

GEAN CARLOS PAIA LIMA

**COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CUBAGEM
DE MADEIRA DE POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L. NA
REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Manejo Florestal, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade Estadual de Santa Catarina, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Marcio Carlos Navroski

**LAGES-SC
2015**

L732c

Lima, Gean Carlos Paia

Comparação de diferentes métodos de cubagem de madeira de povoamento de *Pinus taeda* l. na região serrana de Santa Catarina / Gean Carlos Paia Lima. - Lages, 2015.

133 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Marcio Carlos Navroski

Bibliografia: p. 123-133

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de

Santa Catarina, Centro de Ciências

Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2015.

1. Levantamentos florestais. 2. Precisão. 3. Volume individual. I. Lima, Gean Carlos Paia. II. Navroski, Marcio Carlos. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

CDD: 634.98 - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/ UDESC

GEAN CARLOS PAIA LIMA

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CUBAGEM DE
MADEIRA DE POVOAMENTO DE *Pinus Taeda* L. na REGIÃO
SERRANA DE SANTA CATARINA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:


Orientador:

Dr. Marcio Carlos Navroski
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro interno:

Dr. Jean Alberto Sampietro
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo:


Dr. Alexander Christian Vibrans
Universidade Regional de Blumenau

Lages, 19 de fevereiro de 2015.

A minha mãe (Dona Maria Celi), por sua ajuda e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Ao meu irmão querido (Janio), pois sempre me “lançou a mão” nos momentos difíceis da minha vida.

A minha irmã e sobrinhos que tanto amo (Geise, Andrei e Gabrielle) por todo o carinho.

A minha noiva amada (Sintia Kohler), por todo seu amor e companheirismo.

A meu pai (Sr. Edilson, *in memorian*), que sempre estará no meu coração.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por tudo em minha vida, pois Ele sempre esteve e sempre estará no centro da minha existência.

Ao meu amigo e companheiro Raul Silvestre, por sua grande contribuição em todas as etapas deste trabalho.

Ao professor e amigo Marcio Navroski pela orientação e disposição em me atender em todos os momentos que necessitei de sua ajuda.

À minha noiva Sintia Kohler pelo incentivo e grande ajuda na confecção desta dissertação.

Em especial, aos amigos Diego Mores, Gabriel Alegretti e Aline Gross pela grande ajuda durante a coleta de dados, pois estiveram à disposição em todos os momentos deste trabalho.

Aos amigos Rafael Scariot, Julio Amâncio, Deyves Borges, Felipe Domingos pela ajuda em vários momentos durante a coleta dos dados.

A Marcelo Bonazza pela amizade, ajuda e companheirismo durante todos os momentos da faculdade.

A toda equipe Seiva Rio Marombas, em especial ao Engenheiro Florestal Flavio Rolim pela sua prontidão e paciência durante a coleta dos dados.

Ao professor Luciano Farinha Watzlawick por emprestar alguns equipamentos fundamentais para desenvolvimento do trabalho.

À FAPESC pelo apoio financeiro.

Aos professores da UDESC Jean Sampietro, Geedre Borsoi, Marcos Nicoletti, André Hess, Álvaro Luiz Mafra e Philipe Ricardo Soares pela amizade e confiança.

Aos meus amigos da pós-graduação pelos momentos de descontração.

Aos meus tios Ademilton, Aglaedson, Marivaldo, Ailton, Maria Ivonete, Elena, Roseni e Eleni pelo carinho incentivador dados em todos os momentos da minha vida.

Ao meu avô Edivaldo Teixeira e Celia Cotta (*in memorian*) pela enorme contribuição amorosa.

Em especial, aos meus fiéis amigos Marcos Guimarães, Helder Mascarenhas, Rafael Cunha, Frei Sebastião, Rafael Pinto, Raiane Viana, Alana Toniol, Carolina Otoni, Fabrícia Menez e Andressa de Souza por todo carinho e compreensão pelo tempo de ausência.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram e fica minha sincera gratidão a todos acima citados, que Deus abençoe vocês.

*“Ainda que eu falasse a língua dos homens
e dos anjos e não tivesse amor, seria como
sino que soa um prato que retine. E ainda
que eu tivesse tanta fé que pudesse
transportar montes, e não tivesse amor, de
nada me adiantaria. O amor é sempre
paciente e generoso, nunca é invejoso, não
é rude nem egoísta, não se ofende nem se
recente, não se regozija com a injustiça,
mas se regozija com a verdade. O amor
jamais acaba...” (Coríntios 13)*

Tarso de Paulo.

RESUMO

O emprego de um método de cubagem adequado, que possa garantir melhor precisão na determinação do volume individual de árvores, é de suma importância nos levantamentos florestais, permite uma menor intensidade amostral, atendendo aos erros estipulados, com menor tempo e custo de trabalho. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi comparar os métodos de cubagem de Smalian, Huber, Newton, Hohenadl (5 seções), Hohenadl (10 seções), FAO, Método relativo 19 seções, Pressler e Seccional Padrão, com o volume das árvores determinado por meio do método de deslocamento de água (Xilometria), sendo este considerado como volume verdadeiro, para a espécie *Pinus taeda* com idades de 9, 13 e 20 anos, no município de Ponte Alta do Norte-SC. Foram cubadas 98 árvores de acordo com os diferentes métodos, sendo cronometrado o tempo gasto na execução de cada um. Após a cubagem as árvores foram seccionadas em toras de 3,10m, classificadas por sortimento e xilometradas. Foi ajustado o polinômio de quinto grau utilizando os dados obtidos em cada método de cubagem, verificando qual método proporciona o melhor ajuste e estimativa do volume em relação ao xilômetro. Foi empregado o Delineamento Inteiramente ao Acaso (DIC), sendo que cada árvore configurou uma repetição de dados e cada método de cubagem um tratamento. O teste de homogeneidade de Bartlett e análise de variância (ANOVA) foram aplicados para todas as idades, seguidos do teste de Tukey a 5% de significância para comparar as médias dos volumes e dos tempos. A análise de variância constatou diferença significativa entre os tratamentos de todas as idades, tanto para o volume como para o tempo de medição. Independente da idade, todos os métodos de cubagem superestimaram os volumes das árvores em relação ao volume

verdadeiro obtido com a xilometria. Para as idades de nove e treze anos, os volumes obtidos pelos métodos de cubagem de Huber, Pressler e Seccional Padrão apresentaram os menores desvios comparado com o xilômetro, com -0,08%; -0,43% e -0,97%; e 6,853%; -8,332% e -8,827% respectivamente. Na idade 20 anos o método de Hohenadl (5 seções) apresentou a melhor precisão (desvio de -1,98%) seguido dos métodos de Huber, Seccional Padrão e Pressler, com desvios de -2,55, -2,59 e -3,03% respectivamente. Pelo teste de Tukey, os métodos de 19 seções, FAO, Smalian, Newton e Hohenadl (10 seções) diferiram seus volumes em relação ao volume verdadeiro para a idade de vinte anos. Para a idade de nove anos, apenas métodos de 19 seções, FAO, Smalian diferiram seus resultados em relação ao volume verdadeiro. Para a idade de 13 anos, nenhum método foi estatisticamente igual ao volume verdadeiro. Os Métodos da FAO, Smalian e 19 seções foram considerados os piores métodos na estimativa do volume para todas as idades estudadas. Hohenadl (5 seções) foi o método de cubagem de mais rápida execução, diferindo dos demais métodos, com tempo de cubagem sempre inferior a 60 segundos. Na estimativa do volume pelo polinômio de quinto grau, o método Seccional Padrão apresentou valores mais próximos aos obtidos com a xilometria nas três idades em estudo. Tanto o método de Huber quanto o método Seccional Padrão apresentaram volumes calculados bem próximos ao volume verdadeiro determinado na xilometria, além de apresentar um tempo de medição bem próximo ao dos métodos que obtiveram os menores tempos de cubagem.

Palavras-chaves: Levantamentos florestais. Precisão. Volume individual.

ABSTRACT

The use of an appropriate volume calculation methods, which can ensure better accuracy in determining individual volume of trees, is extremely importance in forest surveys, allows a smaller sampling intensity, given the stipulated errors with less time and labor cost. In this context, the aim of this study was to compare the volume calculation methods Smalian, Huber, Newton, Hohenadl (5 sections), Hohenadl (10 sections), FAO, Method sections 19, Pressler and Sectional Standard, with the volume of trees determined by the water displacement method (Xylometer), which is considered as true volume for *Pinus taeda* with age of 9, 13 and 20 years, in the municipality of Ponte Alta do Norte-SC. In total, were sampled 98 trees, all in according to the different methods, and clocked the time spent performing each method. After the trees were sectioned into logs of 3.10 meters, classified in assortment and applied the technique xylometer. Were fit the fifth-degree polynomial using the data obtained in each volume calculation method, checking what method provided the best fit and estimate the quantity in relation to xylometer. We used the completely randomized design (CRD), with each tree set up a repetition of data and each cube of a treatment method. Bartlett's homogeneity test and analysis of variance (ANOVA) was applied to all ages, followed by the Tukey test at 5% significance to compare the mean volumes and times. The analysis of variance showed significant differences between treatments for all ages, both the volume and for measuring time. Independent of age, all volume calculation methods overestimated the volume of trees in relation to the real volume obtained from the xylometer. For ages 9 and 13, volumes obtained by volume calculation methods Huber, Pressler and Sectional Standard presented the lowest deviations compared

to the xylometer with -0.08%; -0.43%, -0.97%; and 6.853%; -8.332%, -8.827% respectively. At age 20 years Hohenadl method (5 sections) showed the best precision (deviation of -1.98%) followed by Huber, Sectional Standard and Pressler, with deviations of -2.55, -2.59 and -3.03% respectively. By Tukey test, methods of sections 19, FAO, Smalian, Newton and Hohenadl (10 sections) differed its volumes compared to real volume to the age of 20 years. For the age of nine years only methods of sections 19, FAO, Smalian differed results about the real volume. To the age of 13 no method was statistically equal to the true volume. Methods FAO, Smalian and 19 sections were considered the worst methods to estimate the volume for all ages studied. Hohenadl (5 sections) was the volume calculation method of faster execution, differing from the other methods, always with scaling of less than 60 seconds. On the estimate of the volume of the fifth-degree polynomial, the Sectional Standard method showed values closer to those obtained with the xylometer the three ages studied. Both Huber method as the Standard Sectional method had calculated volumes closer to the true volume determined by xylometer, and present a time spent to achieve the very close of volume calculation methods that obtained the lowest times.

Key words: Forest surveys. Accuracy. Individual volume.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de cubagem de uma tora ou seção por Smalian.....	48
Figura 2 - Esquema de cubagem por Huber.....	49
Figura 3 - Esquema de cubagem por Newton.....	50
Figura 4 - Árvore amostra ilustrando a metodologia para obtenção da altura de Pressler.....	52
Figura 5 - Esquema para cubagem por Hohenadl (5 seções).54	
Figura 6 - Esquema para cubagem por Hohenadl (10 seções).....	55
Figura 7 - Esquema de cubagem pela FAO.....	56
Figura 8 - Xilômetro desenvolvido para determinação do volume real de uma árvore.....	58
Figura 9 - Formas que as árvores podem assumir (cilíndrico, abaulado, cônico, irregular e acanalado).....	61
Figura 10 - Formas que o tronco de uma árvore pode assumir.....	62
Figura 11 - Sólidos de revolução de acordo com a variação do parâmetro R.....	63
Figura 12 - Xilômetro com capacidade de 3,3 m ³ , utilizado para determinação do volume por sortimento e volume total das árvores.....	72
Figura 13 - Imersão da tora dentro do xilômetro para determinação de seu volume.....	73
Figura 14 - Leitura do volume do xilômetro após a imersão da tora.....	74
Figura 15 - Distribuição gráfica de resíduos para o povoamento de 9 anos.	87

Figura 16 - Distribuição gráfica dos resíduos para o povoamento de 13 anos.....	96
Figura 17 – Distribuição gráfica dos resíduos, povoamento de 20 anos.	103
Figura 18 - Resíduos das equações de afilamento ajustadas por método de cubagem para a idade de 9 anos de <i>Pinus taeda</i>	114
Figura 19 - Resíduos das equações de afilamento ajustadas por método de cubagem para a idade de 13 anos de <i>Pinus taeda</i>	115
Figura 20 - Resíduos das equações de afilamento ajustadas por método de cubagem para a idade de 20 anos de <i>Pinus taeda</i>	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Representação simplificada do DIC utilizado no presente estudo.....	76
Tabela 2 -	Valores com o diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h) mínimo, médio e máximo para as idades de 9, 13 e 20 anos de idade de <i>Pinus taeda</i>	81
Tabela 3 -	Volumes (m ³) por árvore obtidos no povoamento de 9 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro.....	82
Tabela 4 -	Volumes (m ³) por árvore obtidos no povoamento de 9 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro.....	84
Tabela 5 -	Análise de variância de um DIC para o volume de idade de 9 anos.....	88
Tabela 6 -	Teste de Tukey a 5% de significância para comparação de médias dos tratamentos em relação ao volume xilometrado, para a idade de 9 anos....	89
Tabela 7 -	Volumes (m ³) por árvore obtidos no povoamento de 13 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro91_Toc416721984	
Tabela 8 -	Volumes (m ³) por árvore obtidos no povoamento de 13 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro.....	92
Tabela 9 -	Análise de Variância de um DIC para o volume de idade de 13 anos.....	97

Tabela 10 - Teste de Tukey a 5% de significância, para comparação de médias dos tratamentos em relação ao volume xilometrado, para os 13 anos.....	98
Tabela 11 - Volumes (m ³) por árvore obtidos no povoamento de 20 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro.....	99
Tabela 12 - Volumes (m ³) por árvore, obtidos no povoamento de 20 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro.....	101
Tabela 13 - Análise de variância de um DIC para o volume para idade de 20 anos.....	104
Tabela 14 - Teste de Tukey a 5% de significância, para comparação de médias dos tratamentos em relação ao volume xilometrado, para a idade de 20 anos.....	105
Tabela 15 - Análise de variância para o tempo, nas idades de 9, 13 e 20 anos.....	107
Tabela 16 - Teste de comparação de médias dos tratamentos em relação ao tempo, para as idades de 9, 13 e 20 anos.....	108
Tabela 17 - Coeficientes e estatísticas do polinômio de quinto grau ajustado para os dados de volume obtido com os diferentes métodos de cubagem para as idades de 9, 13 e 20 de <i>Pinus taeda</i>	110
Tabela 18 - Comparação do volume médio obtido pelo método de cubagem com a estima do volume médio da função de afilamento em relação ao volume médio obtido pelo xilômetro, por idade.....	118

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	35
2	OBJETIVOS.....	39
2.1	OBJETIVO GERAL.....	39
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	39
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	41
3.1	PLANTIOS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NO BRASIL.....	41
3.2	PLANTIOS DE <i>PINUS</i>	42
3.3	<i>Pinus taeda</i>	43
3.4	MENSURAÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES	44
3.4.1	Cubagem Rigorosa	45
3.4.2	Cubagem pelo método de Smalian.....	47
3.4.3	Cubagem pelo método de Huber	48
3.4.4	Cubagem pelo método de Newton	49
3.4.5	Cubagem pelo método Seccional Padrão	51
3.4.6	Cubagem pelo método de Pressler	51
3.4.7	Cubagem pelo método de Hohenadl (5 seções)	53
3.4.8	Cubagem pelo método de Hohenadl (10 seções)	54
3.4.9	Cubagem pelo método da FAO.....	55
3.4.10	Cubagem pelo método relativo 19 seções	56
3.4.11	Xilômetria.....	57
3.5	FORMA DO FUSTE DAS ÁRVORES	60
3.6	FUNÇÃO DE AFILAMENTO	65

4	MATERIAL E MÉTODOS.....	69
4.1	ÁREA DE ESTUDO	69
4.2	CARACTERIZAÇÃO E LEVANTAMENTO DOS DADOS.....	69
4.2.1	Coleta de dados por cubagem rigorosa	70
4.2.2	Xilômetria.....	71
4.2.3	Obtenções dos dados do tempo de cubagem.....	74
4.3	ANÁLISE DOS DADOS	75
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	75
4.5	AJUSTE DO MODELO DE AFILAMENTO	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS	81
5.2	COMPARAÇÃO DA ESTIMATIVA DO VOLUME.....	81
5.2.1	Povoamentos com nove anos de idade	81
5.2.1.1	Análises estatísticas dos volumes obtidos	88
5.2.2	Povoamento de treze anos de idade.....	90
5.2.2.1	Análises estatísticas dos volumes obtidos	97
5.2.3	Povoamento de vinte anos de idade	98
5.2.3.1	Análises estatísticas dos volumes obtidos	104
5.3	TEMPOS DE CUBAGEM.....	106
5.3.1	Análises estatísticas dos tempos de cubagem	107
5.4	AJUSTE DO POLINÔMIO DE QUINTO GRAU PARA ESTIMATIVA DO VOLUME.....	109

6	CONCLUSÕES.....	119
7	RECOMENDAÇÕES.....	121
	REFERENCIAS.....	123

1 INTRODUÇÃO

Os plantios de florestas para fins comerciais buscam atender a demanda crescente por produtos florestais e também contribuem para a redução da pressão sobre os remanescentes de matas nativas. No Brasil, os plantios de florestas começaram a mais de um século, sendo as espécies *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. as mais difundidas, com plantios de grande escala comercial, para atender as indústrias que utilizam a madeira como matéria prima.

O gênero *Eucalyptus* se adaptou bem ao clima tropical brasileiro e o gênero *Pinus* ao clima temperado do sul do Brasil. As florestas de eucalipto estão situadas principalmente nos estados da Bahia, Espírito Santo, São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, enquanto as florestas de pinus nos estados do Paraná e Santa Catarina (IBÁ, 2014).

O setor florestal brasileiro é de grande relevância para o saldo da balança comercial nacional, sendo que as exportações nacionais em 2013 alcançaram a cifra de US\$ 242,2 bilhões (IBÁ, 2014). Neste contexto, é extremamente importante que exista uma elevada precisão na estimativa do estoque florestal. O conhecimento correto do estoque florestal é uma ferramenta importante para que seja elaborado com maior eficiência o planejamento das atividades a curto, médio e longo prazo do setor. Desta forma, é essencial um diagnóstico completo e preciso da produção florestal, que pode ser obtido através de métodos e técnicas adequadas de parâmetros dendrométricos de inventário e de manejo florestal.

Toda empresa do ramo florestal necessita de um processo de gestão, para isso, é de suma importância conhecer os potenciais de suas florestas, sua quantificação e qualificação, com vistas à produção de madeira e outros produtos não madeireiros. A qualificação e quantificação da floresta permite que sejam tomadas decisões mais precisas,

além de permitir o melhor planejamento das atividades da empresa buscando a redução dos custos e aumento dos lucros.

Desde os primórdios da ciência florestal, há mais de 500 anos, a volumetria de árvores constituiu um tema relevante, dado a importância da madeira para a vida do homem, para a habitação, movelaria e a arte (PÉLLICO NETTO, 2004). De acordo com Ahrens (1982), é por meio da variável volume que se desenvolvem o comércio de madeira, os inventários florestais e o abastecimento de grande maioria das indústrias do setor. Assim, a preocupação com o planejamento, ordenamento e o uso da madeira exige, cada vez mais, uma maior precisão dos inventários florestais (SCOLFORO e MELLO, 1997).

De acordo com Thiersch et al. (2006) a maioria das metodologias desenvolvidas para estimativa do volume de árvores considera se o volume de uma árvore foi determinado corretamente e se o valor encontrado é válido para outra árvore de igual diâmetro, altura e forma.

O meio mais usual para quantificar o estoque madeireiro de uma floresta é a realização de um inventário florestal da área. As principais variáveis coletadas são o diâmetro a 1,30 m do solo e altura total das árvores, sendo utilizadas para o cálculo de área basal e volume do povoamento. O volume do povoamento pode ser estimado por meio de equações de volume, ajustados com base em dados obtidos com a cubagem rigorosa de árvores previamente selecionadas de acordo com classes de diâmetro e altura.

