

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - PECCA
MBA EM GESTÃO FLORESTAL

CARLA TALITA PERTILLE

**COMPARAÇÃO DA ESTIMATIVA DE VOLUME DE *Pinus taeda* L. ENTRE
EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA E FATOR DE FORMA POR CLASSE DIAMÉTRICA**

CURITIBA
2017

CARLA TALITA PERTILLE

**COMPARAÇÃO DA ESTIMATIVA DE VOLUME DE *Pinus taeda* L. ENTRE
EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA E FATOR DE FORMA POR CLASSE DIAMÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do título de MBA em Gestão Florestal.

Orientador (a): Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

CURITIBA

2017

RESUMO

O inventário florestal é a base do planejamento florestal, por meio dele é possível saber os quantitativos e qualitativos de povoamentos florestais, sendo o volume uma das principais variáveis a ser obtida. Nesse contexto, esta pesquisa objetivou comparar a estimativa de volume individual de fuste de *Pinus taeda* L. entre equação volumétrica e fator de forma por classe diamétrica. Os dados foram coletados de um povoamento de *Pinus taeda* L. localizado na região central do Paraná. Os fustes das árvores foram cubados por meio do método de Smalian e utilizados nos ajustes dos modelos de equação volumétricas e nos cálculos do fator de forma por classe diamétrica. Para fins de comparação, foi utilizado como parâmetro a cubagem de Smalian e analisada por meio da estatística descritiva. A seleção da melhor equação volumétrica ajustada foi realizada com base nos critérios de coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), erro padrão da estimativa em percentagem ($Sy_x\%$) e análise gráfica de resíduos. As estimativas de volumes obtidas em cada método (método de cubagem de Smalian, método da equação de volume ajustada e método do fator de forma) foram avaliadas a partir do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para verificar se há diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Dos modelos de equação volumétrica testados, o que apresentou o melhor ajuste foi o modelo de Schumacher-Hall. Na comparação entre a estimativa de volume da melhor equação volumétrica ajustada e do fator de forma, o teste de Kruskal-Wallis demonstrou que não existe diferença significativa entre os métodos testados. Contudo, com base na análise gráfica dos resíduos pode-se eleger o método de equações volumétricas de Schumacher-Hall como o melhor modelo na estimativa do volume desse povoamento.

Palavras-chave: inventário florestal, dendrometria, volume, modelos.

ABSTRACT

Forest inventory is the basis of forest planning, through which it is possible to know the quantitative and qualitative of forest stands, with volume being one of the main variables to be obtained. In this context, the objective of this research was to compare the estimate of individual stem volume of *Pinus taeda* L. between volumetric equation and shape factor per diameter class. The data were collected from a *Pinus taeda* L. settlement located in the central region of Paraná. The tree shafts were cubed by the Smalian method and used in the adjustments of the volumetric equation models and in the calculations of the form factor by diameter class. For purposes of comparison, the Smalian cube was used as the parameter and analyzed using descriptive statistics. The selection of the best adjusted volumetric equation was performed on the basis of the adjusted coefficient of determination (adjusted R^2), standard error of the percentage estimation ($Syx\%$) and graphical analysis of residues. The volume estimates obtained in each method (Smalian cubing method, adjusted volume equation method and shape factor method) were evaluated from the nonparametric Kruskal-Wallis test to verify if there were statistically significant differences between the treatments. Of the models of volumetric equation tested, what presented the best fit was the Schumacher-Hall model. In the comparison between the volume estimate of the best adjusted volumetric equation and the form factor, the Kruskal-Wallis test showed that there is no significant difference between the methods tested. However, based on the graphical analysis of the residues, the Schumacher-Hall method of volumetric equations can be chosen as the best model in the estimation of the volume of these stands.

Keywords: Forest inventory, dendrometry, volume, models.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1. CONTEXTO E PROBLEMA	7
1.2. PINUS	8
1.3. DENDROMETRIA	9
1.3.1. Volume	10
1.3.1.1. Cubagem Rigorosa	12
1.3.1.2. Fator de forma	13
1.4. OBJETIVOS	15
1.4.1. Objetivo geral	15
1.4.1.1. Objetivos específicos	15
1.5. JUSTIFICATIVA	16
2 METODOLOGIA	17
2.1. ÁREA DE ESTUDO	17
2.2. COLETA DE DADOS	17
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4 CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO E PROBLEMA

No auxílio da tomada de decisão, o inventário florestal tem como uma das principais funções, a estimativa do estoque de madeira da floresta por sortimento, a fim de melhor conduzir a matéria-prima ao seu determinado uso (GAROSI et al., 2008; MIRANDA et al., 2015).

