forma serem comparados em relação aos volumes produzidos, ainda que os tratamentos silviculturais, apesar de semelhantes, não foram iguais. A Figura 21 mostra o crescimento dos dois povoamentos em relação aos seus sortimentos. Pode-se observar que volumes para *serraria tipo 2* aparecem ao mesmo tempo em ambos as regiões, mas com o aumento da idade a superioridade de volumes para esse fim na região do estado do Paraná foi maior. Conseqüentemente, o volume para *serraria tipo 1* foi maior na região localizada no estado de Santa Catarina, dado que as árvores ainda não tinham atingido diâmetros adequados para a classe de sortimento seguinte. Volumes para *laminação* também começam a surgir no mesmo momento para as duas regiões, mas nas idades seguintes a região no estado do Paraná apresenta novamente volumes superiores.

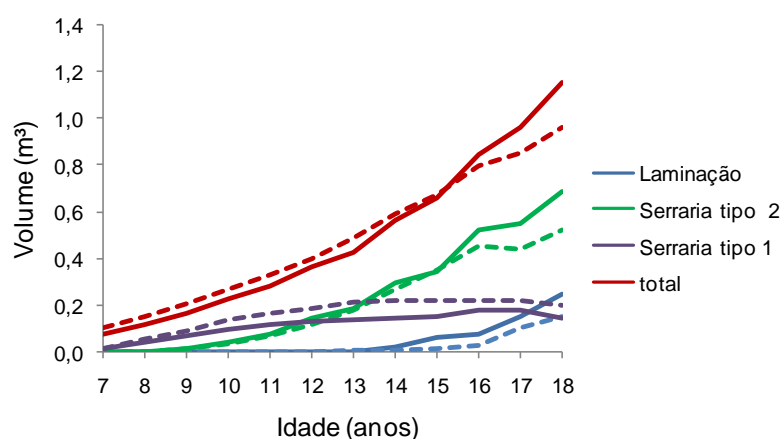


FIGURA 21 - COMPARAÇÃO DOS SORTIMENTOS PARA AS ÁREAS LOCALIZADAS NO ESTADO DO PARANÁ (LINHAS CONTÍNUAS) E NO ESTADO DE SANTA CATARINA (LINHAS PONTILHADAS)

Essa diferença entre os povoamentos provavelmente ocorre devido a presença de competição entre as árvores do povoamento localizado no estado de Santa Catarina, cujo ritmo de crescimento em volume foi menor.

## 5 CONCLUSÕES

- A técnica de análise de tronco completa foi adequada para a reconstituição do crescimento passado das árvores, fornecendo todos os dados necessários para atingir os objetivos propostos;
- As equações ajustadas pelo método de seleção de variáveis *Stepwise* são adequadas para obtenção das estimativas dos diâmetros com casca ao longo do tronco nas várias idades para os dois povoamentos estudados, sendo, portanto, uma ferramenta valiosa para obter indiretamente (e com precisão) o perfil com casca dos troncos, quando se utiliza a análise de tronco completa;
- Os modelos de afilamento ajustados para o conjunto total de dados apresentam estimativas acuradas dos diâmetros ao longo do tronco. O ajuste do polinômio de potências inteiras e fracionárias apresenta resultados melhores e distribuição mais homogênea dos resíduos, sendo o modelo escolhido para ambas as áreas em estudo;
- O Polinômio de 5º grau apresenta tendência de subestimar os diâmetros na porção superior do tronco;
- Não são verificadas diferenças na comparação entre os ajustes efetuados por classes de idade com o ajuste que considerou o conjunto total dos dados.
- O modelo de afilamento testado representa adequadamente a evolução da forma do tronco das árvores. Nas idades iniciais os troncos das árvores são mais afilados, melhorando sua forma com o avanço da idade.
- As formas dos troncos das árvores nos povoamentos localizados nos estados do Paraná e de Santa Catarina são similares nas várias classes de idade estudadas;
- Tanto o fator de forma natural quanto o artificial são altamente influenciados pela idade, sendo que a mudança da forma do tronco é maior em árvores mais jovens.

- A porcentagem de volume aos 18 anos que pode ser serrada (Serraria tipo 1 + serraria tipo 2) e laminada são, respectivamente, 71,9 e 21,47% para o estado do Paraná e 74,78 e 15,33% para o estado de Santa Catarina.
- Volumes para celulose representaram a maior parte das árvores apenas na classe de idade 7 a 9 anos;
- Volumes para serraria se concentram nas idades maiores do que 9 anos em ambas as áreas de estudo;
- Volumes para laminação surgem por volta da idade de 14 anos para os dois povoamentos, alterando-se drasticamente nos próximos anos.

## REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012: Ano base 2011**. Brasília: 2012.

AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.3, p.37-68, dez.1981.

ARCE, J. E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 207-217, 2004.

ASSIS, A. L. de. **Avaliação de modelos polinomiais segmentados e não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda***. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2002.

ASSMANN, E. **The Principles of Forest Yield Study**. New York: Pergamon Press, 1970.

BAKER, J. B.; LANGDON, O. G. Loblolly Pine. **Silvics of North America** Washington, DC: USDA, v. 2, p. 198-204. 1990. Disponível em: <[http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics\\_manual/Volume\\_1/pinus/taeda.htm](http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/Volume_1/pinus/taeda.htm)> Acesso em: 30/04/2012.

BORGES, J. F. **Seccionamento, do fuste de *Pinus taeda* L. para obtenção do volume de madeira serrada, através da função de forma polinomial**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1981.

BURGER, D. ;MACHADO, S. A.; HOSOKAWA, R. T. Estudo do Desenvolvimento da Forma de *Araucaria angustifolia* com relação a idade. In: Encontro da IUFRO (International Union for Forestry Research Organization), 1979, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Anais do encontro da IUFRO (International Union for Forestry Research Organization) 1980. p. 320-329.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal, Perguntas e Respostas**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009.

CAMPOS, J. C. C. E TURNBULL, K. J. Um método para estimar índices de local utilizando a análise de tronco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n.1 p. 47-61, 1980. Disponível em: <<http://books.google.com.br>>. Acesso em 18/06/12.

CARDOSO, D. J. **Viabilidade técnica e econômica da poda em plantações de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii***. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de *taper* para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.799-809, 2003.

CLUTTER, J. L, FORTSON, J. C, PIENAAR, L.V. **Timber Management: A quantitative Approach**. USA: John Wiley & Sons,1983.

COELHO, V. C. M. **Avaliação do manejo da produção econômica de madeira de *Pinus taeda* L.com características qualitativas superiores**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

CONCEIÇÃO, M. B. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex – Maiden**.150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHIERI, H. R. **Produção e Rentabilidade de *Pinus* em Empresas Florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, Dez. 2002, 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 82).

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO J. R. R. **Idade e crescimento das árvores. Comunicações Técnicas Florestais**. Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal, v.7, 2005



EISFELD, R. L.; VIGOLO, D. Z.; SANQUETTA, C. R.; MELLO, A. A. Modelo de Hradetzky aplicado à estimativa do volume total para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 51-66, jan./abr,2008.

FERREIRA, S. O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. 132 f. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

FERREIRA, R. A. **Análise genética e seleção em testes dialélicos de *Pinus taeda* L.** 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Influência da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* e sua avaliação econômica**. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.; A.; HOSOKAWA, R. T.; KIKUTI, P. Avaliação econômica da resinagem em floresta de *Pinus elliottii*. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**, Piracicaba, v. 45, p. 48-63, 1992.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 83, n. 1, p. 39-46, 1996.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SCHAAF, L. B. Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (Xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Canadá, v. 29, p. 451-461, 1999.

FIGUEIREDO FILHO, A.; KOHLER, S. V.; FELDE, J. L.; DIAS, A. N. **Dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia***. Submetido a publicação.

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

FINGER, C. A. G.; ZANON, M. L. B.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M.; COELHO, M. C. B. Funções de forma para *Eucalyptus dunnii* Maiden implantados na depressão central e encosta sudoeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 399 - 403, 1995.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R.; ACERBI JUNIOR, F. W.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.167-188, 2001.

FLORIANO, E. P. **Efeitos da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* Engelm.** 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

FRIEDL, R. A. **Dinâmica e prognose da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucarian angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

GAFFREY, D.; SLOBODA, B.; MATSUMURA, N. Representation of tree stem taper curves and their dynamic, using a linear model and the centro affine transformation. **Journal of Forest Research**, v. 3, n. 2, p. 67–74, 1998.

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

GRAYBILL, F. A **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury Press, 1976.

HRADETZKY, J.: **Analyse und interpretation statistischer abrängerkeiten**. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs-und Forschungsanstalt Baden-Wüettemberg, Heft Nr. 76, 1976.

HUSCH, B.; MILLER, I.C.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: J. Wiley, 1982.

JORGE, L. A. B.; LARA, H. A. Programa de sortimento de madeira serrada de povoamentos de *Pinus elliottii* com alternativas de produtos padronizados. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v.2, p. 539-544.