Sendo a árvore um sólido irregular, seu volume pode ser determinado mais precisamente analiticamente. Por meio da cubagem rigorosa, que divide o tronco em pequenas seções ou toras, o cálculo do volume pode ser realizado de várias formas: método de Smalian, Huber, Newton, Hohenadl (10 seções) e Hohenadl (5 seções). O volume também pode ser determinado graficamente; pelo deslocamento de água (método da

xilometria), ou ainda por meio de seu peso (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

De acordo com Loestsch et al. (1973), o método mais acurado para obter volume real é a xilometria e normalmente este procedimento tem sido adotado como referencial para avaliar a acurácia de outros métodos. Todavia, este método está ligado ao fator econômico, à validade estará no fato de que o mesmo seja aplicado com rapidez, possua certo grau de precisão desejado e seja viável ao material lenhoso a ser mensurado (SILVA e PAULA NETO, 1979).

Nesse sentido, é necessário o emprego de um método de cubagem adequado, que possa garantir a melhor precisão na determinação do volume individual de árvores, atendendo assim, com menor intensidade amostral, os erros estipulados e apresentando menor tempo e custo de trabalho. No entanto, para conhecer quais são os métodos de cubagem mais precisos na determinação de volumes individuais, deve-se testá-los nos mais diversos tipos florestais, levando em consideração as espécies, clones, sítios, tratos culturais, tipos de manejo, entre outros. Estas variáveis têm influência direta na forma do tronco das árvores, característica muito importante para determinação do volume.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente estudo é avaliar diferentes métodos para cubagem de povoamentos de *Pinus taeda* em três idades diferentes, visando verificar qual método viável em inventários florestais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o volume verdadeiro das árvores pelo método de deslocamento de água (xilometria);
- Avaliar e comparar a estimativa do volume de árvores em três idades por diferentes métodos de cubagem em relação ao volume determinado por xilometria.
- Analisar a demanda de tempo da cubagem de árvores por diferentes métodos;
- Ajustar uma função de afilamento para estimativa do volume total, utilizando diferentes métodos de cubagem e compará-los ao volume determinado pela xilometria.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PLANTIOS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NO BRASIL

No Brasil, os plantios florestais começaram há mais de um século. Em 1903, Navarro de Andrade trouxe mudas de eucalipto (*Eucalyptus spp.*) para o Brasil, com objetivo de produzir madeira para dormentes das estradas de ferro. Em 1906, foram introduzidas as primeiras referências do *Pinus* no Brasil (LÖFGREN apud KRONKA et al. 2005). A partir da década de 50 começa a implantação dos plantios comerciais, principalmente na região Sul do Brasil. Com a escassez dos recursos naturais da Mata Atlântica, o plantio dessas espécies torna-se uma alternativa viável para suprir a demanda de madeira. Com a instituição do novo código florestal em 1965, começou a tomar forma a política de incentivos à atividade de reflorestamento no Brasil através de incentivos fiscais (BREPOHL, 1980). A partir de então foi possível ampliar consideravelmente o estoque de madeira no país.

De acordo com Conrado et al. (2014), as principais funções das florestas plantadas são: diminuição da pressão sobre florestas nativas; reaproveitamento de terras degradadas; sequestro de carbono; proteção do solo e água; maior homogeneidade dos produtos, facilitando a adequação de máquinas na indústria; geração de renda e emprego para o país.

A área plantada com árvores no Brasil atingiu 7,6 milhões de hectares em 2013, crescimento de 2,8% em relação ao ano anterior. Os plantios de árvores de eucalipto representaram 72,0% desse total e as árvores de pinus, 20,7%. Acácia, teca, seringueira e paricá estão entre as outras espécies plantadas no Brasil (IBÁ, 2014). As florestas são responsáveis por abastecer quase a metade do mercado brasileiro de madeira. No setor de papel e celulose, a madeira utilizada como matéria-prima tem origem exclusivamente de florestas plantadas (ABRAF, 2013).

3.2 PLANTIOS DE *PINUS*

O gênero *Pinus* tem ocorrência natural desde região polar até os trópicos, englobando os continentes da Europa, Ásia, América do Norte e Central. As espécies mais plantadas são: *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* (espécies que toleram geadas), *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii* (estas toleram déficit hídrico). Os plantios mais extensos estão estabelecidos nas Regiões Sul e Sudeste, utilizados como matéria-prima para as indústrias de celulose e papel, para madeira serrada e extração de resina.

O gênero *Pinus* pertence à família das pináceas e possui, aproximadamente, 90 espécies. Os principais usos da madeira são para processamento mecânico em serrarias, laminados, aglomerados e de celulose de fibra longa (EMBRAPA, 2002).

As condições de adaptação do gênero *Pinus sp.* aos solos ligeiramente ácidos, que constituem a grande maioria dos solos do País, também permitem a instalação de extensas áreas florestais que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornaram as espécies desse gênero importantes fontes de matéria-prima, com manutenção dos padrões de sustentabilidade (KRONKA et al., 2005).

As diversas espécies de *Pinus* atualmente cultivadas nas regiões sul e sudeste do Brasil são de introdução relativamente recente, por volta de 1954. Seu cultivo foi acelerado a partir de 1966 com a implantação da política de incentivos fiscais, que visavam, principalmente, substituir a madeira da *Araucaria angustifolia*, cujos povoamentos naturais achavam-se em rápido processo de exaustão (MONTAGNA e YAMAZOC, 1978).

Dentre o total de área plantada no Brasil, o Estado do Paraná lidera o *ranking* de área plantada de *Pinus* com 42,18% da área total, seguido por Santa Catarina, que possui 34,42%.

Em relação aos anos de 2006 e 2013, houve queda acumulada de 16,8% da área plantada com árvores de *Pinus*, entretanto, foi registrado aumento dos plantios no último ano (IBÁ, 2014).

3.3 *Pinus taeda*

A espécie *Pinus taeda* é pioneira nas regiões onde ocorre naturalmente (REISSMANN e WISNIEWSKY, 2001). Esta espécie é nativa da região sudeste dos Estados Unidos (BARRICHELO, 1977). Tem rápido crescimento, apresenta maior número de galhos e menor índice de resina na madeira. Em reflorestamento, tem sido preferido em relação ao *Pinus elliottii* por apresentar maior incremento e por ter menor teor de resina na madeira. Sua madeira serve para produção celulose de fibras longas, para serraria, construção civil, movelaria, laminados, compensados, entre muitos outros (AMBIFLORA, 2012).

Segundo Shimizu (2005), na região de ocorrência natural do *Pinus taeda*, o clima é úmido, temperado-ameno, com verões quentes e longos, precipitação média anual que varia de 1020 a 1520 mm, com período livre de geadas variando de 5 meses na parte norte até 10 meses na parte costeira sul. As temperaturas médias anuais variam de 13 a 24°C, podendo chegar à mínima extrema de -23°C, em geral, cresce em altitudes de até 800 metros.

As procedências da planície costeira do Estado da Carolina do Sul apresentaram maior adaptabilidade e assim, maior produtividade e melhor qualidade de fuste para implantação e cultivo nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, em locais onde as geadas não são tão severas. Para os locais mais frios, como nas serras gaúchas e no planalto catarinense, as procedências da região do Estado da Carolina do Norte têm demonstrado maior adaptação e produtividade (REMADE, 2006).

Quanto aos solos, esse gênero de planta é conhecido pela sua baixa exigência nutricional. São encontradas espécies crescendo em sítios extremamente pobres, nos quais a expectativa de produção fica aquém do satisfatório (BOGNOLA, 2008).

Entretanto, essa espécie não cresce bem em locais muito úmidos ou alagados, nem em áreas com solos muito rasos ou erodidos. Na Planície Costeira Atlântica dos EUA, a produtividade geralmente decresce quanto mais superficial seja o lençol freático (RICHARDSON e RUNDEL, 1998). No Brasil, a espécie apresenta a maior área cultivada entre as espécies de *Pinus*. Isso se deve à produtividade e à qualidade da matéria-prima dessa espécie, muito usada na indústria de painéis de fibra de média densidade e na de celulose e papel (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2002).

3.4 MENSURAÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES

O volume é a característica dendrométrica mais importante para a estimativa do potencial de uma floresta, contribuindo para a avaliação do estoque de madeira, o qual estabelece uma base consistente para o manejo florestal. O volume das árvores pode ser determinado por métodos diretos e indiretos (MOURA, 1994; BELCHIOR, 1996; THOMAS et al., 2006; THIERSCH, 2007).

A mensuração indireta do volume é realizada com as árvores em pé, necessitando de instrumentos especiais, sendo também um processo demorado. Os métodos diretos consistem na derrubada das árvores para realização da cubagem e determinação do volume. A partir do volume dessas árvores, se constrói uma relação entre volume e outras variáveis de fácil mensuração, como diâmetro e altura, para que o volume dos outros povoamentos possa ser estimado.

As primeiras fórmulas desenvolvidas para determinar o volume de tora surgiram na metade do século XVIII e

posteriormente foram detalhadas por Huber em 1825, a qual é desde então conhecida como a fórmula de Huber. Em 1807 Smalian discutiu na Alemanha outra fórmula utilizada por Septfontaines em 1791 para determinar volume que ficou conhecida como fórmula de Smalian. Posteriormente outras fórmulas surgiram como a de Newton e a de Hohenadl (SPURR, 1952).

3.4.1 Cubagem Rigorosa

A cubagem rigorosa consiste na determinação do volume de árvores através da divisão do fuste em “n” seções e do cálculo do volume de cada uma dessas seções. É um método direto para a estimação de volume de árvores e fornece resultados mais seguros, porém é uma técnica trabalhosa e onerosa (SCOLFORO e FIGUEIREDO FILHO, 1993; SCHREUDER et al., 1993). A cubagem rigorosa é empregada para ajuste de equações de volume, cálculo do fator de forma, ajuste de funções de afilamento para quantificar sortimento, estimativa do volume e fatores de conversão para o mercado de trabalho, tais como: peso da madeira (produto do volume com a sua densidade) (BELCHIOR, 1996).

A cubagem rigorosa pode ser realizada com a derrubada da árvore (método destrutivo) ou com a árvore em pé (método não-destrutivo). Nesse último caso, a árvore pode ser escalada, ou os dados coletados com o emprego de instrumentos como: o relascópio, telerelascópio, pentaprisma ou dendrômetro óptico (LACHINI, 2012).

Baseado na medição sucessiva de diâmetro ao longo do fuste de árvores com seções de comprimento igual ou não, é o método mais utilizado na coleta de dados para o ajuste de modelos volumétricos, sendo que no cálculo do volume real são utilizadas fórmulas geométricas (BELCHIOR, 1996).

A cubagem deve ser realizada por classes de diâmetro e de altura. Nestas condições e dentro de tratamentos

silviculturais semelhantes, espera-se que os indivíduos tenham formas semelhantes e constantes. Sendo assim, haverá uma constância nos volumes de todos os indivíduos pertencentes à mesma classe de altura e de diâmetro (GOMES, 1957).

Para medições de diâmetros ao longo do fuste para eucalipto e pinus, Scolforo e Figueiredo Filho (1998), recomendam as seguintes distâncias entre seções: 0,05; 0,07; 1,30 e 2,30 metros com comprimentos de seções entre 1 e 2 metros. O comprimento de cada sessão deve minimizar ao máximo o efeito conicidade e que as seções devem ser regulares. As fórmulas mais difundidas na literatura para esse procedimento são as fórmulas de Huber, Newton e Smalian, sendo esta, a mais utilizada como pode ser verificado em Young et al. (1967), Machado e Nadolny (1991), Couto e Bastos (1987), Batista et al. (2004), Thiersch et al. (2006), Tomé et al. (2007), Cardoso (2008) e Muniz (2009).

A medição dos diâmetros ao longo do fuste pode ser feita em alturas absolutas ou relativas da árvore, ou uma combinação de ambas. Nos métodos absolutos o comprimento da seção não apresenta vínculo com o comprimento do fuste, já nos métodos relativos, as posições de mensuração são tomadas de maneira a representar um percentual do comprimento total da árvore. A soma dos volumes parciais de todas as seções resultará no volume da árvore e quanto menor o comprimento das seções mais acurado será o volume calculado, seja qual for o método empregado (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Dentre os métodos de cubagem, os absolutos são os mais usados nas empresas florestais, tendo o método de Smalian uma maior preferência devido a sua praticidade, porém estes métodos geralmente implicam no corte das árvores (CABACINHA, 2003).

3.4.2 Cubagem pelo método de Smalian

A cubagem rigorosa pelo método de Smalian consiste na medição dos diâmetros ou circunferências nas extremidades de cada seção do tronco como ilustrado na Figura 1. O volume de cada seção é determinado a partir da seguinte fórmula (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009):

$$v_i = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l$$

em que:

v = volume da tora/seção (m³);

g₁ = área transversal na base da seção i da tora (m²);

g₂ = área transversal no topo da seção i da tora (m²);

l = comprimento da tora em m;

i = número de seções da tora (i= 1, 2, 3, ..., n)

$$g_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{c_1^2}{4\pi}$$

$$g_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{c_2^2}{4\pi}$$

em que:

d₁ = diâmetro na base da tora;

c₁ = circunferência na base da tora;

d₂ = diâmetro no topo da tora;

c₂ = circunferência no topo da tora.

Quando se considera o volume inteiro do tronco é comum expressar o volume da última porção ou volume da ponta (v_p) como sendo um cone:

$$v_p = \frac{g_n \cdot l_p}{3}$$

em que:

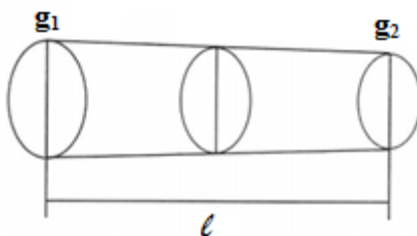
g_n = área seccional tomada na base da ponta (m²);

l_p = comprimento da ponta (m);

Caso a árvore tenha sido dividida em mais de uma seção (n seções) o volume total ou volume real da árvore (V) é obtido pela soma do volume de cada seção. (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009):

$$V = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n + v_p$$

Figura 1 - Esquema de cubagem de uma tora ou seção por Smalian.



Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2009).

3.4.3 Cubagem pelo método de Huber

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2009) a fórmula de Huber prevê a medição do diâmetro ou da circunferência na metade da seção da tora, assumindo que a área média de uma tora seccionada se encontra no seu ponto médio (STERNADT, 2001), conforme consta na Figura 2.

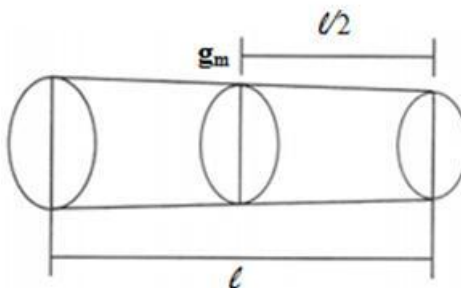
Assim, o volume da tora é dado por:

$$v = g_m \cdot l$$

em que:

g_m = área transversal (m^2) tomada no meio da seção da tora.

Figura 2 - Esquema de cubagem por Huber.



Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2009).

Caso a árvore tenha sido dividida em mais de uma seção (n seções), o volume inteiro do tronco com seções de comprimentos diferentes seria calculado como:

$$v_1 = g_{m1} \cdot l_1 \quad v_2 = g_{m2} \cdot l_2 \quad v_3 = g_{m3} \cdot l_3 \quad v_n = g_{mn} \cdot l_n$$

O volume da ponta (v_p) e volume (V) é calculado da mesma forma como em Smalian. A fórmula de Huber tem limitação de uso porque a área transversal tomada no meio da tora considera o diâmetro sem casca. Contudo, é de uso comum e também base das antigas tabelas de volume de vários comprimentos e diâmetros centrais ou de circunferência. É considerada mais precisa em relação às demais quando são utilizadas seções de maior comprimento. Com intervalos de 10m ou mais a subestimação da fórmula de Huber é de somente 5% do volume total (STERNADT, 2001).

3.4.4 Cubagem pelo método de Newton

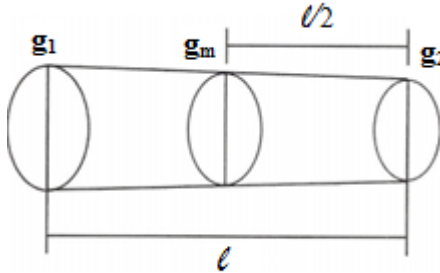
A fórmula de Newton utilizada para a cubagem rigorosa se destaca pela precisão proporcionada na determinação volumétrica, uma vez que se exige um maior número de medições de diâmetros numa determinada seção do tronco. Independentemente da fórmula utilizada para cálculo do

volume, quanto menor for o comprimento da seção, maior precisão será obtida na determinação volumétrica (CAMPOS, 1988),

Para este método, os diâmetros ou circunferências devem ser medidos em três posições ao longo de cada seção (Figura 3) sendo, portanto, mais trabalhoso seu uso, mas também o resultando em volume é mais exato (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009). O volume de cada seção é dado pela seguinte fórmula:

$$V = \left(\frac{g_1 + 4g_m + g_2}{6} \right) \cdot l$$

Figura 3 - Esquema de cubagem por Newton.



Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2009).

No caso de árvores com mais de uma seção (n seções) e com diferentes tamanhos o volume total ou volume real da árvore (V) é obtido conforme apresentado nas fórmulas:

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{g_1 + 4g_m + g_2}{6} \cdot l_1 & v_2 &= \frac{g_2 + 4g_m + g_3}{6} \cdot l_2 \\ v_3 &= \frac{g_3 + 4g_m + g_4}{6} \cdot l_3 & v_n &= \frac{g_{n-1} + 4g_m + g_n}{6} \cdot l_n \end{aligned}$$

O volume da ponta (v_p) e volume (V) é calculado da mesma forma como em Smalian.

3.4.5 Cubagem pelo método Seccional Padrão

O método Seccional Padrão é adequado para calcular o volume total ou o volume para qualquer limite comercial, tanto para árvores folhosas como para coníferas (SCHREUDER et al., 1993).

Pode-se usar qualquer comprimento de seção (L), mas 3m é o comprimento convencional. No meio de cada seção é medido o diâmetro e o volume é calculado pela fórmula de Huber. O volume da ponta é calculado como um cone, quando o comprimento menor que L (l), ou seja, comprimento menor que 3 metros. Os volumes são calculados como segue:

$$V = \frac{\pi}{4} \left[L \sum d_i^2 + l \frac{d_n^2}{3} \right]$$

em que:

V = volume total da árvore;

L = Comprimento constante das seções (m);

d_i = Diâmetro no meio das seções com comprimento l (cm);

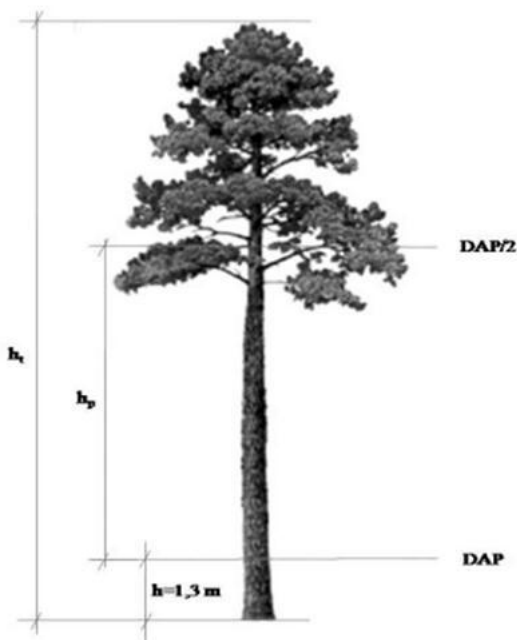
d_n = Diâmetro na extremidade superior da ultima seção com l (cm);

l = Comprimento da ultima seção do tronco ($<L$) para o volume total.