Todavia, a determinação direta do volume é dispendiosa, pois requer a cubagem rigorosa por métodos destrutivos ou procedimentos que demandam tempo e recursos. Apenas em algumas situações especiais, como em povoamentos florestais em área pequenas, a determinação direta do volume é considerada factível (SANQUETTA et al., 2014).

Uma importante ferramenta empregada na estimativa da quantidade de volume de um povoamento florestal são as equações volumétricas, onde seus parâmetros são determinados por meio de regressão. Nessas equações, o volume é a variável dependente, associado a variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura (SILVESTRE et al., 2014). Muitos modelos matemáticos foram desenvolvidos para a obtenção de estimativas de altura total e volume individual. Entretanto, recomenda-se testar modelos nas diferentes situações existentes dos povoamentos, abrangendo as diferentes idades, sítios, espécies, entre outras condições (MACHADO et al., 2002; MENDONÇA et al., 2015; SILVESTRE et al., 2015).

Além das equações volumétricas, outra forma de obter valores volumétricos, refere-se ao abate de árvores, processo conhecido como cubagem, método direto de estimação do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários florestais. Consiste na medição sucessiva de diâmetros ao longo do tronco, dividindo-o em seções, sendo a base para o desenvolvimento de funções matemáticas que estimam o volume de árvores em pé (CAMPOS e LEITE, 2009).

A frequência dos dados de cubagem está diretamente relacionada com a variação em diâmetro e forma das árvores da população. Para melhor atendimento dessa variação, as árvores amostra devem abranger todas as classes de diâmetro

(DAP) a partir de um diâmetro mínimo especificado, observando-se, de preferência, uma mesma frequência por classe (CAMPOS e LEITE, 2009).

Apesar do amplo uso das equações volumétricas em estimativas madeireiras, ainda é usual o emprego de uma medida denominada de fator de forma, a qual corresponde à um procedimento ainda mais simples, em que pressupõem que o volume de uma árvore pode ser calculado a partir da fórmula geométrica do cilindro reduzida pela sua conicidade, sendo expresso por um fator redutor constante. O fator de forma é uma opção metodológica a ser considerada em situações em que não há equações ajustadas disponíveis e quando se deseja dar agilidade aos cálculos que compõem o inventário. Ele fornece estimativas confiáveis, desde que haja o controle em vias de tipologia florestal, espécie e classe diamétrica (FIGUEIREDO et al., 2009).

1.2. PINUS

A partir do Código Florestal Brasileiro de 1965, foram tomadas as primeiras medidas governamentais de estímulo ao plantio de florestas, com destaque ao PIFFR – Programa de Incentivos Fiscais ao Florestamento e Reflorestamento (BACHA, 2008), sobretudo com os gêneros de *Eucalyptus* e *Pinus*. Na região sul do Brasil, áreas foram ocupadas principalmente com as espécies *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* var. *elliottii* (SHIMIZU, 1997) devido, sobretudo, à boa adaptabilidade das espécies na região.

A principal finalidade da produção madeireira dessas florestas era abastecer o setor de celulose e papel. Todavia, com as reservas de florestas naturais se esgotando ou sendo incluídas em áreas de preservação ambiental, a demanda por toras ou madeira de pinus aumentou, tanto para a produção de madeira serrada quanto para a fabricação de lâminas (OLIVEIRA, 1995). A maturação desses reflorestamentos de pinus no Brasil proporcionou um aumento substancial na oferta de madeira no país (TUOTO et al., 2004)

No Sul do Brasil, o *P. taeda* L. é uma das espécies mais plantadas (SBS, 2006). Ela apresenta rápido crescimento e alta produtividade nessa região, mesmo sem o uso de insumos. As condições de adaptação do pinus aos solos ligeiramente ácidos, que compõem a maioria dos solos do país, permitiram a implantação de extensas

áreas que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornam as espécies do gênero *Pinus* importantes fontes de matéria-prima, proveniente de plantios estabelecidos dentro de padrões de sustentabilidade (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

A madeira de pinus é responsável pela produção de diversos produtos. Dentre esses, tem-se a celulose de fibra longa não branqueada, pasta mecânica, molduras, painéis de madeira reconstituída, lâmina, madeira serrada bruta e beneficiada, madeira bruta seca em estufa, móveis e pré-cortado para móveis, laterais de gavetas, entre outros (SCHUCHOVSKI, 2003).