KOHLER, S. V.; RETSLAFF, F. A. S.; MÔRA, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Avaliação do afilamento e sortimento de *Pinus elliottii* Engelm na região centro-sul do Paraná. In: 5 Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal, 2011, Santa Maria. **Anais... 5º Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal**, 2011. v. 5. p. 446 – 453.

KOSLOWSKI, T. T. **Growth and development of trees**. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin, v. 2, 1971.

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

LARSON, P.R. Stern from development of forest tree. **Forest Science Monograph**, Washington, p.1-41, 1963.

LEITE, H. G. CAMPOS, J. C. C.; PAULA JUNIOR, G. G. Emprego de um modelo de programação dinâmica para conversão de fustes em multiprodutos da madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 4, p.447-465, 1995.

MAACK, R.; **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: José Olympio, 1981.

MACHADO, S. A. Influência da idade na forma do fuste de *Araucaria angustifolia* em plantações no Brasil. In: Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais: O uso de funções de forma de tronco em estudo de volumetria de espécies florestais, 5, Curitiba, 1982. **Anais....** Curitiba: EMBRAPA 1982. p. 51–55.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, D. J. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n 48, p.41-64, jan./jun. 2004

MACHADO, S. A.; SANTOS, A. A. P.; ZAMIN, N. T.; SILVA, L. C. R. Evolução do sortimento de *Pinus oocarpa* na região sudoeste do estado de São Paulo. In: 5º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal, 2011, Santa Maria. **Anais... 5º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal** 2011. v. 5. p. 194-203.

MULLER, I. **Forma de tronco e sortimentos de madeira para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. manejado em alto fuste, na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul**. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MÔRA, R. **Influência da forma de ajuste e do comprimento das seções no desempenho de funções de afilamento**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2011.

OPTIMBER. **FlorExel – Forestry Functions for Microsoft Excel**, version 3.11. OpTimber Otimização e Informática. Curitiba, Paraná, Brazil, 2013. Download ([www.optimber.com.br](http://www.optimber.com.br))

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José – Costa Rica: GTZ-IIICA, 1997.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E; KOEHLER, H. S. Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* bentham em povoamentos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, mai./ago. 2006.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. ARCE, J. E; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, abr./ jun. 2008.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, Viçosa, v.40, p.176-195, 1993.

ROSOT, M. A. D. **Estudo comparativo de métodos para a avaliação volumétrica por unidade de área em um povoamento de *Pinus taeda***. 163 f Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

ROSOT, M. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DISPERATI, A. A.; EMERENCIANO, D. B. Análise de tronco digital: uma nova metodologia para medição de anéis de crescimento. **Floresta**, Curitiba, v.33, n.2, p.235-256, 2003.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Sub-chefia de Estatística, Geografia e Informática. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986.

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

SELLE, G. L **Guias de densidade e índices de sítios para *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M.; TOTTI, J. A.; BAZZO, J. L. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* para o estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 79-88, 1996.

SCHOEPFER, W. Automatisierung des massem, sorten und wertberechnung stenender waldbestande schriftenreihe Bad.[S.I]: Wurtt-Forstl., 1966.

SCOLFORO, J. R.S.; MACHADO, S. A. Curvas de Índice de Sítio para Plantações de *Pinus elliottii* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 18, n.1-2, p. 140-158, 1988.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil de *Pinus elliottii*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 4, n.1, p. 100-122, 1998.

SHIMIZU, J. Y. **Cultivo do Pinus:** espécies. Versão eletrônica. Nov./2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 14 de Março de 2012.

SHIMIZU, J. Y.; HIGA, A. R. Variação racial do *Pinus taeda* L. no sul do Brasil até o sexto ano de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 2, p. 1-25, 1981.

SHIMIZU, J. Y.; MEDRADO, M. J. S. **Cultivo do Pinus:** espécies. Versão eletrônica. Nov./2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 14 de Março de 2012.

SOUZA, C. A. M. **Avaliação de modelos de taper não segmentados e segmentados na estimação de altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus sp.*** 94 f Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

SOUZA, C. A.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MENDONÇA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus sp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 387-399, jul.-set. 2008.