3.4.6 Cubagem pelo método de Pressler

O método de Pressler supõe que o tronco principal pode ser descrito como um conóide. Assim, o teorema se utiliza da medição da altura entre o DAP a 1,3 metros e um diâmetro igual à metade do DAP, conhecido como altura de Pressler (h_p), que é ilustrado na Figura 4, considerando h_t como altura total .

Figura 4 - Árvore amostra ilustrando a metodologia para obtenção da altura de Pressler.



Fonte: Oliveira (2010)

De acordo com Pressler, $2/3$ de h_p resulta em um valor muito próximo do produto da altura total. Então propôs, para o cálculo do volume da parte do tronco acima do nível de 1,30 m, a seguinte fórmula:

$$V_p = \frac{2}{3} g h_p$$

em que:

V_p = Volume de Pressler;

g = Área transversal a 1,30 m.

h_p = Altura de Pressler.

Calculando o volume abaixo do DAP, assumindo-o como um cilindro de altura $h = 1,3$ metros e diâmetro igual ao DAP, o volume total pode ser calculado como segue:

$$V_t = V_p + (g \cdot h)$$

ou

$$V_t = g \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot h_p + h\right)$$

onde:

V_p e g já definidos anteriormente;

$h = 1,3$ metros;

V_t = Volume total da árvore.

3.4.7 Cubagem pelo método de Hohenadl (5 seções)

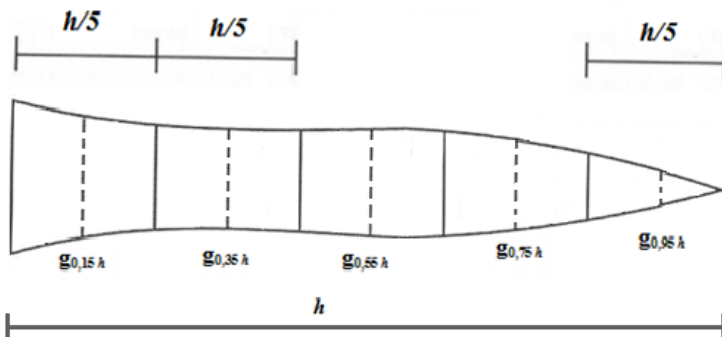
O método de Hohenadl original é caracterizado pela divisão do tronco em cinco seções de iguais comprimentos (Figura 5), que são estabelecidos em função da altura (h), sendo o volume calculado por apenas uma medida de diâmetro e circunferência no centro de cada seção como em Huber (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009). Neste caso o volume é obtido pela fórmula a seguir:

$$V = \frac{h}{5} \cdot (g_{0,15} + g_{0,35} + g_{0,55} + g_{0,75} + g_{0,95})$$

em que:

g_i = área transversal (m^2), obtida a 15, 35, 55, 75 e a 95% da altura total da árvore (h).

Figura 5 - Esquema para cubagem por Hohenadl (5 seções).



Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2009).

3.4.8 Cubagem pelo método de Hohenadl (10 seções)

Pela fórmula original podem-se obter volumes menos precisos, pois quanto maior a altura da árvore, mais longas serão as seções. Desta forma os mensuracionistas têm preferido medir mais pontos sobre o tronco, sendo este dividido em 10 ou mais seções relativas (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Optando-se por 10 seções, os diâmetros (d_i) ou circunferências (c_i) poderiam ser medidos como mostra a Figura 6 e o volume seria calculado como segue:

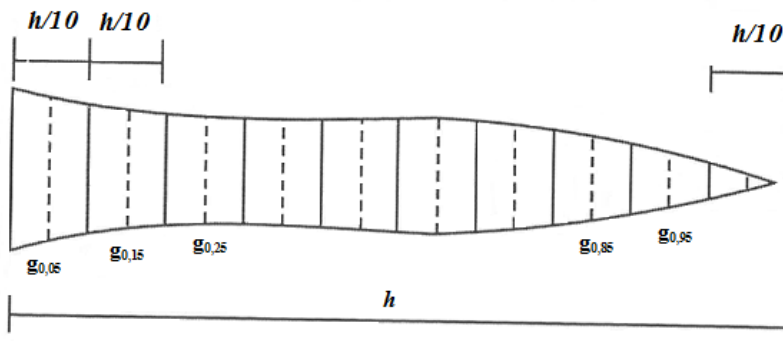
$$V = \frac{h}{10} \cdot (g_{0,05} + g_{0,15} + g_{0,25} + g_{0,35} + g_{0,45} + g_{0,55} + g_{0,65} + g_{0,75} + g_{0,85} + g_{0,95})$$

em que:

V = volume de árvore considerada (m^3);

g_i = área seccional (m^2) com diâmetros tomados a 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95% da altura da árvore (h).

Figura 6 - Esquema para cubagem por Hohenadl (10 seções).



Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2009).

3.4.9 Cubagem pelo método da FAO

O método da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) é uma alteração do método originalmente utilizado por Hohenadl (5 seções). Este método prevê a medição de dois pontos adicionais na base do tronco, em que, são medidos 1/6 e 5/6 da primeira seção com comprimento igual a $h/5$ (comprimento igual a 20% da altura total), que correspondem a g_1 e g_2 (Figura 7). O volume é determinado pela fórmula:

$$v = \frac{h}{5} \left[\left(\frac{2g_1 + g_{0,1} + g_2}{4} \right) + g_{0,3} + g_{0,5} + g_{0,7} + g_{0,9} \right]$$

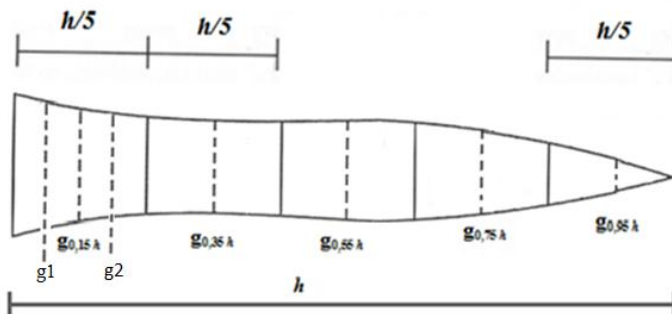
em que:

v = Volume total da árvore (m^3);

g_i = Áreas transversais calculadas a 10, 30, 50, 70 e 90% da altura total;

g_1 e g_2 = Áreas transversais medidas às alturas de 1/6 e 5/6 da primeira seção com comprimento igual a $h/5$.

Figura 7 - Esquema de cubagem pela FAO.



Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2009).

3.4.10 Cubagem pelo método relativo 19 seções

Os métodos de cubagem relativos, quanto maior a altura da árvore, mais longas serão as seções. Logo, em algumas situações, seria necessário incluir mais algumas medições ao longo do tronco da árvore para obtermos melhores resultados. Desta forma, o método relativo 19 seções é bastante utilizado na prática por alguns mensuradores, por ser um método bastante exigente em medições do diâmetro ao longo do fuste, principalmente na primeira seção da árvore.

O método relativo 19 seções optando-se por medições de 19 seções ao longo do fuste da árvore, e sua fórmula de cálculo é o mesmo usado pelo método de Smalian, que consiste na medição dos diâmetros ou circunferências nas extremidades de cada seção do tronco, logo o volume total pode ser calculado como segue:

$$\begin{aligned}
V = & \left(\frac{g_{0,00} + g_{0,005}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,005} + \left(\frac{g_{0,005} + g_{0,01}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,005} + \left(\frac{g_{0,01} + g_{0,015}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,005} \\
& + \left(\frac{g_{0,015} + g_{0,02}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,005} + \left(\frac{g_{0,02} + g_{0,03}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,01} \\
& + \left(\frac{g_{0,03} + g_{0,04}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,01} + \left(\frac{g_{0,04} + g_{0,05}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,01} \\
& + \left(\frac{g_{0,05} + g_{0,1}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,05} + \left(\frac{g_{0,1} + g_{0,15}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,05} \\
& + \left(\frac{g_{0,15} + g_{0,25}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,1} + \left(\frac{g_{0,25} + g_{0,35}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,1} \\
& + \left(\frac{g_{0,35} + g_{0,45}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,1} + \left(\frac{g_{0,45} + g_{0,5}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,05} \\
& + \left(\frac{g_{0,5} + g_{0,55}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,05} + \left(\frac{g_{0,55} + g_{0,65}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,1} \\
& + \left(\frac{g_{0,65} + g_{0,75}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,1} + \left(\frac{g_{0,75} + g_{0,85}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,1} \\
& + \left(\frac{g_{0,85} + g_{0,95}}{2} \right) \cdot \frac{h}{1/0,1}
\end{aligned}$$

em que:

V = volume de árvore considerada (m³);

g_i = área seccional (m²) com diâmetros tomados a 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 25; 35; 45; 50; 55; 65; 75; 85 e 95% da altura total da árvore (h).

O volume da ponta (v_p) é também calculado da mesma forma como em Smalian.

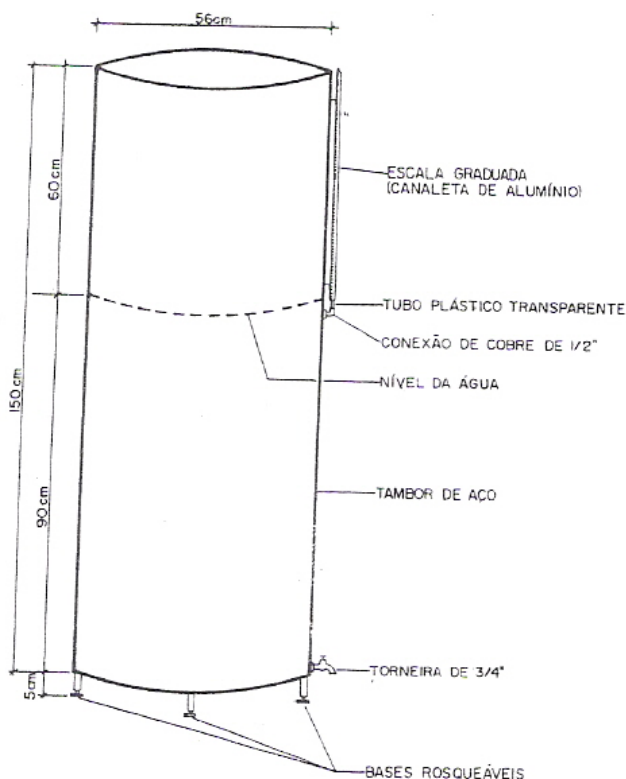
3.4.11 Xilômetria

É um método simples, que se baseia em mergulhar toras de árvores derrubadas em um recipiente com água e medir o volume de água deslocado. É o método mais preciso para medição do volume de toras, sendo baseado no princípio de Arquimedes.

O aparelho possui uma escala graduada o qual permite a leitura do volume de água deslocado que possibilitara a

determinação do volume da tora ou da árvore (SOARES et al, 2006). As bases do aparelho são, normalmente, rosqueáveis, de modo a permitir seu nivelamento, garantindo a leitura correta do deslocamento da água (Figura 8).

Figura 8 - Xilômetro desenvolvido para determinação do volume real de uma árvore.



Fonte: MACHADO e NADOLNY (1991).

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2009) o xilômetro consiste em um cilindro com água até certa altura, podendo-se então calcular o volume da água (V_A). Colocando-se uma tora dentro do cilindro com água, a água deslocar-se-á

para outra altura, tendo-se em consequência, o volume da água mais a tora (V_{A+T}). A diferença entre esses dois volumes é o volume da tora (V_T).

$$V_T = V_{A+T} - V_A$$

A obtenção de volume por este método elimina duas fontes de erros típicas dos métodos analíticos (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009):

- a) Independe da forma do tronco; e
- b) Não mede diâmetros ou comprimentos e, portanto, elimina as possibilidades de erros nas medições dessas variáveis.

E por outro lado, o xilômetro pode apresentar erros quando:

- a) A água penetrar na tora; e
- b) A tora não estiver totalmente submersa.

Este método é o único que fornece valores reais de volume, sendo recomendado para a determinação do volume de toras de pequenas dimensões e em pequena escala operacional, pois, apesar de ser um método bastante confiável, o mesmo pode ser bastante oneroso e inviável operacionalmente para as condições reais de campo (SILVA e PAULA NETO, 1979; MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

O método da xilometria não é muito empregado na prática por possuir custo de instalação do equipamento elevado e dificuldades no manuseio de grandes peças de madeira, apesar de fornecer resultados bastante precisos, especialmente para objetos de formas irregulares ou com superfícies não expressas por funções matemáticas (KEEPERS, 1945; HUSCH et al., 1972; LOESTSCH et al., 1973).

No entanto, mesmo com as dificuldades operacionais deste método, o xilômetro tem sido algumas vezes empregado em floresta de cerrado ou na caatinga, florestas cujos fustes apresentam-se tortuosos, retorcidos, curtos, onde o emprego de métodos analíticos torna-se trabalhoso e também pouco

eficiente. O xilômetro pode ser colocado sobre algum veículo, deslocando-o o mais próximo possível para o local onde se encontra o material a ser cubado. Desta forma reduzem-se as dificuldades do método, viabilizando seu uso na prática florestal e não apenas como uma ferramenta útil em projetos de pesquisa (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

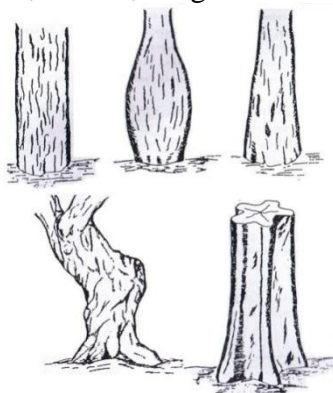
3.5 FORMA DO FUSTE DAS ÁRVORES

Todos os métodos utilizados para estimar os volumes individuais buscam levar em consideração a forma das árvores no cálculo do volume, a qual varia entre plantas. Segundo Ahrens (1982) a forma do tronco pode ser definida como o decréscimo em diâmetro da base de um tronco para sua extremidade superior.

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2009) as árvores podem assumir as mais diferentes formas, desde aquela perfeitamente assimilável a uma figura geométrica, caso das coníferas, até aquelas com formas totalmente irregulares, não comparáveis a quaisquer tipos geométricos, como é o caso de árvores tortuosas típicas do cerrado.

O tronco de uma árvore pode assumir o formato cilíndrico, abaulado, cônico, irregular e acanalado (Figura 9). No entanto, os estudos sobre a forma do tronco foram direcionados àquelas árvores que poderiam ser consideradas como regulares, ou seja, que apresentam fustes cujos eixos principais possam ser comparáveis a figuras geométricas definidas.

Figura 9 - Formas que as árvores podem assumir (cilíndrico, abaulado, cônico, irregular e acanalado).



Fonte: o autor.

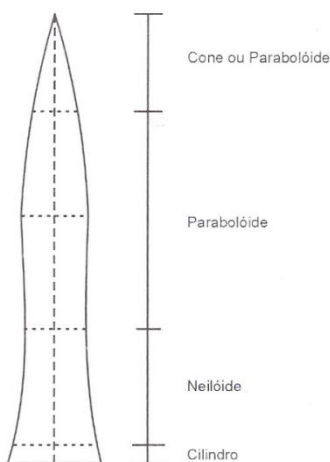
Os fustes podem assumir diferentes formas, assemelhando-se à sólidos de revolução, sendo eles: cone, parabolóide, neilóide e cilindro. Embora um dos sólidos possa ser utilizado para descrever o perfil do fuste de uma árvore, os quatro citados podem estar presentes ao mesmo tempo em um mesmo indivíduo (SOARES et al. 2006). Segundo os mesmos autores os principais fatores que afetam a forma dos fustes das árvores são a espécie, idade, sítio, posição sociológica, desrama, desbaste, desenvolvimento da copa, herdabilidade, espaçamento e a qualidade do local. Desta forma, diferentes técnicas utilizadas para determinar o volume de madeira devem contemplar estas variáveis a fim de se aumentar a precisão dos resultados obtidos.

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 (SCHNEIDER et al., 1996).

Scolforo et al. (1998) afirma que cada espécie, nos seus diversos estádios de desenvolvimento, possui características de afilamento diferenciadas. Árvores com mesmo diâmetro e mesma altura podem apresentar volumes e sortimentos distintos se a forma dos fustes for diferente. Portanto, 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.

Alguns autores, como Hush et al. (1982) e Gomes (1957) afirmam que as árvores de coníferas raramente assumem a forma de cones, parabolóides ou neilóides. Geralmente estão entre um cone e uma parabolóide. Já espécies folhosas podem assumir troncos de neilóides, cones, parabolóides ou até cilindros. Neste caso, as partes da árvore se assemelham a determinados sólidos geométricos, sendo que é comum a base da árvore se assemelhar a uma parábola denominada neilóide ou a um cilindro, a porção intermediária se assemelhe a uma parabolóide e a ponta se assemelhe a um cone (Figura 10).

Figura 10 - Formas que o tronco de uma árvore pode assumir.



Fonte: Hush et al. (1982).

Os sólidos de revolução são obtidos pela rotação da curva em torno do seu eixo X, que pode ser representada pela seguinte equação:

$$Y = K\sqrt{X^R}$$

em que:

Y = Raio ao longo do fuste;

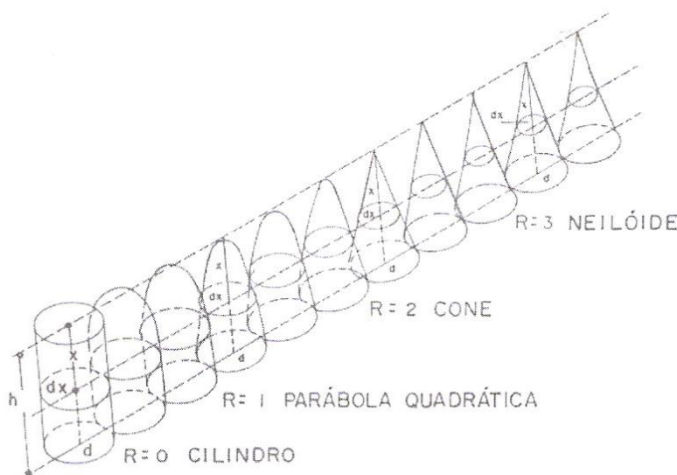
K = Coeficiente constante que descreve o tamanho do corpo de rotação;

X = Distancia da seção d; topo da curva;

R = Índice que caracteriza a forma da curva.

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2009) essa equação descreve uma extensa classe de curvas denominadas de parábolas em geometria analítica. O valor de zero a três, assumido pelo expoente R, define uma família de parábolas generalizadas (Figura 11).

Figura 11 - Sólidos de revolução de acordo com a variação do parâmetro R.



Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2006).

De acordo com Finger (1992), o estudo matemático dos volumes das árvores considera suas seções circulares, na qual os troncos sofrem uma rotação em torno de seu eixo principal, originando os sólidos de revolução correspondente, que por sua vez, tem seu volume obtido através da integração da área basal sobre o comprimento total do tronco. O mesmo autor também afirma que o desenvolvimento de modelos volumétricos tem por objetivo utilizar recursos matemáticos para analisar cubagens de árvores, de modo que estas tenham suas formas naturais comparadas a sólidos geométricos de revolução para que seus volumes sejam determinados.

Segundo Husch et al. (1972), considerar um tronco como sendo constituído por vários sólidos geométricos parece mais realístico, entretanto, a identificação do sólido geométrico que representa uma árvore é uma tarefa difícil. Se fosse uma tarefa fácil, poderiam ser utilizadas as formulas truncadas de Smalian, Huber, Newton e tronco de cone que calculam os volumes dos troncos de parabolóides e facilmente o problema de cálculos de volume de árvores estariam resolvidos.

Por meio das informações referentes a dificuldades de identificar os sólidos geométricos decorrentes do fuste de uma árvore, pesquisadores florestais procuraram desenvolver outras metodologias para atender com acurácia as necessidades práticas do cálculo do volume real do tronco de uma árvore.