O plantio de árvores no Brasil é uma atividade econômica importante com impacto significativo no campo social. Atualmente, os plantios de pinus no país atingem uma produtividade média de $31 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, e ocupam 1,59 milhão de hectares (IBÁ, 2015). Conforme Dobner Jr. et al. (2012), o objetivo da maioria desses plantios é produzir toras de médias e grandes dimensões. Os ciclos produtivos curtos estão relacionados a decisões silviculturais que, por sua vez, são cada vez mais baseadas em indicadores financeiros.

1.3. DENDROMETRIA

Dendrometria é uma palavra que tem sua origem do Grego *dendron* que significa árvore e *metria* vinda do Latim que significa medida. A partir deste conceito primitivo de medir árvore, os estudos e ciência foram se desenvolvendo e expandindo, ganhando uma maior abrangência (CUNHA, 2004).

Entre as medidas das dimensões que são obtidas através da dendrometria, pode-se citar o volume, diâmetro a altura do peito (DAP), que estão envolvidas nas relações diamétricas, relações hipsométricas, diâmetro com ou sem casca, bem como análise do crescimento e produção de uma árvore ou povoamento (MACHADO, 2009).

O diâmetro de uma árvore é considerado a variável mais importante em uma mensuração. Pois esta medida básica é necessária para cálculos de área basal, volume, crescimento, cálculo de quociente de forma. O diâmetro a altura do peito (DAP) é uma variável muito utilizada e se obtém ela a 1,30m em relação ao solo (MACHADO, 2009).

A palavra estrutura significa a distribuição, disposição ou organização das partes de um todo. Em se tratando de uma floresta, a estrutura diz respeito às árvores e como elas se distribuem no espaço e nas diferentes classes de tamanho. Dessa forma, a distribuição diamétrica trata da disposição das árvores com relação às posições de maior ou menor diâmetro em uma floresta, caracterizando-se pelo agrupamento das árvores em classes de diâmetro à altura do peito (DAP), a qual, conforme Loetsch et al. (1973), podem ser representadas na forma de tabela, histograma de frequências ou de um modelo, nesse último caso, as Funções de Densidade Probabilísticas (FDP).

A área transversal (g) de uma árvore é a área ocupada por um fuste de árvore a altura de 1,30m em relação ao terreno. A área transversal é utilizada como uma variável independente na estimativa do volume por unidade. A área basal é obtida através da somatória das áreas transversais de uma unidade de área. A área basal pode expressar a densidade do povoamento, e como a densidade é importante no desenvolvimento das árvores, a área basal também é utilizada na predição de crescimento e produção de florestas (MACHADO, 2009).

A altura de uma árvore é definida como a distância linear entre o solo e o topo da mesma. Esta variável é muito importante para cálculos de volume e incrementos em altura. Existe vários tipos de altura: altura total (constitui a altura do solo ao topo da árvore), altura comercial (é a altura do fuste a partir do corte, até um ponto acima, sendo este ponto definido por diâmetro mínimo, ou limitações, como tortuosidade, bifurcações ou galhos), altura de copa (é compreendida como a altura entre o topo e a base da copa da árvore) (CUNHA, 2004).

1.3.1. Volume

Para florestas plantadas com fins comerciais, o volume é visto como a informação principal. E medir todas as árvores de uma floresta, normalmente é impraticável, devido à demora e extensão das florestas, portanto normalmente são estimadas através do uso de amostragem (MACHADO, 2009).

Para a estimativa do volume individual, o procedimento de maior uso é o emprego de equações em que o volume é a variável dependente, associado as

variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro a altura do peito e a altura (MACHADO et al., 2002).

Uma maneira lógica de expressar o crescimento e a produção florestal é através de um modelo, sendo que este pode ser caracterizado por gráficos, tabelas, equações ou um conjunto de submodelos, cada qual com uma ou mais equações. Os modelos volumétricos são utilizados para estimar o volume de árvores individuais do povoamento. Para ajustar tais modelos, devem-se selecionar árvores que representem adequadamente as variações existentes no povoamento. Posteriormente, elegem-se os modelos que serão testados, a fim de selecionar aquele que apresentar melhor desempenho (FREESE, 1960).