SOUZA, C. A. M. **Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação**. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SOUZA, C. A. M.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; SILVA, G. F.; THOMAS, C. Eficiência de um modelo de afilamento ajustado sem e com estratificação por classe de quociente de forma para formação dos sortimentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 125-135, jan.-mar, 2012.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

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

APÊNDICE 1 - ENTRADA DE DADOS NO PROGRAMA FLOREXEL: DIÂMETROS MEDIDOS NOS  
RAIOS DAS FATIAS

Árvore: 4		ht: 13,3			Idade Plantio: 7 anos				
Raio	hi (m)	Casca	Anel 1	Anel 2	Anel 3	Anel 4	Anel 5	Anel 6	Anel 7
1	0,10	14,85	13,70	11,67	10,09	7,66	5,46	2,62	0,82
2	0,10	11,78	11,34	10,04	8,18	6,45	4,59	2,60	0,90
3	0,10	13,58	11,88	10,34	8,68	6,81	4,64	2,78	0,81
4	0,10	11,38	9,96	8,94	7,82	6,35	4,68	2,47	0,75
1	1,30	10,60	9,72	8,25	6,71	5,43	3,30	1,17	
2	1,30	10,24	9,63	8,30	6,60	5,02	3,02	1,11	
3	1,30	11,11	10,32	8,98	7,32	5,73	3,16	1,19	
4	1,30	9,80	9,06	8,08	6,68	5,05	2,97	1,15	
1	2,00	10,30	9,87	8,22	6,50	4,99	2,87	0,73	
2	2,00	10,33	9,31	8,06	6,54	4,82	2,44	0,58	
3	2,00	9,66	8,82	7,58	6,09	4,41	2,34	0,59	
4	2,00	9,20	8,30	6,91	5,48	4,29	2,40	0,59	
1	3,30	8,99	8,53	6,71	5,01	3,19	1,35		
2	3,30	8,36	7,88	6,63	4,87	3,10	1,25		
3	3,30	8,53	8,04	6,45	4,71	3,22	1,30		
4	3,30	8,18	7,78	6,18	4,71	3,01	1,19		
1	4,70	7,83	7,59	5,84	3,72	1,78	0,72		
2	4,70	8,09	7,91	6,22	3,97	1,84	0,64		
3	4,70	7,29	6,87	5,19	3,42	1,78	0,62		
4	4,70	6,90	6,77	5,27	3,57	1,76	0,74		
1	6,00	6,62	6,28	4,42	2,41	0,54			
2	6,00	6,15	5,85	4,02	2,13	0,48			
3	6,00	6,23	5,94	4,02	2,19	0,49			
4	6,00	5,95	5,70	4,16	2,21	0,51			
1	7,30	5,05	4,83	2,86	0,76				
2	7,30	4,62	4,35	2,59	0,76				
3	7,30	4,82	4,54	2,54	0,83				
4	7,30	5,11	4,82	2,71	0,73				
1	8,70	3,52	3,31	1,45	0,47				
2	8,70	3,31	3,14	1,43	0,53				
3	8,70	3,40	3,11	1,36	0,44				
4	8,70	3,41	3,12	1,34	0,40				
1	10,00	1,81	1,72	0,49					
2	10,00	1,98	1,87	0,65					
3	10,00	1,97	1,85	0,58					
4	10,00	1,82	1,74	0,55					
1	11,30	0,78	0,70						
2	11,30	0,87	0,81						
3	11,30	0,75	0,67						
4	11,30	0,71	0,63						
1	12,60	0,10	0,04						
2	12,60	0,12	0,04						
3	12,60	0,24	0,06						
4	12,60	0,11	0,04						

APÊNDICE 2 - DIÂMETROS AO LONGO DO TRONCO EM CADA IDADE FORNECIDOS PELO FLOREXEL NO PROCESSAMENTO DA ANÁLISE DE TRONCO

Diâmetros sem casca (cm):A última linha mostra as alturas de término dos anéis

<b>Altura(m)</b>	<b>Casca (cm)</b>	<b>7 anos</b>	<b>6 anos</b>	<b>5 anos</b>	<b>4 anos</b>	<b>3 anos</b>	<b>2 anos</b>	<b>1 ano</b>
0,10	25,79	23,44	20,49	17,39	13,63	9,69	5,23	1,64
1,30	20,87	19,36	16,80	13,66	10,62	6,22	2,31	
2,00	19,74	18,15	15,38	12,31	9,25	5,02	1,25	
3,30	17,03	16,11	12,98	9,65	6,26	2,54		
4,70	15,06	14,57	11,26	7,34	3,58	1,36		
6,00	12,48	11,89	8,31	4,47	1,01			
7,30	9,80	9,27	5,35	1,54				
8,70	6,82	6,34	2,79	0,92				
10,00	3,79	3,59	1,13					
11,30	1,56	1,41						
12,60	0,29	0,09						
13,30	13,30	13,30	10,67	9,42	6,45	5,39	2,65	0,77