Os volumes reais têm sido obtidos, empregando-se um procedimento qualquer, que seja capaz de proporcionar uma grande acurácia do valor paramétrico do volume da árvore ou de parte dela. Considera como valor paramétrico ou volume verdadeiro, aquele obtido pelo método de deslocamento da água (xilometria). Assim os métodos e fórmulas que resultam os denominados volumes reais, são na verdade, estimativas do volume verdadeiro (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

3.6 FUNÇÃO DE AFILAMENTO

Uma das maiores dificuldade do manejo florestal está na representação do perfil do fuste das árvores. Isso se deve a grande variação na forma no tronco da árvore, que pode ser influenciada pela espécie, sítio, desbaste, herdabilidade, posição sociológica, desenvolvimento da copa, idade e estágio de desenvolvimento da árvore (LARSON, 1963).

Um método muito utilizado para representar o decréscimo dos diâmetros ao longo do fuste são as funções de *taper*, mais conhecidas como funções de afilamento. O tronco é tratado como um sólido de revolução, em que, a seção transversal em qualquer posição no tronco é considerada como circular e seu volume é calculado por integração da função.

Estas funções permitem conhecer o diâmetro ao longo do fuste, a altura total e a altura em que se encontra determinado diâmetro e também o volume entre diferentes segmentos do fuste (PRODAN et al., 1997). Scolforo (1993) cita que na mensuração florestal, a precisão das funções de afilamento e das equações de volume são equivalentes, porém, a primeira é muito mais interessante, na medida em que se consegue estimar o volume de qualquer porção da árvore.

As funções de afilamento são uma importante ferramenta para determinação do volume de árvores e toras por permitirem estimar características básicas das árvores, como: 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 (PRODAN et al., 1997).

Há poucos anos atrás, existiam muitas restrições quanto ao uso das funções de afilamento, pois a falta de programas não possibilitavam sua implementação, de forma fácil e acessível aos usuários (SCOLFORO, 1993). Hoje em dia, com a evolução de programas computacional, não existem mais estas restrições.

Segundo Prodan (1965) a primeira tentativa para expressar o afilamento do fuste de árvores foi feita por Hojer em 1903. Desde então muitas formas e tipos de modelos matemáticos têm sido testados e desenvolvidos. No início foram desenvolvidos modelos relativamente simples, mas com o advento da computação na pesquisa florestal, notadamente na década de 1970, modelos mais complexos foram implementados na busca de melhores resultados. Hojer (1903), citado por Prodan (1965), usou a seguinte expressão matemática pra expressar o afilamento:

$$\frac{d_i}{d_{1,3}} = \beta_0 \log \left[\frac{\beta_1 + x_i}{\beta_2} \right]$$

sendo:

β_i = coeficientes a serem estimados;

d_i = diâmetro da árvore na altura h_i ;

$d_{1,3}$ = diâmetro a 1,3 m do solo;

$$X_i = \left[\frac{(h - h_i)}{h - 1,3} \right];$$

h = altura total da árvore.

A partir de então uma série de autores, com expressões matemáticas, estudaram a representação do perfil do fuste de árvore. A partir da década de 60, houve um substancial desenvolvimento no estudo da forma da árvore, sendo desenvolvidas inúmeras expressões matemáticas como: Modelo de Prodan, em 1965; Modelo de Schöepfer, em 1966; Modelo de Kozak, Munro e Smith, em 1969; Modelo de Potências Inteiras e Fracionárias de Hradetzky em 1976; Modelo de Clutter em 1980. Além destes, outros modelos importantes foram definidos por Demaerschalk (1972), Max e Burkhart (1976), dentre muitos outros.

Kohler (2013) cita 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).

De acordo com Queiroz et al. (2008), 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 pré-estabelecidas.

Os modelos de afilamento se caracterizam em simples, polinomiais e segmentados. Os modelos simples são aqueles que uma única expressão representa a forma do fuste, desde a base até o ápice da árvore. Os polinomiais são caracterizados por ajuste de regressão entre a relação de diâmetros d_i/DAP e de alturas $\left(\frac{h_i}{h}\right)^n$. Já os modelos segmentados são uma variação

dos modelos polinomiais, sendo ajustados por seções do fuste, duas ou três seções.

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, Schöepfer 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 Schöepfer, 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.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa do setor florestal localizado no município de Ponte Alta do Norte, região serrana do Estado de Santa Catarina, em latitude de 29° 9' 45" Sul e longitude de 50° 27' 00" Oeste, estando a uma altitude de 962 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é Cfa subtropical úmido, com verões frescos, sem estações secas definidas, com a ocorrência de geadas severas. A temperatura média anual é de 16,8 °C e precipitação anual média de 1.740 mm (THOMAS et al., 2006).

O município está inserido em microrregião onde o solo é constituída de folhelhos e argilitos cinza-escuros. Sobre estes aparecem diamictitos acinzentados, com matriz arenosa, intercalados com arenitos muito finos. Estes, por sua vez, estão recobertos por folhelhos, normalmente várvidos, argilitos, ritmitos e siltitos. É muito comum a presença de associações de Cambissolo Háplico alumínico com A proeminente no município. Os solos mais comumente encontrados na área desta microrregião são: Podzólico Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Podzólico Bruno-Acinzentado e Gleissolo Pouco Húmico. O relevo da região é forte ondulado, bem a moderadamene drenado, sendo a vegetação primária composta por floresta subtropical perenifólia (EMBRAPA, 2004).

4.2 CARACTERIZAÇÃO E LEVANTAMENTO DOS DADOS

Os dados foram coletados em povoamentos de *Pinus taeda* com idades de 9, 13 e 20 anos. Foi escolhido, ao acaso, um talhão para cada idade, ambos possuíam espaçamento inicial de 2,5 x 2,5 m. A primeira idade, 9 anos, não sofreu nenhuma intervenção de desbaste, totalizando 1600 ind. ha⁻¹. A

segunda idade, 13 anos, sofreu duas intervenções de desbaste, a primeira aos oito/nove anos e a segunda aos doze anos de idade, com remanescente de 600 ind. ha⁻¹ aproximadamente. A terceira idade, 20 anos, além dos dois desbaste já citados, foi submetida ao terceiro desbaste na idade de dezesseis anos, apresentando remanescente em torno de 400 ind. ha⁻¹.

Foram selecionadas 32 árvores na idade 9 anos, 34 na idade 13 anos e 32 na idade 20 anos. As árvores selecionadas foram derrubadas e cubadas por nove diferentes métodos. Após a cubagem o tronco das árvores foi seccionado em toras de 3,10m, em seguida, foram classificadas por sortimento, numeradas e, posteriormente, xilometradas.

4.2.1 Coleta de dados por cubagem rigorosa

Para a realização da cubagem foram utilizadas trenas (50 m) para medir o comprimento das árvores e suas respectivas seções e suta para medir os diâmetros ao longo do fuste.

Nos métodos absolutos, as medidas dos diâmetros e as diferentes alturas foram tomadas da seguinte forma:

- **Método de Smalian:** foram medidos diâmetros a 0,1 m, 1,3 m, 3,3 m e assim sucessivamente de 2 em 2 m até a última secção do fuste de cada árvore.
- **Método de Newton:** os diâmetros foram medidos a 0,1 m, 0,7 m, 1,3 m, 2,3 m, e assim sucessivamente de 1,0 em 1,0 m até comprimento total do fuste de árvore.
- **Método de Huber:** os diâmetros foram medidos a 0,7 m, 1,3 m, 2,3 m, 4,30 e assim sucessivamente, de 2 em 2 metros até o comprimento total do fuste de cada árvore.
- **Método Seccional Padrão:** os diâmetros foram medidos a 1,5 m, 3,5 m, 7,5 m, 10,5m e assim sucessivamente, de 3 em 3 metros até o comprimento total do fuste de cada árvore.

- **Método Seccional de Pressler:** foi feita a medição da altura entre o DAP a 1,3 metros e o diâmetro igual à metade do DAP, conhecido como altura de Pressler (h_p).

Já nos métodos relativos às medições foram feita da seguinte forma:

- **Método de Hohenadl (5 seções):** após a medição da altura total do fuste de cada árvore, foram calculadas as percentagens 10%, 30%, 50%, 70% e 90% da altura da árvore e em seguida foram realizadas as medições dos diâmetros nas alturas correspondentes.
- **Método de Hohenadl (10 seções):** as medições são feitas da mesma forma que o método anterior, a diferença é que os diâmetros medidos foram medidos a 5%, 15%, 25%, 35%, 45% e assim sucessivamente até 95% da altura total da árvore.
- **Método da FAO:** é semelhante ao método Hohenadl (5 seções), a diferença é que este método prevê a medição de dois pontos adicionais na base do tronco, em que, são medidos 1/6 e 5/6 da primeira seção (1/5 da altura total). Portanto, são realizadas sete medições ao longo do fuste da árvore: 1/6 de 20%, 10%, 5/6 de 20%, 30%, 50%, 70% e 90% da altura total.
- **Método Relativo 19 seções:** são realizadas medições do diâmetro nas seguintes alturas relativas: 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 50%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total. Para o cálculo de volume, o método relativo de 19 seções utiliza a mesma fórmula empregada pelo método de cubagem de Smalian.

4.2.2 Xilômetria

Para a determinação do volume total e por sortimento das árvores pelo método da xilômetria utilizou-se um tanque metálico de 1,1 m de altura, 0,9 m de largura e 3,2 m de comprimento, com capacidade de aproximadamente 3,3 m³

(Figura 12). A calibragem e graduação do xilômetro foi efetuada de litro em litro utilizando um calibrador de precisão em mililitros (calibragem dendrométrica).

Com auxílio de um recipiente com capacidade de 1 m^3 , o xilômetro foi enchido com $1,4\text{ m}^3$ de água. No campo, o xilômetro foi assentado em base nivelada de tal forma que se mantinha alinhado e estável para determinação do volume das árvores.

Figura 12 - Xilômetro com capacidade de $3,3\text{ m}^3$, utilizado para determinação do volume por sortimento e volume total das árvores.



Fonte: o autor.

Para determinação do volume, primeiramente, foi registrada a leitura do volume inicial do xilômetro, sem as toras. Posteriormente, as toras foram depositadas dentro do xilômetro (Figura 13). Após a estabilização da água foi realizada a segunda leitura, verificando assim o quanto de água se deslocou em função do volume da árvore (Figura 14). Dessa forma, pelo deslocamento da água, foi determinado o volume das toras e conseqüentemente de cada árvore derrubada.

Figura 13 - Imersão da tora dentro do xilômetro para determinação de seu volume.



Fonte: o autor.

Figura 14 - Leitura do volume do xilômetro após a imersão da tora.



Fonte: o autor.

4.2.3 Obtenções dos dados do tempo de cubagem

Nos métodos absolutos, o tempo de cubagem se iniciou na medição do primeiro diâmetro considerado. Nos métodos relativos, se iniciou com os cálculos das alturas relativas a serem consideradas. Não foi possível a obtenção do tempo de cubagem do método de Pressler, pois a logística dos trabalhos a campo dificultou o processo. Para determinação do tempo de

cubagem, foi utilizado um cronômetro digital e formulários específicos.

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

De posse dos volumes obtidos pelos nove métodos de cubagem analíticos e pelo xilômetro, foram calculados os desvios em porcentagem como medida de precisão dos métodos de cubagem. Os desvios foram calculados tendo como base o volume obtido pelo xilômetro. Os desvios em porcentagem foram determinados pela seguinte fórmula:

$$DES\% = \frac{V_{xilômetro} - V_{calculado}}{V_{xilômetro}} \cdot 100$$

sendo:

$DES\%$ = Desvio em porcentagem do volume do método de cubagem em relação ao volume determinado pelo xilômetro;

$V_{xilômetro}$ = Volume determinado pelo xilômetro;

$V_{calculado}$ = Volume determinado pelo método de cubagem.

De forma que, os desvios negativos indicarão superestimativas e os desvios positivos indicarão subestimativas em relação ao volume determinado por meio do xilômetro.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram desenvolvidas por meio dos softwares Microsoft Excel© versão 2010, BrOffice versão 3.2.1 e Sisvar versão 5.3.

O delineamento estatístico da pesquisa, para as três idades em estudo, tanto para o volume, quanto para o tempo analisado, foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC),

sendo que cada árvore configurou uma repetição de dados e cada método de cubagem um tratamento.

A representação simplificada do delineamento em inteiramente casualizado aplicado no presente estudos está demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Representação simplificada do DIC utilizado no presente estudo.

Tratamentos (métodos de cubagem)	Repetição (árvores)			
	I	II	XXXII
1	X1,1	X1,2	X1,n
2	X2,1	X2,2	X1,n
....
I	XI,1	XI,2	XI,n

Fonte: o autor

Para determinar se as variâncias das variáveis em análise possuem um padrão homogêneo de variabilidade, tanto para os dados de volumes cubados, de tempo de cubagem, quanto para a determinação do melhor método para função de afilamento, empregou-se o teste de Bartlett, com as seguintes hipóteses:

$H_0 : \overline{S}_x^2 = \overline{S}_i^2$; não existe diferença significativa entre a média da variância dos tratamentos em relação à média de cada tratamento separadamente.

$H_1 : \overline{S}_x^2 \neq \overline{S}_i^2$, existe diferença significativa entre a média da variância dos tratamentos em relação à média de cada tratamento separadamente.

O teste foi calculado da seguinte forma:

$$X^2 = 2,3026 \cdot [\text{Log}(\bar{S}^2) \cdot (\sum GL_i)] - \sum [(GL_i) \cdot (\text{Log} S_i^2)] =$$

$$FC = 1 + \left\{ \left[\frac{1}{3} \cdot (t - 1) \right] \right\} \cdot \left\{ \sum \left(\frac{1}{GL_i} \right) - \left[\frac{1}{(\sum GL_i)} \right] \right\} =$$

$$X_{cal}^2 = \frac{X^2}{FC} =$$

onde:

\bar{S}^2 = Média da variância dos tratamentos;

S_i^2 = Variância do tratamento i ;

χ^2 = Qui-quadrado;

X_{cal}^2 = Qui-quadrado calculado;

GL_i = grau de liberdade do tratamento i ;

FC = Teste de Bartlett;

T = Número de tratamentos.

Posteriormente procedeu-se a análise de variância (ANOVA) do delineamento em DIC para determinar possíveis diferenças significativas entre os tratamentos, tanto para o volume cubado e o tempo com as seguintes hipóteses:

$H_0: S_{\bar{x}}^2 = S_i^2$ Não existe diferença significativa entre os tratamentos.

$H_1: S_{\bar{x}}^2 \neq S_i^2$ Existe diferença significativa entre os tratamentos.

Após as análises de variância, foi empregado o teste de Tukey para comparação das médias e verificação de qual dos métodos seria mais adequado em função de precisão e rapidez, para realizações de cubagem rigorosa de árvores de *Pinus taeda*.

Este teste baseia-se na diferença mínima significativa (d.m.s.) representada por Δ e dada por:

$$\Delta = q \cdot \sqrt{\frac{QM \text{ Res}}{K}}$$

onde:

q = é o valor tabelado da amplitude total estudentizada, que é obtido em função do nível α de significância do teste, número tratamentos e número de graus de liberdade do resíduo da análise de variância;

QM Res = Quadrado médio do resíduo e;

K = Número de observações por tratamento (repetições).

4.5 AJUSTE DO MODELO DE AFILAMENTO

O polinômio de quinto grau (SCHOPFER, 1966) foi ajustado utilizando os dados obtidos pelo diferentes métodos de cubagem. Polinômio de quinto grau utilizado para estimativas dos diâmetros ao longo do fuste:

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

Integral do Polinômio de quinto grau utilizada para estimativa do volume das árvores:

$$\begin{aligned}
V_t = g_{1,3} & \left(\frac{1}{11} \frac{\beta_5^2 h_i^{11}}{h_t^{10}} + \frac{1}{5} \frac{\beta_4 \beta_5 h_i^{10}}{h_t^9} + \frac{1}{9} \left(\frac{2\beta_5 \beta_3}{h_t^8} + \frac{\beta_4^2}{h_t^8} \right) h_i^9 \right. \\
& + \frac{1}{8} \left(\frac{2\beta_3 \beta_4}{h_t^7} + \frac{2\beta_5 \beta_2}{h_t^7} \right) h_i^8 \\
& + \frac{1}{7} \left(\frac{2\beta_2 \beta_4}{h_t^6} + \frac{2\beta_5 \beta_1}{h_t^6} + \frac{\beta_3^2}{h_t^6} \right) h_i^7 \\
& + \frac{1}{6} \left(\frac{2\beta_1 \beta_4}{h_t^5} + \frac{2\beta_3 \beta_2}{h_t^5} + \frac{2\beta_5 \beta_0}{h_t^5} \right) h_i^6 \\
& + \frac{1}{5} \left(\frac{\beta_2^2}{h_t^4} + \frac{2\beta_4 \beta_0}{h_t^4} + \frac{2\beta_1 \beta_3}{h_t^4} \right) h_i^5 \\
& + \frac{1}{4} \left(\frac{2\beta_3 \beta_0}{h_t^3} + \frac{2\beta_1 \beta_2}{h_t^3} \right) h_i^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\beta_1^2}{h_t^2} + \frac{2\beta_2 \beta_0}{h_t^2} \right) h_i^3 \\
& \left. + \frac{\beta_0 \beta_1 h_i^2}{h_t} + \beta_0^2 h_i \right)
\end{aligned}$$

onde:

β_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 ;

h_t : altura total da árvore (m);

V_t : volume total (m^3) de uma árvore; e

$g_{1,3}$: área basal (m^2) a 1,3 metros do nível do solo.

Para fazer a comparação entre os ajustes foram utilizadas as estatísticas: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$) e a análise gráfica de resíduos. O coeficiente de determinação (R^2_{aj}) 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 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. Quanto mais próximo de zero for o valor, mais eficiente será a equação.

A análise gráfica dos resíduos é um procedimento visual, mas fundamental para a seleção dos modelos. Indica se há ou não homogeneidade dos resultados do ajuste ao longo da linha de estimativa e, identifica se houve alguma tendenciosidade dos valores estimados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Na tabela 2 são apresentados os valores mínimos, médios e máximos do diâmetro à altura do peito e altura total para as três idades em estudo (9, 13 e 20 anos de idade), para a espécie *Pinus taeda*.

Tabela 2 - Valores com o diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h) mínimo, médio e máximo para as idades de 9, 13 e 20 anos de idade de *Pinus taeda*.

Idade (anos)	DAP (cm)			h (m)		
	mín	méd	máx	mín	méd	máx
9	10,7	17,4	23,3	11,1	12,6	14,3
13	18,3	26,5	36,0	15,4	17,2	19,0
20	30,1	37,8	45,4	23,5	26,2	28,0

Fonte: o autor.

As árvores de menor idade apresentaram menor porte, com diâmetros médios de 17,4cm e alturas que variaram de 11,1 a 14,3m para a idade de nove anos. Nas idades de treze e vinte anos, os diâmetros médios foram de 26,5 e 37,8cm respectivamente e, com alturas variando de 15,4 a 19,0 e 23,5 a 28,0m respectivamente.

5.2 COMPARAÇÃO DA ESTIMATIVA DO VOLUME

5.2.1 Povoamentos com nove anos de idade

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os volumes individuais das 32 árvores obtidos, respectivamente, pelos métodos de cubagem relativos e absolutos, com seus

respectivos desvios em porcentagem, comparados ao volume obtido pela xilômetria.

Observa-se que todos os métodos de cubagem superestimaram os volumes das árvores em relação aos volumes determinados pela xilômetria. Os métodos de cubagem da FAO, Smalian e 19 Seções apresentaram os resíduos mais elevados em relação aos demais métodos, com -6,80%; -5,88% e -4,43% respectivamente. Já os volumes obtidos pelos métodos de cubagem de Huber, Pressler e Seccional Padrão apresentaram os menores desvios, com -0,08%; -0,43% e -0,97% respectivamente.

Tabela 3 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 9 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Continua).