Para se obter o volume, é necessário estimar os coeficientes do modelo, e para estimá-los devem ser obtidos os dados a partir de árvores cubadas segundo uma das fórmulas tradicionais: Smalian, Huber, Newton. Nesses procedimentos, serão medidos diâmetros a diversas alturas. O número de árvores a serem cubadas, dependerá da homogeneidade do povoamento, da espécie e analogamente, quanto mais heterogêneo o volume, maior o número de árvores. É recomendado cubar um número de árvores suficientes que cubram toda a variação de sítios, classes de idade, de diâmetros e de alturas, para que a equação seja válida (SCOLFORO, 1993).

Segundo Campos e Leite (2002), os volumes dos fustes podem ser obtidos por meio dos fatores de forma, método dos dois diâmetros e da relação hipsométrica associada a uma equação de volume, o que propicia estimativas precisas e com menores custos, quando comparados com as equações que tem como variáveis independentes o diâmetro e a altura. O volume pode ser estimado através de funções de volume, com modelos de simples, dupla e tripla entrada. A equação de volume para árvores individuais é a mais utilizada (SCOLFORO, 1988).

Segundo Schneider et al. (1988), a escolha da melhor equação de volume deve ser isenta de critérios pessoais, devendo ser baseada nos valores calculados de coeficiente de determinação, erro padrão residual, distribuição uniforme dos valores residuais, alertando ainda que a distribuição residual é a mais importante é criteriosa estatística a ser avaliada. Uma vez que se verifica tendenciosidade na referida dispersão todas as demais estatísticas devem ser abandonadas e o modelo descartado, corroborando assim com o postulado de Drapper e Smith (1980).

A vantagem das equações de volume é o cálculo de volume sólido, árvore a árvore, através de modelos matemáticos, especialmente testados para apresentar os menores erros possíveis.

1.3.1.1. Cubagem Rigorosa

A medição de todas as árvores de uma floresta com a finalidade de conhecer seus volumes é, muitas vezes, uma tarefa impraticável. Por isso, quase sempre, ela é inventariada por amostragem. E sendo a árvore um sólido irregular, como afirma Machado e Figueiredo Filho (2009), seu volume pode ser determinado analiticamente, por meio da cubagem rigorosa.

As árvores podem ser mensuradas por meio de dois métodos de cubagem rigorosa: absolutos e relativos: os métodos absolutos não apresentam vínculo com o comprimento do fuste. Nos métodos relativos, as posições de mensuração são tomadas de maneira a representar um percentual do comprimento total da árvore, possibilitando a confrontação e comparação dos volumes individuais de árvores de portes distintos, porém com a mesma forma (FIGUEIREDO, 2005).

A partir do estudo da forma das árvores, Soares et al. (2006) citam que algumas expressões matemáticas foram desenvolvidas para a determinação do volume com ou sem casca das árvores, entre elas: Huber, Smalian e Newton. As três expressões propiciam estimativas volumétricas diferentes. No entanto, quanto menor o comprimento da seção, menor a diferença entre as estimativas.

Segundo Machado e Filho (2009) outras fórmulas surgiram posteriormente, como as de Newton e de Hohenadl, bastante difundidas no meio florestal e sempre com a finalidade de resolver os problemas inerentes à cubagem de árvores.

A cubagem consiste na realização de mensurações sucessivas dos diâmetros ao longo do fuste. A frequência dos dados de cubagem está diretamente relacionada com a variação em diâmetro e forma das árvores do povoamento. Para melhor atendimento dessa variação, as árvores devem abranger todas as classes de diâmetro a altura do peito (DAP), a partir de um diâmetro mínimo especificado, considerando intervalos de classe diamétrica (CAMPOS e LEITE, 2002).

A cubagem implica em dividir o fuste de uma árvore em seções (toras), sucessivamente faz-se as medições dos diâmetros ao longo do tronco e emprega-se fórmulas para a obtenção do volume rigoroso ou real de uma árvore (MACHADO, 2009).

No método de cubagem por Smalian, secciona-se a árvore em várias toras (n seções), sobre as seções são mensurados os diâmetros ou circunferências com e sem casca, e o comprimento da tora (MACHADO, 2009, p. 230).

Para calcular o volume utiliza-se a fórmula:

$$v = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) * l \quad (1)$$

Onde: “v” é o volume da seção da tora (m^3), g_1 é a área transversal na base da tora (m^2), g_2 é a área transversal no topo da tora (m^2) e “l” representa o comprimento da tora (m).

E para obtenção do volume da árvore cubada, faz-se a soma dos volumes obtidos das seções e o resultado final expressa o volume real da árvore (MACHADO, 2009)

1.3.1.2. Fator de forma

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

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

O fator de forma (f) é a relação entre o volume rigoroso da árvore e o volume do cilindro, em outras palavras, é o quociente entre o volume da árvore obtido através da cubagem e o volume cilíndrico da mesma. Após a obtenção do volume realizado pela cubagem, divide-se o valor obtido pelo volume cilíndrico (V_c) da árvore que é obtido pela multiplicação da área seccional (g) da árvore pela altura (h) da mesma (FIGUEIREDO; SCHROEDER; PAPA, 2009).

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

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

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

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

forma falsos, apesar de que com eles se oculta a funcionalidade da forma do fuste (PRODAN et al., 1997).

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

O fator de forma constitui uma variável de ajuste nos cálculos de volume de uma árvore, este é obtido através da razão entre o volume real de uma árvore e o volume de um sólido geométrico. As variações na forma do tronco de uma árvore da base ao topo, em relação a diminuição de seu DAP torna a árvore não cilíndrica e faz-se necessário o cálculo desta razão para obtenção do volume real de uma árvore (SILVA e NETO, 1979).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo geral

Comparar a precisão das estimativas de volume entre fórmula genérica de cálculo de volume, melhor equação volumétrica ajustada e cubagem rigorosa dos volumes dos fustes por classe de diâmetro de árvores individuais de *Pinus taeda* L.

1.4.1.1. Objetivos específicos

- a) Calcular o fator de forma artificial para cada árvore;
- b) Analisar a estatística descritiva dos fatores de forma para cada classe de diâmetro;
- c) Calcular o volume individual a partir da fórmula genérica utilizando o fator de forma por classe diamétrica;
- d) Ajustar modelos volumétricos;

1.5. JUSTIFICATIVA

O volume é um dos dados de maior relevância para o conhecimento do potencial disponível em um povoamento florestal, pois este volume individual fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (THOMAS et al., 2006)

Em função disso, pesquisadores buscam alternativas que possibilitem estimativas da produção destes povoamentos florestais, já que a partir desta, planeja-se desde o abastecimento da indústria até a quantificação de áreas a serem plantadas, além de possibilitar cálculos de viabilidade econômica que determinam as idades de rotação nas quais se tem maior rentabilidade, o que se relaciona diretamente às receitas das empresas florestais.

Considerando a importância voltada à variável volume e conseqüentemente a obtenção do estoque volumétrico que um povoamento pode oferecer em termos de produção, percebe-se que é indispensável obter estimativas volumétricas robustas e confiáveis para auxiliar na tomada de decisões do inventário florestal. Nesse contexto, este trabalho apresenta a importância de considerar o efeito das classes de diâmetro no fator de forma dos fustes e estes nas estimativas de volume de povoamentos de *Pinus taeda* L.

2 METODOLOGIA

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido em um talhão de *Pinus taeda* L. implantado no ano de 1998 no município Telêmaco Borba, na região central do Paraná (Figura 1).



FIGURA 1 – Localização da área de estudo. FONTE: Nunes et al. (2009) modificado pela Autora (2017).

A área apresenta altitude média de 885 m e o clima, segundo a classificação de Koppen, enquadra-se como subtropical, com temperatura média do mês mais frio de 16,3°C e temperatura média do mês mais quente 23,2°C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1478 mm (REIS et al., 2006).

Na paisagem local, ocorrem três tipos de formações vegetacionais: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e pequenas manchas de Campos Naturais. O sub-bosque é dominado por samambaias, bromélias, cipós e avencas (REIS et al., 2006; BENNEMANN, 2008). O restante da área é composto por plantios de *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp. e reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, formando um mosaico de vegetação com as florestas nativas (REIS et al., 2006; BENNEMANN, 2008).

2.2. COLETA DE DADOS

Para a coleta das variáveis dendrométricas do povoamento, realizou-se inventário florestal por meio do método de área fixa com processo de amostragem sistemático. Foram alocadas parcelas retangulares de tamanho variável em função de

diferentes espaçamentos, sendo que todas as árvores contidas no interior das unidades tiveram sua circunferência à 1,30 m em relação ao nível do solo (CAP) medidas com o auxílio de uma fita métrica e também foram medidas as alturas de aproximadamente 10% das árvores contidas nas unidades além das árvores dominantes, utilizando o clinômetro de Haglof.