Árv	Vol (m ³) Xil.	19 Seções		Hohenadl (10 seções)		Hohenadl (5 seções)		FAO	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
1	0,143	0,128	10,49	0,127	11,49	0,124	13,80	0,128	10,71
2	0,141	0,149	-5,66	0,145	-2,80	0,153	-8,41	0,157	-11,77
3	0,133	0,121	9,05	0,119	10,85	0,129	3,56	0,136	-1,64
4	0,086	0,099	-15,38	0,098	-13,69	0,099	-14,48	0,102	-18,85
5	0,054	0,062	-16,17	0,061	-12,67	0,059	-10,28	0,063	-16,59
6	0,163	0,180	-10,99	0,179	-9,93	0,174	-7,09	0,189	-16,19
7	0,056	0,064	-13,49	0,063	-11,52	0,066	-16,71	0,068	-20,42
8	0,162	0,183	-13,25	0,181	-11,74	0,174	-7,86	0,193	-19,38
9	0,172	0,153	10,90	0,153	11,07	0,144	16,43	0,153	11,36
10	0,156	0,175	-11,81	0,171	-9,28	0,167	-6,61	0,175	-12,09

Tabela 3 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 9 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Conclusão).

Árv	Vol (m ³) Xil	19 Seções		Hohenadl (10 seções)		Hohenadl (5 seções)		FAO	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
11	0,199	0,219	-10,23	0,217	-9,25	0,205	-3,23	0,216	-8,51
12	0,189	0,194	-2,74	0,191	-0,76	0,207	-9,41	0,192	-1,55
13	0,241	0,259	-7,35	0,258	-6,97	0,246	-1,73	0,263	-8,92
14	0,223	0,230	-3,08	0,228	-2,00	0,231	-3,68	0,245	-9,77
15	0,105	0,101	3,69	0,101	3,87	0,093	11,36	0,098	6,50
16	0,091	0,101	-11,02	0,100	-9,36	0,094	-2,70	0,091	0,18
17	0,101	0,118	-16,23	0,116	-14,40	0,111	-9,08	0,117	-15,4
18	0,153	0,159	-4,51	0,158	-3,40	0,155	-1,51	0,163	-6,82
19	0,172	0,181	-5,29	0,179	-4,17	0,173	-0,89	0,178	-3,71
20	0,056	0,055	3,06	0,053	6,47	0,051	9,99	0,054	4,727
21	0,127	0,122	4,18	0,121	5,03	0,131	-2,77	0,137	-8,25
22	0,155	0,149	3,80	0,142	8,298	0,154	0,49	0,161	-4,04
23	0,241	0,263	-9,27	0,256	-6,25	0,248	-3,10	0,280	-16,31
24	0,056	0,064	-14,45	0,063	-12,65	0,063	-12,83	0,066	-17,48
25	0,226	0,230	-2,07	0,228	-1,03	0,221	2,19	0,232	-2,60
26	0,110	0,104	5,35	0,100	8,62	0,097	11,25	0,110	-0,35
27	0,072	0,073	-1,12	0,072	0,21	0,069	4,24	0,074	-2,58
28	0,116	0,120	-3,14	0,116	-0,30	0,114	1,83	0,116	-0,07
29	0,213	0,215	-1,34	0,211	0,93	0,211	0,86	0,223	-5,07
30	0,128	0,135	-5,65	0,133	-3,84	0,132	-2,73	0,139	-8,15
31	0,105	0,110	-4,10	0,107	-1,77	0,108	-2,27	0,112	-6,07
32	0,132	0,137	-3,90	0,137	-3,49	0,138	-4,38	0,143	-8,45
Med	0,140	0,145	-4,42	0,143	-2,64	0,142	-1,74	0,149	-6,80

Fonte: o autor.

Tabela 4 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 9 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Continua).

Árv	Vol (m ³) Xil	Newton		Smalian		Huber		Seccional Padrão		Pressler	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
1	0,143	0,127	11,7	0,139	3,1	0,121	16,0	0,122	14,7	0,122	15
2	0,141	0,142	-0,5	0,149	-5,6	0,138	2,0	0,149	-5,8	0,152	-7,8
3	0,133	0,125	6,4	0,135	-0,9	0,120	10,1	0,123	7,6	0,123	7,5
4	0,086	0,094	-8,9	0,097	-12,1	0,092	-7,3	0,092	-6,5	0,091	-5,6
5	0,054	0,060	-11,4	0,060	-11,9	0,060	-11,1	0,056	-4,6	0,055	-2,0
6	0,163	0,176	-8,3	0,186	-14,2	0,171	-5,4	0,167	-2,9	0,173	-6,3
7	0,056	0,062	-10,6	0,064	-14,2	0,061	-8,8	0,063	-11,8	0,061	-7,4
8	0,162	0,174	-7,6	0,176	-8,6	0,173	-7,1	0,174	-7,9	0,168	-3,6
9	0,172	0,154	10,5	0,155	9,9	0,154	10,7	0,157	8,8	0,143	16,7
10	0,156	0,162	-3,5	0,166	-6,1	0,160	-2,2	0,174	-11,3	0,155	0,9
11	0,199	0,207	-4,1	0,213	-7,2	0,204	-2,5	0,212	-6,4	0,221	-11
12	0,189	0,195	-3,3	0,199	-5,2	0,194	-2,4	0,191	-0,9	0,234	-24
13	0,241	0,255	-5,7	0,258	-6,9	0,254	-5,0	0,249	-3,2	0,253	-4,9
14	0,223	0,230	-3,1	0,222	0,4	0,234	-4,9	0,226	-1,4	0,233	-4,3
15	0,105	0,095	8,8	0,100	4,9	0,093	10,8	0,098	6,2	0,090	13,9
16	0,091	0,097	-6,0	0,102	-11,4	0,094	-3,4	0,095	-3,8	0,093	-2,2
17	0,101	0,113	-11,5	0,116	-14,8	0,111	-9,8	0,112	-10,4	0,108	-6,3
18	0,153	0,159	-4,2	0,168	-10,0	0,155	-1,3	0,156	-2,1	0,152	0,1
19	0,172	0,173	-1,0	0,182	-6,2	0,169	1,6	0,169	1,7	0,167	2,9
20	0,056	0,050	10,5	0,053	5,2	0,049	13,2	0,049	13,8	0,051	9,1
21	0,127	0,125	1,5	0,131	-3,0	0,122	3,7	0,127	-0,3	0,122	3,8
22	0,155	0,154	0,4	0,164	-6,3	0,149	3,8	0,153	0,8	0,152	2,0
23	0,241	0,257	-6,9	0,264	-9,7	0,254	-5,4	0,236	1,8	0,229	4,9
24	0,056	0,061	-7,9	0,065	-16,2	0,058	-3,8	0,062	-10,7	0,063	-13,0
25	0,226	0,225	0,4	0,235	-3,9	0,220	2,6	0,221	2,0	0,219	2,9

Tabela 4 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 9 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Conclusão).

Árv	Vol (m ³) Xil	Newton		Smalian		Huber		Seccional Padrão		Pressler	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
26	0,110	0,109	0,9	0,115	-5,3	0,105	4,0	0,108	1,2	0,106	3,1
27	0,072	0,072	0,3	0,074	-2,7	0,071	1,9	0,068	5,2	0,070	2,5
28	0,116	0,116	-0,2	0,125	-7,8	0,112	3,5	0,119	-2,3	0,115	1,2
29	0,213	0,223	-4,8	0,220	-3,7	0,224	-5,4	0,210	1,1	0,209	1,7
30	0,128	0,138	-7,3	0,140	-9,1	0,136	-6,4	0,131	-2,5	0,125	2,6
31	0,105	0,105	-0,2	0,111	-5,2	0,103	2,3	0,105	0,4	0,109	-3,8
32	0,132	0,131	1,1	0,137	-3,5	0,128	3,5	0,134	-1,4	0,136	-2,5
Med	0,140	0,143	-2,0	0,148	-5,9	0,140	-0,1	0,141	-1,0	0,141	-0,4

Fonte: o autor.

Os desvios percentuais de cada método em relação aos volumes obtidos pelo xilômetro podem ser melhor visualizados nos gráficos apresentados na Figura 15, confirmando o que foi analisado anteriormente.

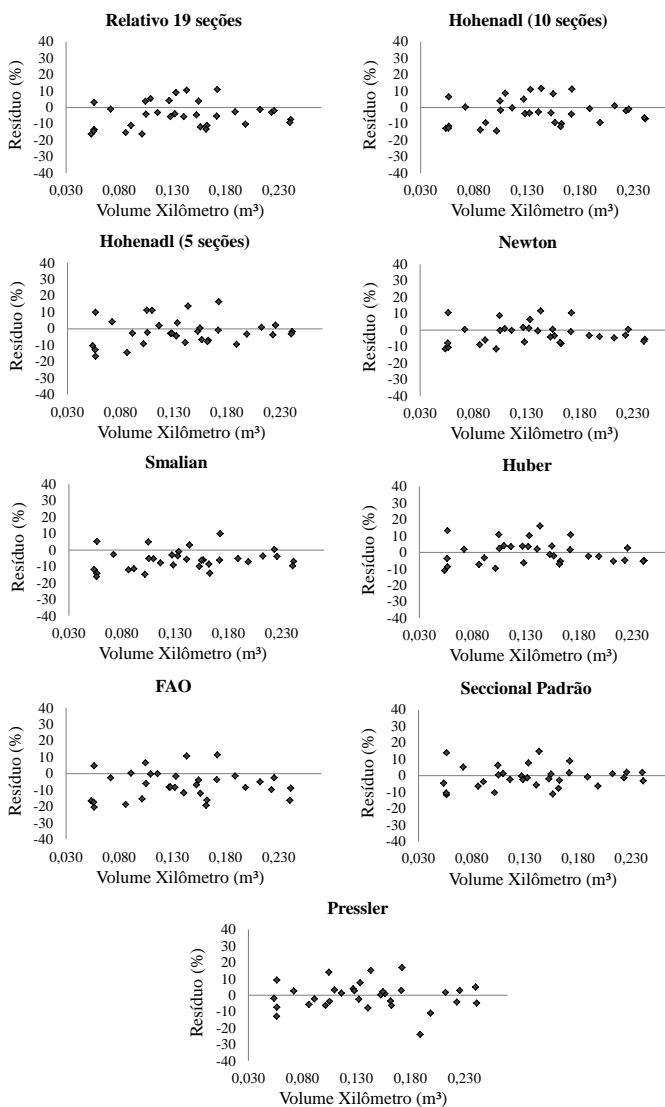
Pela distribuição gráfica de resíduos, nota-se que a maioria dos métodos, sobretudo o método relativo de 19 seções e o método da FAO, possuem tendência a superestimar, em relação ao xilômetro, principalmente os volumes individuais das maiores árvores. Deste modo, justifica a superestimava na determinação do volume dos métodos de cubagem estudados, pois as maiores árvores apresentam maior peso no valor de cálculo na média final do volume.

Mesmo superestimando os resultados, os métodos de cubagem de Huber, Pressler e Seccional Padrão apresentaram estimativas do volume bem próximas ao valor obtido com a

xilometria. Em geral, estes apresentam maior homogeneidade dos pontos em relação aos demais métodos. O método de Pressler apresentou alta dispersão entre os resíduos, o que ocorre também com os métodos da FAO e Hohenadl (5 seções).

Os métodos de cubagem da FAO e de Smalian, na distribuição dos resíduos, apresentaram grande parte dos seus valores abaixo do eixo zero, o que explica a superestimativa do volume médio destes métodos.

Figura 15 - Distribuição gráfica de resíduos para o povoamento de 9 anos.



Fonte: o autor.

5.2.1.1 Análises estatísticas dos volumes obtidos

Na Tabela 5 são apresentados os resultados da análise de variância realizada para verificar a existência de diferença significativa entre os métodos de cubagem.

Tabela 5 - Análise de variância de um DIC para o volume de idade de 9 anos.

ANOVA					
Fontes de variação	G. L	S. Q.	Q. M.	F Calc.	F Tab. (5%)
Tratamentos	9	0,00297	0,00033	10,231	1,91
Resíduo	310	0,00899	0,00003		
Total	319	1,02283			

C.V. % = 3,97; Média geral: 0,1431656

Fonte: o autor

De acordo com a análise de variância, houve diferença significativa entre os tratamentos. Pelo teste de média de Tukey constatou-se que os métodos de Huber, Pressler e Seccional Padrão, Hohenadl 5 seções, Newton e Hohenadl 10 seções não apresentaram diferença significativa em relação ao método do deslocamento de água (xilômetro) (Tabela 6), sendo o primeiro considerado o melhor método por apresentar a média de volume mais próxima ao volume do xilômetro.

Somente os tratamentos referentes aos métodos de cubagem de Smalian, FAO e Relativo 19 seções diferiram do resultado encontrado pela xilometria. Estatisticamente, o método de Hohenadl (10 seções) diferiu apenas o método da FAO, obtendo resultado igual aos demais métodos.

Tabela 6 - Teste de Tukey a 5% de significância para comparação de médias dos tratamentos em relação ao volume xilométrado, para a idade de 9 anos.

Tratamentos	Média do Volume (m ³)
Xilômetria	0,1399 a
Huber	0,1403 a
Pressler	0,1406 a
Seccional Padrão	0,1409 a
Hohenadl (5 seções)	0,1419 ab
Newton	0,1427 ab
Hohenadl (10 seções)	0,1432 abc
Relativo 19 seções	0,1454 bcd
Smalian	0,1475 cd
Método da FAO	0,1492 d

*mesma letra: não difere significativamente ao nível de 5% de significância; letras diferentes: difere significativamente ao nível de 5% de significância.

Fonte: o autor.

De acordo com Spurr (1952), a cubagem de uma mesma árvore utilizando os processos de Huber e Smalian não apresenta diferenças significativas entre os volumes calculados. No entanto, no presente estudo, para a idade de nove anos, estes métodos foram bastante diferentes estatisticamente, sendo Smalian considerado o segundo pior método, enquanto o método de Huber o melhor na estimativa do volume.

Para determinação do volume, Machado et al. (2006) comparando três métodos de cubagem absolutos (Smalian, Huber e Centróide) para a espécie *Mimosa scabrella Benth*, utilizando o valor do xilômetro como volume real, concluíram que, estatisticamente, o volume estimado pelos métodos absolutos diferem suas médias em relação ao valor obtido pelo xilômetro. No entanto, o autor considerou o método de Huber como o método de cubagem mais eficiente para esta espécie.

Figueiredo Filho et al. (2000) utilizaram o xilômetro para avaliar a precisão dos métodos de Smalian, Huber,

Newton, Spline Cúbica, Centróide e sobreposição de seções de Bailey. Os autores avaliaram o volume total e os volumes comerciais para laminação, serraria e celulose. Concluíram que o método de Huber é o mais apropriado entre os seis métodos estudados tanto para determinação do volume total, quanto para os volumes comerciais.

5.2.2 Povoamento de treze anos de idade

Os resultados dos volumes individuais das 34 árvores, obtidos pelos métodos de cubagem relativos e absolutos, estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 7 e 8 com seus respectivos desvios em porcentagem comparados ao volume obtido pelo xilômetro.

Para esta idade, todos os métodos de cubagem apresentaram elevada superestimativa do volume em relação aos valores determinados pelo xilômetro. Os métodos de cubagem da FAO, 19 Seções e Smalian apresentaram os resíduos mais elevados em relação aos demais métodos, com -12,448%; -11,202% e -11,156% respectivamente. Na idade de nove anos, estes três métodos também apresentaram os resíduos mais elevados.

Os volumes obtidos pelos métodos de cubagem de Pressler, Seccional Padrão e Huber apresentaram os menores desvios em relação ao xilômetro, com -6,853%; -8,332% e -8,827% respectivamente. Os outros métodos de cubagem apresentaram desvios entre -9 a -10%.

Tabela 7 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 13 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Continua).

Arv	Vol (m ³) Xil	19 Seções		Hohenadl (10 seções)		Hohenadl (5 seções)		FAO	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
1	0,395	0,433	-9,62	0,424	-7,35	0,425	-7,41	0,441	-11,49
2	0,609	0,646	-6,16	0,637	-4,67	0,648	-6,55	0,675	-10,94
3	0,386	0,419	-8,56	0,410	-6,12	0,420	-8,81	0,433	-12,15
4	0,602	0,681	-13,08	0,671	-11,42	0,668	-11,04	0,672	-11,68
5	0,362	0,406	-12,33	0,403	-11,38	0,394	-8,90	0,401	-10,78
6	0,224	0,271	-21,08	0,265	-18,15	0,285	-27,18	0,276	-23,09
7	0,477	0,550	-15,23	0,543	-13,88	0,545	-14,19	0,544	-14,04
8	0,370	0,425	-14,95	0,417	-12,89	0,423	-14,41	0,424	-14,56
9	0,456	0,478	-4,70	0,475	-4,03	0,454	0,51	0,478	-4,63
10	0,296	0,345	-16,34	0,338	-13,96	0,332	-12,04	0,342	-15,43
11	0,585	0,669	-14,38	0,655	-11,98	0,658	-12,50	0,650	-11,18
12	0,326	0,383	-17,44	0,380	-16,63	0,373	-14,31	0,384	-17,95
13	0,624	0,708	-13,47	0,703	-12,66	0,672	-7,63	0,702	-12,49
14	0,409	0,452	-10,59	0,447	-9,31	0,441	-7,77	0,462	-12,98
15	0,427	0,476	-11,51	0,468	-9,69	0,469	-10,01	0,492	-15,30
16	0,621	0,672	-8,19	0,660	-6,26	0,665	-7,09	0,696	-12,13
17	0,472	0,510	-8,03	0,502	-6,28	0,505	-6,96	0,512	-8,45
18	0,362	0,403	-11,26	0,394	-8,77	0,417	-15,20	0,426	-17,77
19	0,471	0,541	-14,86	0,530	-12,57	0,521	-10,61	0,549	-16,74
20	0,593	0,640	-8,04	0,639	-7,88	0,606	-2,18	0,633	-6,88
21	0,384	0,445	-15,85	0,441	-14,99	0,446	-16,31	0,454	-18,27
22	0,326	0,355	-8,91	0,351	-7,66	0,341	-4,64	0,353	-8,41
23	0,453	0,502	-10,93	0,495	-9,31	0,506	-11,77	0,516	-13,81
24	0,247	0,280	-13,34	0,274	-10,91	0,280	-13,16	0,290	-17,20
25	0,458	0,504	-10,10	0,494	-7,87	0,501	-9,36	0,516	-12,58

Tabela 7 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 13 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Conclusão).

Arv	Vol (m ³) Xil	19 Seções		Hohenadl (10 seções)		Hohenadl (5 seções)		FAO	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
26	0,541	0,580	-7,22	0,560	-3,64	0,548	-1,46	0,577	-6,71
27	0,379	0,411	-8,66	0,403	-6,55	0,415	-9,70	0,412	-8,84
28	0,562	0,604	-7,51	0,590	-5,00	0,584	-3,90	0,598	-6,37
29	0,204	0,222	-8,91	0,216	-5,81	0,217	-6,29	0,224	-9,85
30	0,525	0,586	-11,62	0,584	-11,18	0,574	-9,36	0,603	-14,87
31	0,549	0,607	-10,58	0,598	-8,87	0,622	-13,22	0,625	-13,82
32	0,254	0,277	-9,17	0,273	-7,51	0,259	-2,08	0,273	-7,47
33	0,473	0,548	-15,80	0,531	-12,21	0,557	-17,67	0,562	-18,78
34	0,234	0,240	-2,48	0,241	-3,10	0,241	-2,74	0,247	-5,62
Med	0,431	0,478	-11,20	0,471	-9,43	0,471	-9,59	0,484	-12,45

Fonte: o autor.

Tabela 8 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 13 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Continua).

Arv	Vol (m ³) Xil	Newton		Smalian		Huber		Seccional Padrão		Pressler	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
1	0,395	0,416	-5,2	0,444	-12,3	0,402	-1,6	0,404	-2,1	0,405	-2,4
2	0,609	0,643	-5,7	0,659	-8,3	0,636	-4,4	0,649	-6,7	0,587	3,6
3	0,386	0,402	-4,1	0,411	-6,5	0,397	-2,8	0,396	-2,6	0,435	-12,7
4	0,602	0,667	-10,8	0,675	-12,1	0,663	-10,1	0,698	-15,9	0,689	-14,4
5	0,362	0,394	-8,9	0,402	-11,3	0,389	-7,6	0,396	-9,4	0,349	3,6
6	0,224	0,272	-21,5	0,278	-24,3	0,269	-20,1	0,271	-21,1	0,272	-21,6

Tabela 8 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 13 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Continua).