Posteriormente a realização do inventário, procedeu-se o cálculo da distribuição diamétrica do povoamento pelo método do desvio padrão. A definição do número de classes de diâmetros foi feita considerando dois desvios padrões a direita e a esquerda do povoamento.

Para a realização da cubagem rigorosa das árvores empregou-se o método direto de mensuração de Smalian, onde foram medidos os diâmetros ao longo do tronco nas seguintes seções: 0,02 m; 0,7 m; 1,3 m e 2 m, sendo que a partir dos 2 metros foram tomadas medidas de 2 metros em 2 metros até a altura total de cada uma das 302 árvores cubadas, para determinação do volume individual das mesmas. O cálculo do volume da última seção foi realizado através da seguinte fórmula do volume de cone, representado na Equação 2:

$$V_c = \frac{1}{3} g * l \quad (2)$$

Onde:

g = área basal do cone (m²);

l = comprimento da tora (m).

O fator de forma artificial de cada árvore foi obtido pela razão entre o volume real, obtido pela cubagem de Smalian, e o volume do cilindro utilizando o diâmetro na altura de 1,30 m para o cálculo da área transversal do cilindro, conforme a Equação 3. Calculou-se a média aritmética do fator de forma de cada classe diamétrica. O volume foi obtido multiplicando-se a área transversal e altura total de cada árvore pelo fator de forma da respectiva classe diamétrica.

$$FF_{1,3} = \frac{\text{Volume cubado}}{g_{1,3} * HT} \quad (3)$$

Onde:

Volume cubado: volume obtido pela cubagem de Smalian (m³);

$g_{1,3}$ = área transversal calculada com o DAP a 1,30 m (m²);

HT: altura total da árvore (m).

Após esta etapa, foram selecionados da literatura 6 modelos de equações volumétricas e posteriormente ajustados para estimativa de volume individual total com casca do tronco (Tabela 1).

TABELA 1 – Equações volumétricas testadas para a estimativa do volume individual de *Pinus taeda* L.

Autores	Modelo lineares
Hohenadl-Krenn	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 DAP^2$
Husch	$Ln v = \beta_0 + \beta_1 Ln DAP$
Kopezky-Gehhardt	$v = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$
Schumacher-Hall	$Ln v = \beta_0 + \beta_1 Ln DAP + \beta_2 Ln H$
Spurr 1	$v = \beta_0 + \beta_1 (DAP^2 H)$
Spurr 2	$Ln v = \beta_0 + \beta_1 * Ln(DAP^2 * H)$

v = volume individual estimado (m³); H = altura total (m); DAP = diâmetro a altura do peito a 1,30 m do solo (m); β_i = parâmetros do modelo ($i = 0, 1, 2$).

Para os modelos matemáticos em escala logarítmica, que fornecem o logaritmo do volume, calculou-se o antilogaritmo para obtenção do volume. Essa operação matemática ocasiona um erro chamado de discrepância logarítmica. Objetivando a correção deste erro utilizou-se o Fator de Correção de Meyer (FCM), para modelos que utilizaram o logaritmo natural (Equação 4). A partir dos valores do FCM foram recalculados os coeficientes de determinação ajustados e os erros padrões da estimativa, uma vez que a utilização deste fator resulta em modificação nos valores da Soma dos Quadrados dos Resíduos.

$$FCM = e^{0,5 * QM_r} \quad (4)$$

Onde:

FCM = Fator de Correção de Meyer;

e = base do logaritmo natural (2,718281828...);

QMR = quadrado médio dos resíduos.

Também para modelos logaritmizados foi calculado o Índice de ajuste Schlaegel (IA) a fim de permitir a comparação com o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) das equações de diferentes naturezas. O IA é dado pela Equação 5:

$$IA = 1 - \left(\frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \right) \quad (5)$$

Onde:

SQ_{res} = soma dos quadrados dos resíduos;

SQ_{total} = soma dos quadrados do total.

De posse das equações ajustadas procedeu-se a seleção da melhor equação por meio das principais estatísticas de ajuste de precisão: coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), erro padrão da estimativa em percentagem ($Sy_x\%$) e também pela análise gráfica de resíduos. Como os modelos de equações volumétricas apresentam variações em relação ao número de variáveis independentes, trabalhou-se com o R^2 ajustado (Equação 6). O erro padrão da estimativa ($Sy_x\%$) indica o quão próximo em média os valores preditos ou estimados da variável y (volume) estão de seus respectivos valores reais (Equação 7). A fórmula do erro padrão da estimativa em percentagem ($Sy_x \%$) está apresentada na Equação 8.

$$R^2_{aj} = 1 - \left\{ (1 - R^2) * \left(\frac{n - 1}{n - p} \right) \right\} \quad (6)$$

$$Sy_x = \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \quad (7)$$

$$Sy_x = \frac{Sy_x}{\hat{Y}} * 100 \quad (8)$$

Onde:

R^2_{aj} = R^2 ajustado;

n = número de árvores que foram cubadas;

n – 1 = graus de liberdade;

p = número de parâmetros da equação;

Syx = erro padrão da estimativa em %;

y = volume observado;

yi = volume estimado.

Y = média dos valores observadas.

Para os testes de validação dos métodos comparados, foram separados 10% dos dados de cada classe diamétrica para o cálculo dos resíduos (R%) através da Equação 9 (CAMPOS; LEITE, 2009):

$$R (\%) = \frac{v_{i\text{est}} - v_{i\text{obs}}}{v_{i\text{obs}}} * 100 \quad (9)$$

Onde:

$v_{i\text{est}}$ é o volume estimado da i-ésima árvore (m³);

$v_{i\text{obs}}$ é o volume observado da i-ésima árvore (m³).

Também foram realizadas análises gráficas de resíduos com o intuito de se verificar eventuais tendências na obtenção dos volumes.

Os volumes estimados em cada um dos métodos foram comparados com os volumes observados/cubados através do teste do qui-quadrado (Equação 10):

$$X^2 = \sum \frac{(Y_i - Y_e)^2}{Y_e} \quad (10)$$

Onde:

Y_i: valores observados (cubagem);

Y_e: valores estimados.

Para verificar se existe diferença entre as variâncias das estimativas de volume e o volume real foi aplicado o teste de Bartlett. Para haver homogeneidade entre as

variâncias, o valor de X^2 calculado deve ser menor que o valor tabelado, quando comparados. Caso contrário, quando as variâncias são heterogêneas (H_1), deve-se fazer a transformação dos dados, buscando homogeneizar as variâncias. Os dados também foram submetidos ao teste de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Caso os dados não atendam as pressuposições necessárias, serão utilizados testes não paramétricos.

Os resultados de volume total obtidos foram analisados separadamente segundo um delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos (volume calculado por meio da cubagem rigorosa, volume calculado por meio do fator de forma e volume calculado por meio da equação volumétrica selecionada) e 270 repetições. As análises foram realizadas empregando-se o programa de análises estatísticas ASSISTAT® v.7.6.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição diamétrica do povoamento apresentou uma alta frequência de árvores na classe de 25 cm a 37 cm, de acordo com a Figura 2.

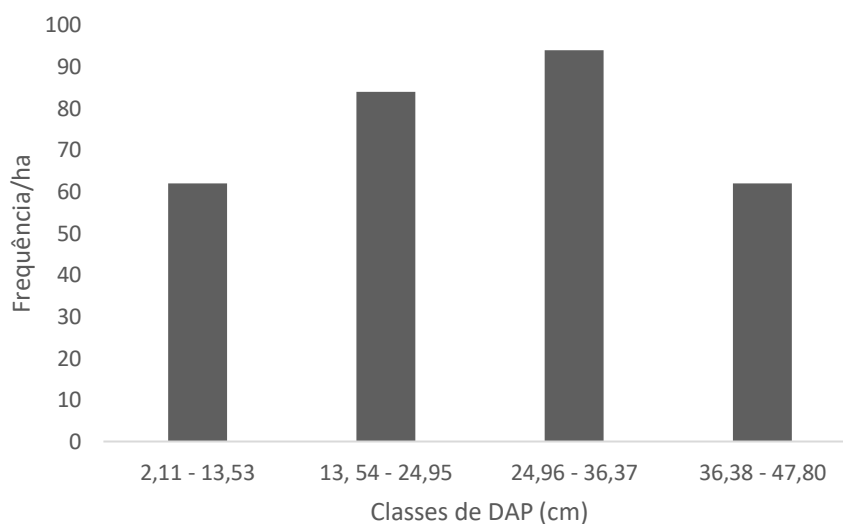


FIGURA 2 – Distribuição diamétrica para o povoamento de *Pinus taeda* L.