Arv	Vol (m ³) Xil	Newton		Smalian		Huber		Seccional Padrão		Pressler	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
7	0,477	0,539	-13,1	0,541	-13,5	0,538	-12,9	0,520	-9,1	0,225	52,9
8	0,370	0,426	-15,1	0,434	-17,3	0,422	-14,1	0,435	-17,7	0,407	-10,0
9	0,456	0,465	-1,8	0,470	-2,9	0,462	-1,3	0,460	-0,7	0,447	2,1
10	0,296	0,335	-13,1	0,352	-18,8	0,327	-10,3	0,349	-17,8	0,327	-10,5
11	0,585	0,633	-8,3	0,616	-5,4	0,642	-9,8	0,615	-5,1	0,683	-16,8
12	0,326	0,378	-16,0	0,385	-18,1	0,375	-15,0	0,368	-12,9	0,368	-13,0
13	0,624	0,695	-11,3	0,693	-11,0	0,696	-11,5	0,666	-6,7	0,888	-42,2
14	0,409	0,457	-11,7	0,476	-16,4	0,447	-9,4	0,438	-7,0	0,493	-20,5
15	0,427	0,457	-7,1	0,452	-6,0	0,460	-7,7	0,452	-6,0	0,500	-17,3
16	0,621	0,705	-13,6	0,673	-8,4	0,721	-16,1	0,656	-5,7	0,650	-4,7
17	0,472	0,506	-7,1	0,521	-10,4	0,498	-5,5	0,502	-6,3	0,487	-3,2
18	0,362	0,402	-11,1	0,413	-14,0	0,397	-9,6	0,394	-8,9	0,372	-2,7
19	0,471	0,532	-12,9	0,535	-13,7	0,530	-12,5	0,518	-10,1	0,544	-15,6
20	0,593	0,619	-4,4	0,629	-6,1	0,613	-3,5	0,635	-7,1	0,636	-7,4
21	0,384	0,414	-7,9	0,425	-10,6	0,409	-6,6	0,413	-7,6	0,427	-11,2
22	0,326	0,342	-5,1	0,344	-5,7	0,341	-4,8	0,348	-6,8	0,326	-0,1
23	0,453	0,498	-10,0	0,505	-11,4	0,495	-9,4	0,498	-9,9	0,533	-17,8
24	0,247	0,276	-11,7	0,277	-12,1	0,275	-11,5	0,274	-10,9	0,261	-5,5
25	0,458	0,498	-8,7	0,512	-11,7	0,491	-7,2	0,505	-10,3	0,505	-10,3
26	0,541	0,570	-5,4	0,588	-8,7	0,561	-3,8	0,531	1,8	0,547	-1,1
27	0,379	0,403	-6,4	0,402	-6,1	0,403	-6,5	0,402	-6,2	0,363	4,2
28	0,562	0,592	-5,4	0,592	-5,4	0,592	-5,3	0,617	-9,8	0,578	-2,9
29	0,204	0,228	-11,6	0,228	-11,6	0,227	-11,6	0,211	-3,5	0,209	-2,7
30	0,525	0,575	-9,5	0,585	-11,4	0,570	-8,5	0,562	-7,1	0,549	-4,5

Tabela 8 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 13 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Conclusão).

Arv	Vol (m ³) Xil	Newton		Smalian		Huber		Seccional Padrão		Pressler	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
31	0,549	0,611	-11,2	0,621	-13,0	0,606	-10,4	0,590	-7,4	0,560	-2,0
32	0,254	0,270	-6,3	0,274	-7,8	0,268	-5,6	0,258	-1,5	0,262	-3,1
33	0,473	0,543	-14,8	0,548	-15,7	0,541	-14,3	0,553	-16,8	0,549	-16,1
34	0,234	0,241	-2,9	0,247	-5,6	0,238	-1,6	0,234	-0,1	0,238	-1,5
Med	0,431	0,471	-9,4	0,477	-11,0	0,468	-8,6	0,465	-8,1	0,461	-6,7

Fonte: o autor.

Como pode ser observado nas distribuições gráficas dos resíduos em relação aos volumes obtidos pelo xilômetro (Figura 16), praticamente todos os métodos de cubagem apresentam seus resíduos abaixo no eixo zero, o que explica os valores superestimados do volume comparado ao xilômetro.

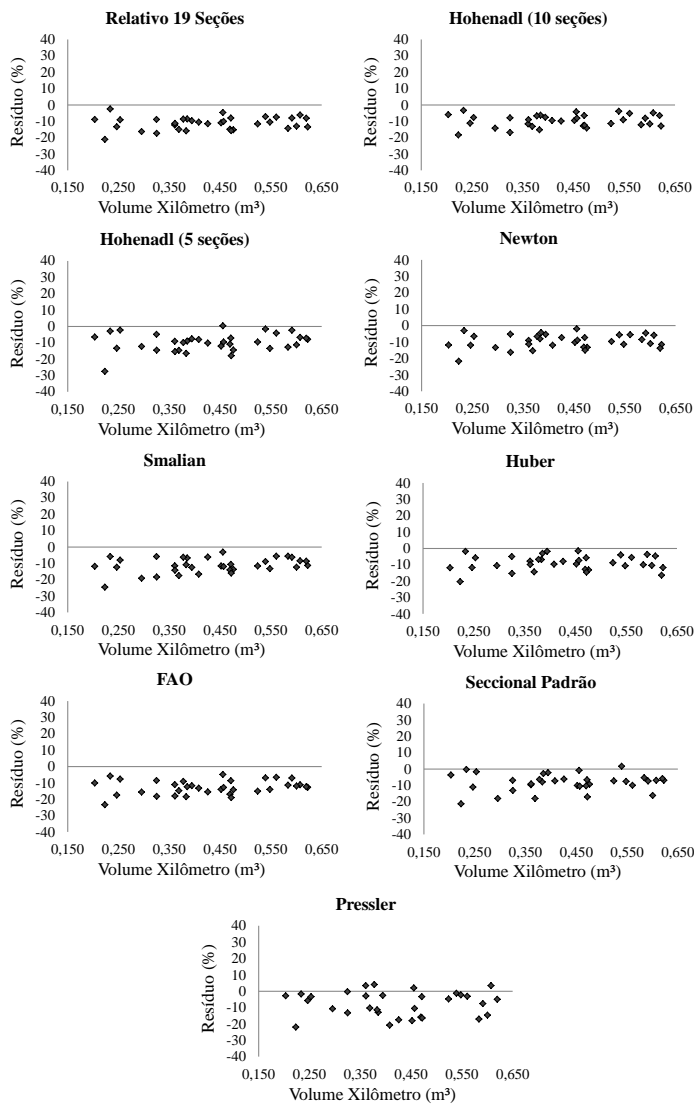
Apesar de superestimar os volumes individuais, os métodos de cubagem exigentes em número de medições ao longo do fuste, apresentaram resíduos homogêneos, com baixa variância entre os dados, como é o caso dos métodos de 19 seções, Newton e Hohenadl (10 seções). No entanto, mesmo o método da FAO não sendo uma técnica exigente em números de medições do fuste, também apresentou homogeneidade dos seus volumes em relação aos outros métodos.

O modelo de Pressler, para a idade de treze anos, foi o método que apresentou volume mais próximo do valor determinado pelo xilômetro, com média de 0,4609 m³. De acordo com Gomes (1957), citado por Machado e Figueiredo Filho (2009), a fórmula de Pressler é precisa quando se trata da cubagem de parabolóides ordinários ou de cones, porém estima

de maneira aproximada troncos com formato neiloidais, mas neste caso, os desvios são insignificantes.

Porém, pela distribuição dos resíduos deste estudo, o método de Pressler apresentou os resíduos mais heterogêneos entre métodos. Mesmo considerando seus bons resultados, não podemos classificar o método de Pressler como melhor método para estimativa de volume, para essa idade. O comportamento uniforme do gráfico de resíduo demonstra boa precisão na estimativa do método, o que não é observado no método de Pressler. Neste sentido deve-se tomar cuidado com as comparações realizadas apenas por médias, ficando claro que o uso de gráficos de resíduos é de extrema importância quando se quer comparar precisões na mensuração florestal.

Figura 16 - Distribuição gráfica dos resíduos para o povoamento de 13 anos.



Fonte: o autor.

5.2.2.1 Análises estatísticas dos volumes obtidos

Na Tabela 9 são apresentados os resultados na análise de variância para verificar a existência de diferença significativa entre os métodos.

Tabela 9 - Análise de Variância de um DIC para o volume de idade de 13 anos.

ANOVA					
Fontes de variação	G. L	S. Q.	Q. M.	F Calc.	F Tab. (5%)
Tratamentos	9	0,06373	0,00708	12,172	1,91
Resíduo	330	0,17277	0,00058		
Total	339	6,10459			

C.V. % = 5,16

Média geral: 0,4676235

Número de observações: 340

Fonte: o autor

Todos os métodos de cubagem diferiram significativamente do método do xilômetro (Tabela 10). Entretanto, pelo teste de média, não houve diferença significativa entre os métodos de cubagem, exceto pelo método desenvolvido pela FAO, que diferiu do restante dos métodos estudados e, também apresentou pior precisão na estimativa do volume em relação ao valor verdadeiro.

Em geral, levando em consideração o Teste de Tukey e ao analisar o gráfico de dispersão dos resíduos, o método de Huber apresentou boa precisão na determinação do volume em relação ao xilômetro e os seus resíduos apresentaram boa uniformidade na sua distribuição. Portanto, aliado a essas ocorrências, o método de Huber novamente sobressaiu em relação aos demais métodos.

Tabela 10 - Teste de Tukey a 5% de significância, para comparação de médias dos tratamentos em relação ao volume xilometrado, para os 13 anos.

Tratamentos	Média do Volume (m ³)
Xilômetria	0,4311 a
Pressler	0,4609 b
Seccional Padrão	0,4652 bc
Huber	0,4677 bc
Newton	0,4707 bc
Hohenadl (5 seções)	0,4709 bc
Hohenadl (10 seções)	0,4709 bc
Smalian	0,4768 bc
Relativo 19 seções	0,4785 bc
Método da FAO	0,4836 c

*mesma letra: não difere significativamente ao nível de 5% de significância; letras diferentes: difere significativamente ao nível de 5% de significância. Fonte: o autor.

Machado e Nadolny (1991) compararam os métodos absolutos de Smalian, Huber e Newton para *Pinus elliottii* para árvores em classes de diâmetro inferiores, médias e superiores. Os autores utilizaram o volume obtido no xilômetro como base de comparação e concluíram que as fórmulas de Huber e Newton foram as de melhor desempenho. Na maioria dos casos, a fórmula de Huber apresentou melhor desempenho que as de Newton e Smalian, sendo essa última pior que as demais, o que também foi observado no presente estudo, nos quais, o método de Huber apresentou melhores resultados quando comparado ao método de Newton e Smalian.

5.2.3 Povoamento de vinte anos de idade

Os resultados dos volumes individuais das 32 árvores, obtidos pelos métodos de cubagem relativos e absolutos, estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 11 e 12 com seus respectivos desvios em porcentagem comparados ao volume obtido pelo xilômetro.

Os volumes calculados pelos métodos de cubagem obtiveram valores de resíduos similares, com médias de -1,98 a -4,5%. O método da FAO, com 4,5%, e o método relativo de 19 seções, com 4,36%, foram os que mais superestimaram as estimativas dos volumes individuais em relação aos volumes obtidos pelo xilômetro.

O método que mais se aproximou do volume verdadeiro foi o de Hohenadl (5 seções), com resíduo médio de -1,98%. Em seguida, os métodos que mais se aproximaram do valor verdadeiro foram os de Huber e Seccional Padrão, com resíduos médios de -2,55 e -2,59%, respectivamente.

O método de Newton, mesmo sendo exigente em medições ao longo do fuste, obteve resíduo médio de -2,95%, sendo assim, apenas o quarto método que mais se aproximou do volume verdadeiro. Os métodos de Smalian, Pressler e Hohenadl (10 seções) apresentaram valores similares, com resíduo médio de -3,33%, -3,14% e 3,04%, respectivamente.

Tabela 11 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 20 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Continua).

Arv	Vol (m ³) Xil	19 Seções		Hohenadl (10 seções)		Hohenadl (5 seções)		FAO	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
1	1,669	1,750	-4,85	1,730	-3,64	1,705	-2,15	1,737	-4,07
2	1,589	1,622	-2,07	1,576	0,86	1,731	-8,89	1,749	-10,04
3	1,577	1,602	-1,58	1,576	0,05	1,594	-1,07	1,600	-1,44
4	0,915	0,940	-2,75	0,935	-2,19	0,895	2,19	0,913	0,17
5	1,093	1,138	-4,08	1,127	-3,03	1,105	-1,03	1,124	-2,77
6	1,888	1,847	2,15	1,808	4,20	1,817	3,72	1,870	0,93
7	1,110	1,124	-1,28	1,134	-2,20	1,044	5,91	1,112	-0,15
8	1,371	1,448	-5,56	1,419	-3,48	1,406	-2,49	1,436	-4,72
9	1,765	1,795	-1,72	1,777	-0,72	1,773	-0,46	1,835	-3,97

Tabela 11 - Volumes (m³) por árvore obtidos no povoamento de 20 anos, pelos métodos de cubagem relativos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Conclusão).

Arv	Vol (m ³) Xil	19 Seções		Hohenadl (10 seções)		Hohenadl (5 seções)		FAO	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
10	1,139	1,245	-9,26	1,235	-8,44	1,265	-11,08	1,257	-10,36
11	1,177	1,191	-1,18	1,169	0,65	1,233	-4,79	1,225	-4,15
12	1,416	1,533	-8,25	1,507	-6,41	1,557	-9,95	1,540	-8,75
13	0,959	0,917	4,30	0,914	4,67	0,858	10,53	0,900	6,17
14	1,344	1,373	-2,17	1,349	-0,39	1,355	-0,84	1,401	-4,30
15	1,901	1,973	-3,79	1,970	-3,62	1,935	-1,79	1,993	-4,83
16	1,471	1,579	-7,34	1,564	-6,35	1,537	-4,52	1,575	-7,10
17	1,015	1,094	-7,71	1,079	-6,28	1,112	-9,57	1,127	-11,00
18	0,904	0,989	-9,50	0,978	-8,26	0,975	-7,90	0,995	-10,16
19	1,219	1,322	-8,46	1,306	-7,15	1,268	-4,05	1,307	-7,25
20	0,966	1,026	-6,28	1,018	-5,38	0,972	-0,68	1,014	-5,03
21	0,969	1,025	-5,79	0,998	-3,07	1,004	-3,62	1,048	-8,22
22	1,382	1,383	-0,10	1,386	-0,31	1,292	6,53	1,316	4,79
23	1,910	2,066	-8,18	2,015	-5,53	2,034	-6,52	2,109	-10,46
24	1,156	1,203	-4,11	1,182	-2,28	1,085	6,12	1,117	3,32
25	1,401	1,409	-0,58	1,391	0,75	1,351	3,62	1,383	1,27
26	1,398	1,416	-1,27	1,410	-0,85	1,368	2,15	1,407	-0,66
27	1,413	1,439	-1,88	1,423	-0,70	1,446	-2,32	1,463	-3,52
28	1,296	1,520	-17,30	1,499	-15,61	1,472	-13,54	1,505	-16,09
29	1,371	1,434	-4,64	1,434	-4,63	1,376	-0,40	1,448	-5,59
30	1,836	1,927	-4,93	1,899	-3,45	1,896	-3,30	1,934	-5,34
31	1,854	1,951	-5,21	1,939	-4,57	1,885	-1,68	1,950	-5,15
32	1,058	1,103	-4,33	1,090	-3,11	1,075	-1,67	1,117	-5,58
Med	1,360	1,418	-4,37	1,401	-3,14	1,388	-1,99	1,422	-4,50

Tabela 12 - Volumes (m³) por árvore, obtidos no povoamento de 20 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Continua).

Arv	Vol (m ³) Xil	Newton		Smalian		Huber		Seccional Padrão		Pressler	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
1	1,669	1,725	-3,3	1,696	-1,6	1,739	-4,2	1,721	-3,1	1,556	6,8
2	1,589	1,601	-0,7	1,555	2,1	1,623	-2,1	1,548	2,6	1,518	4,5
3	1,577	1,578	-0,1	1,629	-3,3	1,553	1,5	1,559	1,2	1,585	-0,5
4	0,915	0,913	0,2	0,921	-0,6	0,909	0,7	0,948	-3,6	1,019	-11,3
5	1,093	1,100	-0,6	1,137	-3,9	1,082	1,1	1,101	-0,7	1,083	0,9
6	1,888	1,843	2,4	1,869	1,0	1,830	3,0	1,802	4,5	2,056	-8,9
7	1,110	1,106	0,3	1,135	-2,2	1,092	1,6	1,115	-0,4	1,305	-17,6
8	1,371	1,402	-2,2	1,372	0,0	1,416	-3,3	1,415	-3,2	1,017	25,9
9	1,765	1,801	-2,1	1,809	-2,5	1,796	-1,8	1,806	-2,4	1,671	5,3
10	1,139	1,208	-6,1	1,212	-6,4	1,207	-5,9	1,189	-4,4	1,155	-1,4
11	1,177	1,141	3,0	1,155	1,9	1,135	3,6	1,179	-0,2	1,119	4,9
12	1,416	1,469	-3,8	1,515	-7,0	1,447	-2,2	1,509	-6,6	1,560	-10,2
13	0,959	0,884	7,8	0,880	8,3	0,887	7,5	0,901	6,1	0,885	7,7
14	1,344	1,350	-0,5	1,365	-1,6	1,343	0,1	1,303	3,0	1,340	0,3
15	1,901	1,943	-2,2	1,950	-2,6	1,940	-2,0	1,956	-2,9	1,811	4,7
16	1,471	1,625	-10,5	1,560	-6,1	1,657	-12,7	1,565	-6,4	1,500	-2,0
17	1,015	1,068	-5,2	1,065	-4,9	1,069	-5,3	1,079	-6,3	1,025	-0,9
18	0,904	0,983	-8,7	0,976	-8,0	0,986	-9,1	0,967	-7,0	1,062	-17,5
19	1,219	1,296	-6,3	1,323	-8,6	1,282	-5,2	1,344	-10,2	1,265	-3,8
20	0,966	1,025	-6,2	1,061	-9,8	1,008	-4,3	0,998	-3,4	1,116	-15,6
21	0,969	1,047	-8,1	1,032	-6,5	1,055	-8,9	1,033	-6,6	1,062	-9,7
22	1,382	1,383	-0,1	1,382	0,0	1,383	-0,1	1,377	0,3	1,437	-4,0
23	1,910	2,057	-7,7	2,055	-7,6	2,057	-7,7	1,990	-4,2	1,939	-1,5
24	1,156	1,200	-3,9	1,201	-3,9	1,200	-3,8	1,194	-3,3	1,200	-3,9

Tabela 12 - Volumes (m³) por árvore, obtidos no povoamento de 20 anos, pelos métodos de cubagem absolutos e respectivos desvios percentuais em relação aos volumes obtidos com o xilômetro (Conclusão).

Arv	Vol (m ³) Xil	Newton		Smalian		Huber		Seccional Padrão		Pressler	
		Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %	Vol (m ³)	Res %
25	1,401	1,399	0,1	1,405	-0,2	1,396	0,3	1,360	2,9	1,387	1,0
26	1,398	1,383	1,0	1,372	1,9	1,389	0,6	1,397	0,0	1,491	-6,7
27	1,413	1,417	-0,3	1,461	-3,4	1,395	1,3	1,468	-3,9	1,476	-4,5
28	1,296	1,478	-14,0	1,481	-14,3	1,476	-13,9	1,410	-8,8	1,505	-16,1
29	1,371	1,424	-3,9	1,434	-4,6	1,419	-3,5	1,444	-5,3	1,413	-3,1
30	1,836	1,903	-3,6	1,947	-6,0	1,881	-2,4	1,934	-5,4	1,909	-4,0
31	1,854	1,896	-2,2	1,924	-3,7	1,881	-1,5	1,919	-3,5	1,993	-7,5
32	1,058	1,134	-7,2	1,079	-2,0	1,090	-3,0	1,077	-1,8	1,149	-8,7
Med	1,360	1,399	-3,0	1,405	-3,3	1,394	-2,6	1,394	-2,6	1,394	-3,0

Fonte: o autor.

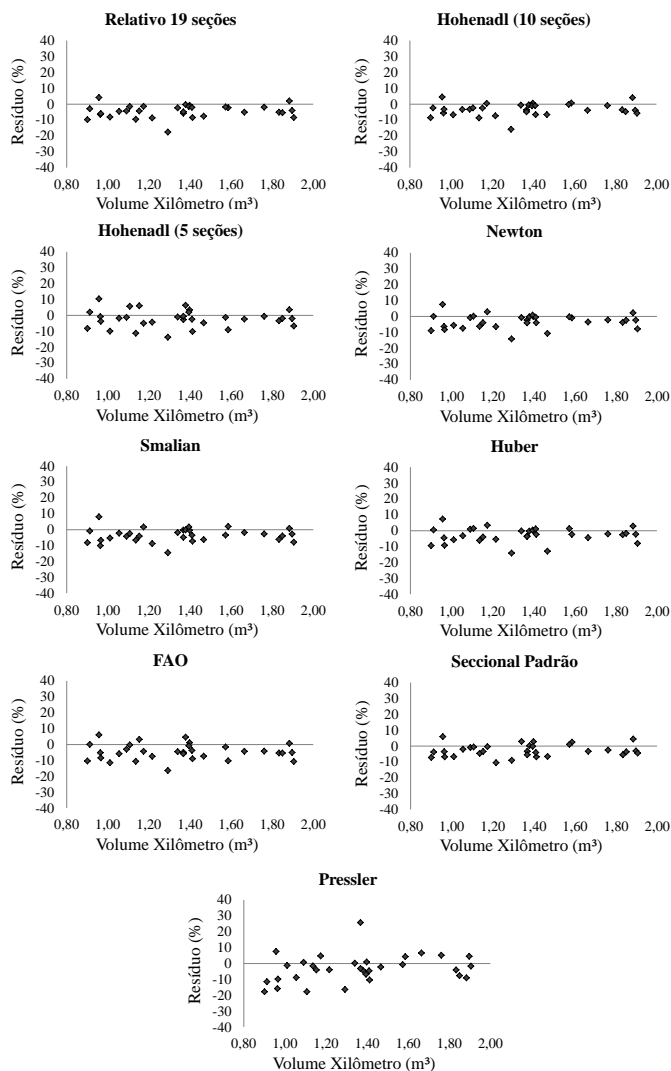
Em relação aos desvios percentuais de cada método comparando com os volumes obtidos pelo xilômetro (Figura 18), nota-se que a maioria dos valores se encontra abaixo do eixo zero, ou seja, tendem a superestimar o volume em relação à xilometria.

Os métodos de 19 seções, Newton, Hohenadl (10 seções), Smalian e Seccional Padrão apresentaram resíduos mais homogêneos com comportamento mais uniforme, principalmente em relação aos métodos de Hohenadl (5 seções), Pressler e FAO.

O método Seccional Padrão, mesmo sendo um método bem simples, pouco exigente em medições no fuste, apresentou alta homogeneidade entre os resíduos. Em trabalhos de levantamentos florestais de curto prazo, o uso do método Seccional Padrão pode ser uma boa alternativa, pois pode

oferecer bons resultados na estimativa do volume observado aliado à sua praticidade.

Figura 17 – Distribuição gráfica dos resíduos, povoamento de 20 anos.



Fonte: o autor.

5.2.3.1 Análises estatísticas dos volumes obtidos

Verifica-se na Tabela 13, que a análise de variância mostrou uma diferença significativa entre os diferentes métodos de cubagem.

Tabela 13 - Análise de variância de um DIC para o volume para idade de 20 anos.

ANOVA					
Fontes de variação	G. L	S. Q.	Q. M.	F Calc.	F Tab. (5%)
Tratamentos	9	0,08341	0,00927	4,309	1,91
Resíduo	310	0,60001	0,00215		
Total	319	32,87907			

C.V. % = 3,32; Média geral: 1,3976

Fonte: o autor

Pelo teste de Tukey (Tabela 14), constatou-se que os métodos de Hohenadl (5 seções), Seccional Padrão, Pressler e Huber não apresentaram diferença significativa em relação ao volume obtido pelo método do deslocamento de água (xilometria). No entanto, também não houve diferença significativamente entre as médias dos métodos de cubagem estudados. Deste modo, mesmo os métodos apresentando resultados iguais estatisticamente ao xilômetro, os seus resultados também não diferiram estatisticamente dos demais métodos em estudo.

Tabela 14 - Teste de Tukey a 5% de significância, para comparação de médias dos tratamentos em relação ao volume xilometrado, para a idade de 20 anos.

Tratamentos	Média do Volume (m³)
Xilômetria	1,3604 a
Hohenadl (5 seções)	1,3882 ab
Seccional Padrão	1,3940ab
Pressler	1,3940 ab
Huber	1,3945 ab
Newton	1,3994 b
Hohenadl (10 seções)	1,4012 b
Smalian	1,4049 b
Relativo 19 seções	1,4182 b
Método da FAO	1,4221 b

*mesma letra: não difere significativamente ao nível de 5% de significância; letras diferentes: difere significativamente ao nível de 5% de significância.

Fonte: o autor.

Com base no teste de média e distribuição gráfica dos resíduos, o método Seccional Padrão e Huber apresentaram os melhores resultados na determinação do volume, não diferindo estatisticamente do valor da testemunha (xilômetro) e apresentando comportamento homogêneo dos seus resíduos. Os resultados encontrados pelo método de Newton também merecem destaque, este método apresentou uniformidade na distribuição dos resíduos e não diferiu estatisticamente dos métodos de Huber e Seccional Padrão.

Resultado semelhante foi encontrado por Phillips e Taras (1987) ao comparar as fórmulas de Smalian, Huber, Newton, Grosenbaugh, tronco de neilóide e tronco de cone, para diferentes comprimentos de seções. Os autores concluíram que os métodos de Huber e de Newton fornecem estimativas melhores do que os demais métodos, em relação ao xilômetro.

Os métodos da FAO, de Smalian e de 19 seções, mesmo apresentando boa a razoável dispersão de resíduos, foram os métodos que mais diferenciaram seus resultados do valor

encontrado pelo xilômetro. Estes três métodos, em todas as idades estudadas, não diferenciaram estatisticamente suas médias entre si, sendo considerados os métodos de cubagem mais imprecisos para determinação do volume em relação ao xilômetro.

Campos (1988) menciona que quanto menor for o comprimento da seção, maior a precisão na determinação volumétrica. Machado e Figueiredo Filho (2009) dizem que, quanto menor o comprimento das seções do fuste da árvore mais acurado será o volume calculado, seja qual for o método empregado. Entretanto, os resultados encontrados neste trabalho diferem da afirmação do autor, pois nem sempre com a diminuição do comprimento da seção apresentou maior precisão na determinação do volume.

Os métodos de Hohenadl (5 e 10 seções) apresentaram resultados intermediários aos demais métodos, não apresentando diferença significativa em relação aos métodos mais precisos na determinação do diâmetro, em todas as idades. De encontro a estes resultados temos os obtidos por Machado e Nadolny (1993), estes autores compararam, para *Pinus elliottii*, os métodos de cubagem relativos da FAO, Hohenadl e o método gráfico com o xilômetro, concluindo que o método da FAO para 5 e 10 seções apresentou um desempenho ligeiramente superior à fórmula de Hohenald.

5.3 TEMPOS DE CUBAGEM

Os métodos mais exigentes em números de medições de diâmetros numa determinada seção do tronco, como é o caso do método de Newton e 19 seções, apresentaram tempos de cubagem bem superiores aos demais métodos com médias que variaram de 100,1 a 205,5 segundos para as idades estudadas. O método relativo de 19 seções demandou maior tempo para sua execução em comparação com os demais métodos, com médias superiores a 140 segundos por árvore, este método

exige, além das medições do diâmetro ao longo do fuste, o cálculo da altura relativa onde são feitas as medições.

Hohenadl (5 seções), FAO e Seccional Padrão foram os métodos de cubagem que demandaram menor tempo de medição, com médias inferiores a 68 segundos por indivíduo. Estes métodos são menos exigentes em números de medições de diâmetros numa determinada seção do tronco.

Os métodos de cubagem de Smalian, Hohenadl (10 seções) e Huber, para todas as idades em estudo, apresentaram tempos de cubagem intermediária aos demais, com médias variando entre 70,7 a 90,8 segundos.

5.3.1 Análises estatísticas dos tempos de cubagem

Os dados apresentaram normalidade pelo teste de normalidade de Bartlett. Desde modo, foi realizado o teste de análise de variância para verificar que há diferença entre os tratamentos para as três idades estudadas (Tabela 15).

Tabela 15 - Análise de variância para o tempo, nas idades de 9, 13 e 20 anos.

Idade	ANOVA					
	Fontes de variação	G. L	S. Q.	Q. M.	F Calc.	F Tab. (5%)
9 anos	Tratamentos	7	20343,61	29343,61	175,754	2,05
	Resíduo	248	36229,88	166,96		
	Total	255	248852,03			
13 anos	Tratamentos	7	488028,47	69718,35	303,97	2,05
	Resíduo	264	52982,03	229,36		
	Total	271	6,10459			
20 anos	Tratamentos	7	534856,91	76408,13	259,815	2,05
	Resíduo	248	63816,91	294,09		
	Total	255	638911,23			

Idade 9 anos: C.V. % = 16,52, Média geral = 78,21; Idade 13 anos: C.V. % = 16,65, Média geral = 90,94; Idade 20 anos: C.V. % = 17,80, Média geral: 96,32.

Fonte: o autor.

Pela análise de variância pode-se verificar que houve diferença significativa entre os tratamentos em todas as idades. Portanto, foi realizado teste de média de Tukey para verificação das diferenças entre as médias dos tratamentos (Tabelas 16).

Tabela 16 - Teste de comparação de médias dos tratamentos em relação ao tempo, para as idades de 9, 13 e 20 anos.

Método de cubagem	Tempo médio de cubagem (segundos) por idade		
	9 anos	13 anos	20 anos
Hohenadl (5 seções)	46,8 a	49,3 a	50,7 a
FAO	58,9 b	61,3 b	67,8 b
Seccional Padrão	60,9 bc	62,0 b	67,4 b
Huber	70,7 cd	81,3 c	79,1 bc
Hohenadl (10 seções)	72,1 d	83,2 c	87,2 c
Smalian	73,4 d	85,2 c	90,8 c
Newton	100,1 e	113,3 d	121,9 d
19 Seções	142,7 f	192,0 e	205,5 e

*mesma letra não difere significativamente ao nível de 5% de significância; letras diferentes difere significativamente ao nível de 5% de significância.

Fonte: o autor.

Para todas as idades, o método de Hohenadl (5 seções) foi o que apresentou melhor média, com menor gasto de tempo por árvore, diferindo significativamente dos outros métodos. Em seguida aparecem os métodos da FAO e Seccional Padrão, não diferindo suas médias entre si.

Os métodos de Smalian, Hohenadl (10 seções) e Huber, em todas as idades, não diferem seus tempos de medições. Considerando a demanda de tempo, o uso de um ou outro método irá depender da precisão ou do hábito do mensurador.

Já os métodos de Newton e 19 seções foram os que demandaram maior tempo para suas execuções, diferindo significativamente em relação aos outros métodos e entre si.

Segundo Silva (1977), os métodos de Newton, Smalian e Huber apresentam resultados precisos na determinação de volumes individuais, embora Huber e Smalian sejam mais empregados para tal finalidade em razão de rapidez e agilidade na realização da cubagem das árvores. Quando um método de cubagem mais simples apresenta bons resultados na determinação do volume observado, são normalmente muito utilizados em empresas florestais, pois diminuem significativamente o tempo de trabalho.

Ao se conhecer a eficiência dos métodos de cubagem para as determinadas situações, o uso de um ou de outro método irá depender muito do tempo disponível para execução do trabalho. Machado e Figueiredo Filho (2009) apontam que os métodos de Smalian, Newton e Huber como os mais empregados por empresas florestais de todas as partes do planeta, principalmente pelas facilidades de usos que os mesmos apresentam.

Husch et al. (1982) destaca que o método de Newton é muito eficiente, independentemente das formas que uma seção pode assumir. Entretanto, Schreuder et al. (1993) afirma que seu uso não tem sido frequente, devido sua exigência de medição do maior número de diâmetros, sendo mais indicado para trabalhos de pesquisa.

5.4 AJUSTE DO POLINÔMIO DE QUINTO GRAU PARA ESTIMATIVA DO VOLUME

Analisando as estatísticas obtidas com o ajuste do polinômio de quinto grau, com os dados de cada um dos métodos de cubagem, observa-se que os coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) foram semelhantes entre os métodos, no entanto, diferentes entre as idades, principalmente

nas idades de nove e treze anos em relação a de vinte anos (Tabela 17). O coeficiente de determinação apresenta tendência decrescer com o aumento da idade.

Tabela 17 - Coeficientes e estatísticas do polinômio de quinto grau ajustado para os dados de volume obtido com os diferentes métodos de cubagem para as idades de 9, 13 e 20 de *Pinus taeda* (Continua).

Idade	Método de Cubagem	R^2_{aj}	S_{yx} (%)	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
9 anos	Relativo 19 seções	0,969	6,84	1,254	-3,754	14,761	-32,61	31,953	-11,59
	Hohenadl 10 seções	0,965	7,34	1,175	-2,194	6,094	-12,85	12,185	-4,401
	Hohenadl 5 seções	0,965	7,26	1,016	0,252	-5,648	11,904	-11,55	4,035
	Método da FAO	0,996	7,17	1,208	-2,705	8,689	-17,89	16,235	-5,532
	Newtom	0,962	7,70	1,272	-3,781	14,033	-29,08	26,604	-9,022
	Smalian	0,996	6,98	1,292	-4,042	15,567	-33,17	31,391	-11,03
	Huber	0,995	7,65	1,163	-1,998	5,089	-10,22	8,945	-2,965
	Seccional Padrão	0,995	7,48	1,051	-0,229	-3,656	8,285	-8,664	3,217
13 anos	Relativo 19 seções	0,901	8,77	1,181	-3,085	12,595	-26,85	24,486	-8,321
	Hohenadl 10 seções	0,892	9,17	1,103	-1,623	4,559	-8,478	5,990	-1,541
	Hohenadl 5 seções	0,878	9,59	1,100	-1,448	3,943	-8,174	6,715	-2,136
	Método da FAO	0,883	9,42	1,136	-2,013	6,703	-13,91	12,062	-3,973
	Newtom	0,866	10,25	1,186	-2,952	11,404	-23,48	20,623	-6,765
	Smalian	0,856	10,34	1,203	-3,295	13,481	-28,60	26,087	-8,867
	Huber	0,872	10,16	1,121	-1,738	4,743	-8,409	5,650	-1,357
	Seccional Padrão	0,897	9,01	1,105	-1,537	3,444	-4,974	1,809	0,156

Tabela 17 - Coeficientes e estatísticas do polinômio de quinto grau ajustado para os dados de volume obtido com os diferentes métodos de cubagem para as idades de 9, 13 e 20 de *Pinus taeda* (Conclusão).

Idade	Método de Cubagem	R ² _{aj}	S _{yx} (%)	β ₀	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄	β ₅
20 anos	Relativo 19 seções	0,724	11,87	1,135	-2,860	12,056	-26,389	24,760	-8,709
	Hohenadl 10 seções	0,725	11,79	1,069	-1,542	4,700	-9,448	7,626	-2,407
	Hohenadl 5 seções	0,697	12,92	1,027	-0,741	0,113	1,471	-3,830	1,959
	Método da FAO	0,721	12,35	1,087	-1,690	4,736	-8,133	5,109	-1,110
	Newtom	0,722	12,02	1,126	-2,433	8,933	-17,86	14,978	-4,735
	Smalian	0,756	11,32	1,141	-2,676	10,171	-20,59	17,691	-5,729
	Huber	0,705	12,48	1,089	-1,789	5,555	-10,40	7,679	-2,121
	Seccional Padrão	0,724	11,88	1,041	-0,970	1,398	-1,578	-0,651	0,762

Fonte: o autor.

O erro padrão relativo (S_{yx}%) das estimativas também apresentou semelhanças entre os métodos de cubagem e diferenças entre as idades. Apresentou tendência em aumentar com a idade, sugerindo aumento da dispersão dos resultados com o aumento da idade.

No povoamento de nove anos o R²_{aj} foi bem semelhantes entre os métodos de cubagem, variou de 0,962 a 0,996, representando um bom ajuste. O erro padrão da estimativa (S_{yx}%) foi semelhante para todos os métodos de cubagem nesta idade, com leve destaque para os métodos de Smalian e 19 seções que apresentaram desvios abaixo de 7%.

Para as idades de treze e vinte anos, os coeficientes de determinação ajustados também foram bem semelhantes entre

os métodos, variando de 0,856 a 0,901 e de 0,697 a 0,756 respectivamente, com destaque para o método relativo 19 seções para a idade 13 anos e Smalian para vinte anos.

Para a idade treze anos o método relativo de 19 seções apresentou o menor erro padrão de estimativa (8,767%). Para a idade de vinte anos o erro padrão da estimativa foi bem semelhante entre os métodos de cubagem, variando de 11,319 a 12,921%, com ligeira vantagem para o método de Smalian (11,319%).

Contrariando os resultados encontrados nos estudos de Friedl (1989) sobre dinâmica do fuste de árvores de *Araucaria angustifolia*, neste estudo não houve tendência de melhoria do ajuste com aumento da idade. Este autor afirma que a precisão do ajuste de afilamento apresenta uma leve tendência de melhoria com a idade.

Teo et al. (2013) em estudo com finalidade de ajustar e selecionar modelos de afilamento para estimar diâmetros a várias alturas e volume total, com e sem casca, de árvores de *Pinus elliottii* Engelm, verificaram que o aumento da idade não melhorou os ajustes das funções de afilamentos.

A distribuição gráfica dos resíduos para cada método de cubagem e para cada idade é apresentada nas Figuras 18, 19 e 20. Observa-se que os resultados obtidos nas três idades em estudo apresentam uma leve tendência em subestimar o volume das árvores nas menores classes de diâmetro e superestimar nas maiores classes.

Na distribuição de resíduos para o povoamento de nove anos verifica-se, que os métodos de Hohenadl (5 e 10 seções) apresentam resultados mais desuniformes em comparação com os outros métodos. Para os métodos de Smalian e Newton percebeu-se um comportamento mais uniforme dos resíduos. Já para a idade de treze anos, os resultados encontrados pelos métodos de cubagem apresentam semelhanças entre si quanto à dispersão dos resíduos.

Na idade de vinte anos, em todos os métodos de cubagem, os resíduos apresentaram comportamento menos uniformes em relação às outras duas idades em estudo. Nesta idade, as distribuições de resíduos para os métodos de Smalian e Seccional Padrão foram levemente mais homogêneas que os demais métodos de cubagem.

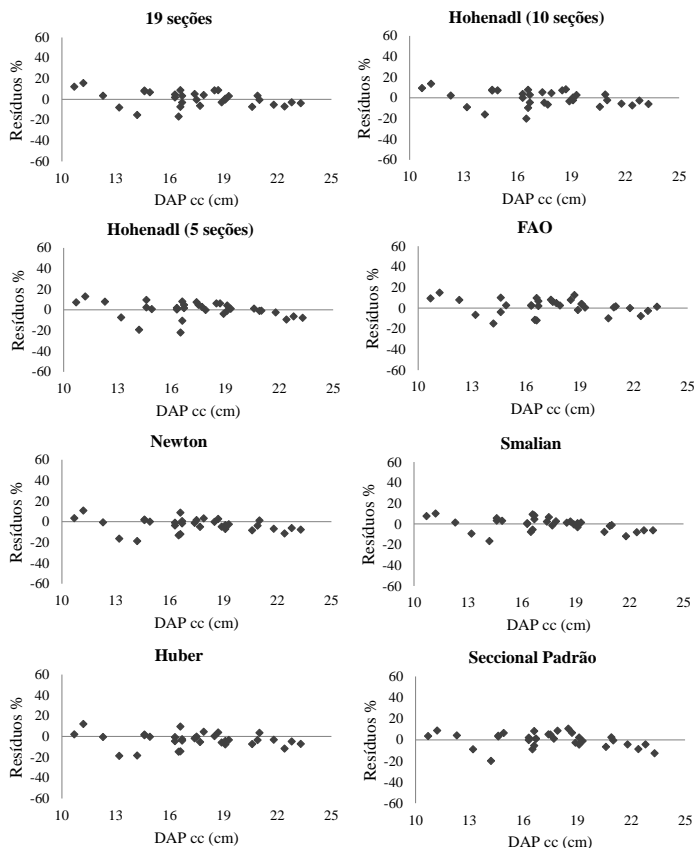
Com base no coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão de estimativa ($S_{xy}\%$) e dispersão dos resíduos, mesmo apresentando semelhanças nos resultados dentro de cada idade, os métodos de 19 seções e Smalian apresentaram os melhores ajustes da função de afilamento para a idade de nove anos. Na idade de treze anos o método de 19 seções se sobressai em relação aos demais métodos com melhor ajuste para determinação do volume. Já na idade de vinte anos os métodos não apresentaram um bom ajuste, mas o método de Smalian apresentou uma leve superioridade em relação aos outros métodos de cubagem.

Os resultados do ajuste do polinômio de quinto grau para determinação do volume total, empregando diferentes métodos de cubagem, são alterados principalmente com o aumento da idade. Burger et al. (1980) avaliaram 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, com diminuição do afilamento das árvores.

No presente estudo para os povoamentos de menores idades, o método relativo de 19 seções se sobressaiu aos demais métodos. É uma característica dos métodos relativos que quanto maior a altura das árvores, mais longas serão as seções de medição ao longo do fuste. Em povoamentos mais jovens, com alturas inferiores, o comprimento das seções de medição são menores, assim o método relativo de 19 seções

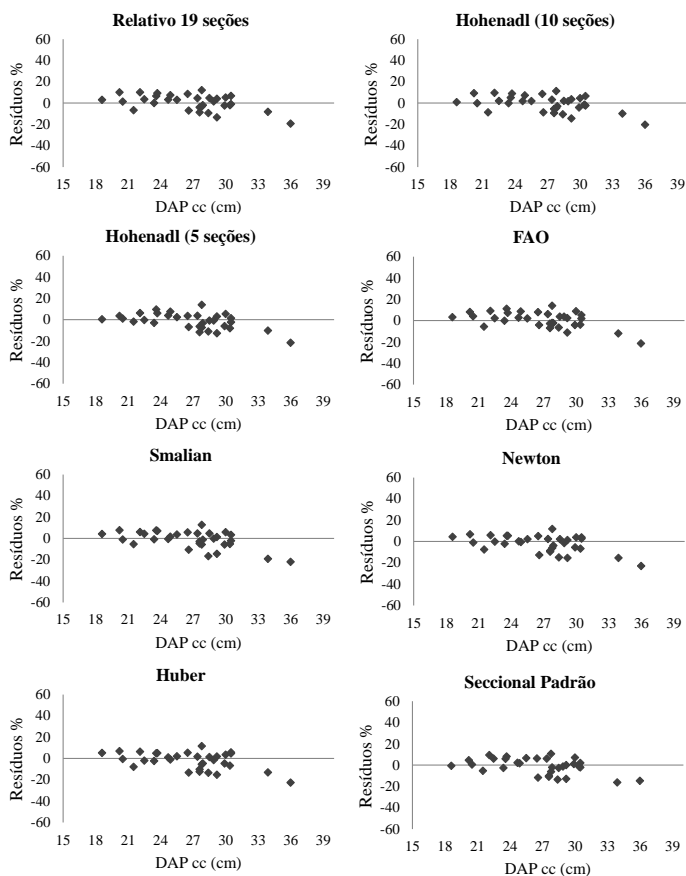
resulta em mais medições ao longo do fuste que os métodos absolutos, consequentemente o fuste fica melhor representado.

Figura 18 - Resíduos das equações de afilamento ajustadas por método de cubagem para a idade de 9 anos de *Pinus taeda*.



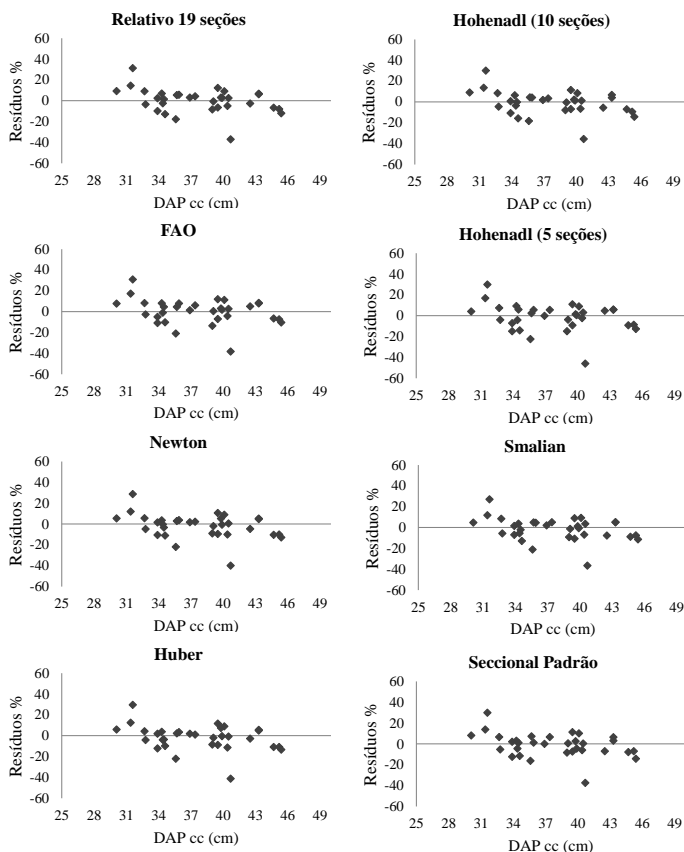
Fonte: o autor

Figura 19 - Resíduos das equações de afilamento ajustadas por método de cubagem para a idade de 13 anos de *Pinus taeda*.



Fonte: o autor.

Figura 20 - Resíduos das equações de afilamento ajustadas por método de cubagem para a idade de 20 anos de *Pinus taeda*.



Fonte: o autor.

Observa-se superestimativa do volume nas maiores classes de diâmetro, esse resultado confirma os argumentos de Assis et al. (2001), que recomendam que os ajustes de afilamento devem levar em consideração as classes diamétricas das árvores. Fischer et al. (2001) alegam que, além das classes de diâmetro, as regiões e os sítios também influenciam na estimativa do perfil do tronco.

O método de cubagem que apresenta o melhor ajuste não necessariamente apresentará a melhor precisão na estimativa do volume das árvores. Na Tabela 18 pode-se observar o volume das árvores obtido com os métodos de cubagem, o volume estimado pelo polinômio e o volume real determinado pelo xilômetro para cada idade em estudo.

Em todas as idades, os métodos relativos de 19 seções e FAO foram os únicos métodos que subestimaram o volume estimado pelo polinômio de quinto grau em relação ao volume observado (calculado pela fórmula do método de cubagem).

Na idade de nove anos, o método Seccional Padrão foi o mais preciso, tanto no volume obtido pelo método de cubagem quanto o volume estimado pelo polinômio, com superestimativa do volume de 0,78% e 1,42% respectivamente, comparando com o volume obtido pelo xilômetro. O método de relativo de 19 seções apresentou o melhor ajuste para esta idade, no entanto, sua precisão na estimativa do volume em relação ao xilômetro não foi satisfatória, superestimando o volume em 3,86% em relação ao volume real. Já o método de Huber foi o mais preciso para o cálculo do volume, com média de 0,1403 m³, porém o seu emprego no ajuste do polinômio estimou o volume médio com valor médio de 0,1448 m³, superestimando o volume em 3,5% em relação ao xilômetro.

Na idade de treze anos, houve maior superestimativa do volume calculado pelos métodos de cubagem e estimado pelo polinômio de quinto grau. O método de Huber e Seccional Padrão foram os mais precisos na determinação do volume, porém quando empregados para o ajuste do polinômio o método de Huber superestimou o volume em 11,2% e o método seccional padrão superestimou em 9,48%.

Na idade de vinte anos os resultados, tanto do volume obtido pelo método de cubagem quanto o volume estimado pelo polinômio foram similares, superestimando os volumes, porém o método de Hohenadl (5seções) obteve melhores resultados.

Tabela 18 - Comparação do volume médio obtido pelo método de cubagem com a estima do volume médio da função de afilamento em relação ao volume médio obtido pelo xilômetro, por idade.

Idade (anos)	Método de cubagem	Volume (m³)		
		Cubagem	Estimativa	Xilômetro
9	Relativo 19 seções	0,1455	0,1453	0,1399
	Hohenadl (10 seções)	0,1431	0,1446	
	Hohenadl (5 seções)	0,1418	0,1426	
	Método da FAO	0,1492	0,1473	
	Newton	0,1427	0,1477	
	Smalian	0,1475	0,1493	
	Huber	0,1403	0,1448	
	Seccional Padrão	0,1410	0,1419	
13	Relativo 19 seções	0,4785	0,4783	0,4310
	Hohenadl (10 seções)	0,4709	0,4754	
	Hohenadl (5 seções)	0,4709	0,4792	
	Método da FAO	0,4835	0,4814	
	Newton	0,4707	0,4831	
	Smalian	0,4766	0,4847	
	Huber	0,4677	0,4793	
	Seccional Padrão	0,4652	0,4719	
20	Relativo 19 seções	1,4183	1,4125	1,3603
	Hohenadl (10 seções)	1,4012	1,4096	
	Hohenadl (5 seções)	1,3881	1,3979	
	Método da FAO	1,4221	1,4089	
	Newton	1,3995	1,4199	
	Smalian	1,4048	1,4213	
	Huber	1,3945	1,4155	
	Seccional Padrão	1,3940	1,4033	

Fonte: o autor.

6 CONCLUSÕES

Em geral, o método de Huber obteve precisão satisfatória na determinação do volume nas três idades em estudo, diferindo estatisticamente do xilômetro apenas na idade de treze anos, onde nenhum método apresentou igualdade significativa, no entanto, quando utilizado no ajuste do polinômio de quinto grau não se sobressaiu em relação aos demais métodos.

O método Seccional Padrão se destacou pela boa precisão na determinação do volume nas três idades, além de apresentar, pelo polinômio do quinto grau, melhor precisão na estimativa do volume em relação ao volume determinado na xilometria.

Os métodos de Smalian, de 19 seções e da FAO foram os que apresentaram os piores resultados em relação a xilometria, no entanto, os dois primeiros métodos se destacaram no ajuste do polinômio de quinto grau para determinação do volume.

Os dados obtidos com o método de cubagem de Smalian proporcionaram um melhor ajuste do polinômio de quinto grau na idade de vinte anos. Para as idades de nove e treze anos, os melhores ajustes foram os que utilizaram dados obtidos com o método de cubagem relativo 19 seções.

Na avaliação do tempo de cubagem, o método de Hohenadl (5 seções), juntamente com os métodos da FAO e Seccional Padrão, destacaram-se por apresentar menor demanda de tempo. Os métodos de 19 seções e Newton foram o que exigiram maior demanda de tempo para suas execuções.

Tanto o método de Huber quanto o método Seccional Padrão apresentaram volumes calculados bem próximos ao volume verdadeiro determinado na xilometria, além de apresentar um tempo gasto para realização da cubagem bem próxima dos métodos que obtiveram os menores tempos de cubagem.

7 RECOMENDAÇÕES

O uso do método de Huber é recomendável para ajustes de equações de volume para determinar a estimativa do volume da floresta.

Para verificar a forma do perfil do fuste é recomendável utilizar o método relativo de 19 seções. Para estimativa do volume da floresta por sortimento, o método Seccional Padrão é mais preciso.

Por fim, é necessário muito cuidado quanto à seleção no método de cubagem, pois a finalidade do trabalho é um fator determinante que influenciará na escolha no melhor método a ser utilizado.

REFERÊNCIAS

AHRENS, S. Funções de Forma: sua conceituação e utilidade. In: V SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 1982, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1982, p.7-13.

AMBIFLORA EMPREENDIMENTOS FLORESTAIS E AMBIENTAIS. Mudas florestais 2012. Disponível em: http://www.ambiflorasul.com.br/mudas_florestais.html. Acesso em: 14 dez. 2014.

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.

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; OLIVEIRA, A. D. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p. 20-40, 2001.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011**. 145 p. Brasília, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012**. 142 p. Brasília, 2013.

BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISA, H. J.; O, J.; FERREIRA, M. Estudo de procedência de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF**: Piracicaba, v. 15, p. 1-4, 1970.

BATISTA, J. L. F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V. M. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no Estado de São Paulo e sul do Estado do Rio de Janeiro. **Scientia Florestalis**, n. 65, p.162-175, jun. 2004.

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no Município de Rio Vermelho, MG - Viçosa**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Viçosa, 1996.

BOGNOLA, I. A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A.; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, p. 373 – 385, abr./jun. 2008.

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.

BREPOHL, D. O reflorestamento com incentivos fiscais no Estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 62-66, 1980.

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, 1980. p. 320-329.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa.** 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

CAMPOS, J. C. C. **Dendrometria.** Viçosa: UFV, 1988. 43p.

CARDOSO, R. M. **Comparação entre o modelo volumétrico de Schumacher & Hall e fatores de forma para estimativa do volume individual de árvores de florestas nativas do estado de Rondônia.** 28 f. Monografia (Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas/Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

CLUTTER, J. L. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. **Forest Science**, Washington , v. 26, n. 1, p.117-120, Mar. 1980.

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.

CONRADO, V. N.; SOUZA, G. S. A.; MARTINS, B. F.; QUINTO, V. M.; SILVA, E. **Potencialidades da silvicultura em mosaico nas zonas de amortecimento de unidades de conservação.** 2014; Tema: Avanço e Pesquisa. Disponível em:

http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/d_e_e_14799.pdf.

Acesso em: 25 de jan. de 2015.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 33-44, dez. 1987.

DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, Washington, v. 18, n. 3, p. 241-245, 1972.

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).

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.; MACHADO, S. A.; CARNEIRO, M. R. A. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 30, n. 6, p. 990-997, June 2000.

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.

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.

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

GOMES, A. M. A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957, 413p.

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

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2. ed., New York: John Wiley & Sons, 1972. 410p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: Ronald, 1982, 402 p.

Instituto Brasileira de Geografia e Estatística - IBGE. **Cidades infográficas de Santa Catarina**. 2014. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=420165&search=%7Carvoredos>. Acesso em: 14 dez. 2014.

KEEPERS, C. A. H. New method of measuring the actual volume of wood in stacks. **Journal of Forestry**, v. 43. p. 16-22. 1945.

KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *pinus taeda* nos estados do**

Paraná e Santa Catarina. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KOZAK, A.; MUNRO, D. P.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in forest inventory. **Forest Chronicle**, Toronto, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

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

LACHINI, E. **Efeito da Idade na Estimativa do Volume de árvores de Pinus caribaea var. hondurensis e Pinus oocarpa.** 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

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

LOESTSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. Foresty inventory. *München: BLV. Verlagsgesellschaft*, v. 2, 469p. 1973.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** 2. ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009.

MACHADO, S. A.; TÉO, S. J.; URBANO, E.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para bracatinga (*Mimosascabrella* Benth). **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 239-253, 2006.

MACHADO, S. A.; NADOLNY, M. C. Comparação de métodos de cubagem de árvores e de diversos comprimentos de seção. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3., 1991, Curitiba. **Anais...** Curitiba: APEF, v. 1, p. 89-104. 1991.

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.

MAX, T. A.; BURKHART, H. E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, Washington, v. 22 n. 3, p. 283-289, sept. 1976.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; ARCE, J. E.; MAESTRI, R. Avaliação de um sistema para otimização do sortimento de *Eucalyptus sp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 247-258, abr.-jun., 2008.

MONTAGNA, R. G.; YAMAZOC, G. Utilização da madeira de pequenas dimensões. **Silvicultura**, São Paulo, v.2, n.14, p.178-179, 1978.

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.

MOURA, J. B. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia Brasileira.** 114f. Dissertação (Mestrado em

Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

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.

MUNIZ, M. V. O. **Equação de volume para *Tibouchina granulosa* Cogn. na área de implantação do gasoduto Cabiúnas-Reduc (GASDUC III).** 40f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas/Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, O. M. **Verificação da acurácia do método de Pressler na estimativa do volume de árvores em pé.** 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; FERNANDES, J. S. C.; RESENDE, M. D. V. Avaliação e seleção precoce para crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.12, p. 1719-1726, 2002.

PÉLLICO NETTO, S. Equivalência volumétrica: uma nova metodologia para estimativa do volume de árvores. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 2, n.1, p. 17-30, jan./mar. 2004.

PHILLIPS, D. R.; TARAS, M. A. Accuracy of log volume estimates by density and formulas compared with water displacement. **Forest Products Journal**, Morgantown, v. 37, n. 10, p. 37-42, Oct. 1987.

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. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, abr./ jun. 2008.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 135-166, 2000.

PRODAN, M. **Holzmesselehre**. Frankfurt am mains J.D. Souerlanders Verlag, 1965. 644p.

RICHARDSON, D. M.; RUNDEL, P. W. Ecology and biogeography of pinus: an introduction. In: RICHARDSON, D. M. (Ed.). **Ecology and biogeography of Pinus**. New York: Cambridge University Press. Cambridge, p.1-48, 1998.

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.

SCHOEPPER, W. Autimatisierung des Massen, Sorten and Wertberechnung stenender Waaldbestande Schriftenreihe Bad. [S.I.]: Wurt-Forstl., 1966. n.p

SCHREUDER, H. T.; GREGOIRE, T. G.; WOOD, G. B. Sampling Methods for Multiresource **Forest Inventory**. John Wiley & Sons, Inc. New York. 446 p. 1993.

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*. **Cerne**, Lavras, v. 4, n.1, p. 100-122, 1998.

SCOLFORO, J. R.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Mensuração florestal** – modulo II: volumetria. Lavras, ESALQ, 1993, 126p.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal**: medição e volumetria de árvores. Lavras: UFLA/ FAEPE, 1998. 310p.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 310p.

SILVA, J. A. A.; PAULA NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, 1979. 191p.

SILVA, J. A. A. Análise de equações volumétricas para construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp., segundo a espécie, região e método de regeneração. 93f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

SOARES, C. P. B., NETO, F. P., SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa. Ed. UFV, 2006. 276p.

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.

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

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; DEHON, G. Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 167-181, 2006.

THIERSCH, C. R. **Uma nova proposta metodológica para cubagem rigorosa e ajuste de modelos hipsométricos**. 90f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, 2007.

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**, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

TOMÉ, M.; TOMÉ, J.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Equação de volume total, volume percentual e de perfil do tronco para *Eucalyptus globulus* LABILL. em Portugal. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 25 - 39, 2007.

YOUNG, H. E.; ROBBINS, W. C.; WILSON, S. Errors in volume determination of primary forest products. **Pulp & Paper Magazine**, Quebec, v. 68, 1967.