As características das variáveis dendrométricas calculadas para o povoamento de *Pinus taeda* foram: DAP médio: 24,95 cm; diâmetro médio quadrático: 27,99 cm; área basal por hectare: 17,86 m² e altura total média de 17,68 metros. Os diâmetros

mínimo e máximo do povoamento variaram de 5 cm à 45 cm respectivamente. O fator de forma médio calculado para as 302 árvores amostradas foi de 0,46015, com desvio padrão de 0,05375 e coeficiente de variação de 11,68%. As estatísticas descritivas para o fator de forma artificial média de cada classe de diâmetro pode ser visualizada na Tabela 2:

TABELA 2 – Estatística descritiva do fator de forma artificial por classe de diâmetro do povoamento de *Pinus taeda* L.

Estatísticas	N/árv/classe	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
μ	54	0,49973	0,45031	0,45906	0,43865
σ	76	0,09761	0,04182	0,04126	0,04249
σ^2	86	0,00953	0,00175	0,00170	0,00181
CV	54	19,5	9,2	8,9	9,6

Onde: μ : média; σ : desvio padrão; σ^2 : variância; CV: coeficiente de variação e N/árv: número de árvores por classe diamétrica.

Após o ajuste global das equações volumétricas considerando as amostras de todas as classes diamétricas, aplicou-se o método de regressão para determinação dos parâmetros dos modelos de equações testadas e após, foram realizadas as análises estatísticas para a seleção do melhor modelo, conforme apresentada na Tabela 3.

TABELA 3 – Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos testados para a estimativa do volume total em função do DAP e altura total para o povoamento de *Pinus taeda* L.

Modelo	β_0	β_1	β_2	Syx (m)	Syx (%)	R ² aj
Spurr 1	0,00989023	0,00003463	-	0,07261	12,12	0,98395
Spurr 2	-2,1009449	0,30220182	-	0,31244	34,15	0,95357
Husch	-9,6762632	2,71826372	-	0,23242	38,81	0,97737
Koperzky-Gehrhardt	-0,1237494	0,00095801		0,14086	23,52	0,93961
Schumacher-Hall	-9,9583857	1,88573311	1,02924827	0,10328	17,25	0,99553
Hohenadl Krenn	0,12742990	-0,0241659	0,00142520	0,12981	21,68	0,94871

Onde: β_0 , β_1 , β_2 : parâmetros do modelo, Syx: erro padrão da estimativa; Syx (%): erro padrão da estimativa em percentagem e R² aj: coeficiente de determinação ajustado.

Dos seis modelos testados os que apresentaram os melhores ajustes foram o modelo de Spurr 1 seguido do modelo de Schumacher e, os piores modelos foram o modelo de Husch seguido do modelo de Spurr 2. Foi observado para o coeficiente de

determinação (R^2 ajustado), valores variando de 0,93961 à 0,99553, demonstrando significativo grau de ajuste da descrição da variável dependente (volume) em relação as variáveis independentes (DAP e H). Os valores do erro padrão da estimativa (Syx) variaram de 12,12% à 38,81%, sendo que este indica o quanto os valores estimados diferem em média dos valores observados ou reais.

Analisando separadamente os modelos de simples entrada (Koperzky-Gehrhardt; Hohenald-Krenn; Husch), nota-se uma ligeira diferença entre os valores do coeficiente de determinação ajustado, variando de 0,93961 a 0,97737 e estes foram relativamente menores em comparação com os modelos de dupla entrada. Os valores de erro padrão da estimativa relativo (Syx%) para estes modelos foram superiores em relação aos demais incluindo os de dupla entrada, o que de fato, demonstra a necessidade de outra variável independente, no caso a altura.

Nos modelos de dupla entrada, a variação dos dados de volume real explicada pelos modelos (R^2_{aj}) variaram de 0,95357 a 0,99553, indicando bons ajustes e melhor eficiência nas estimativas volumétricas, sendo valores favoráveis na comparação entre modelos e próximos de 1.

Há uma tendência de aceitar, como ajustes satisfatórios, as equações que resultem em valores altos de R^2 , entretanto, essa recomendação pode resultar em erros. Por isso, a escolha do melhor modelo também levou em consideração a distribuição gráfica dos resíduos ilustrada na Figura 3.

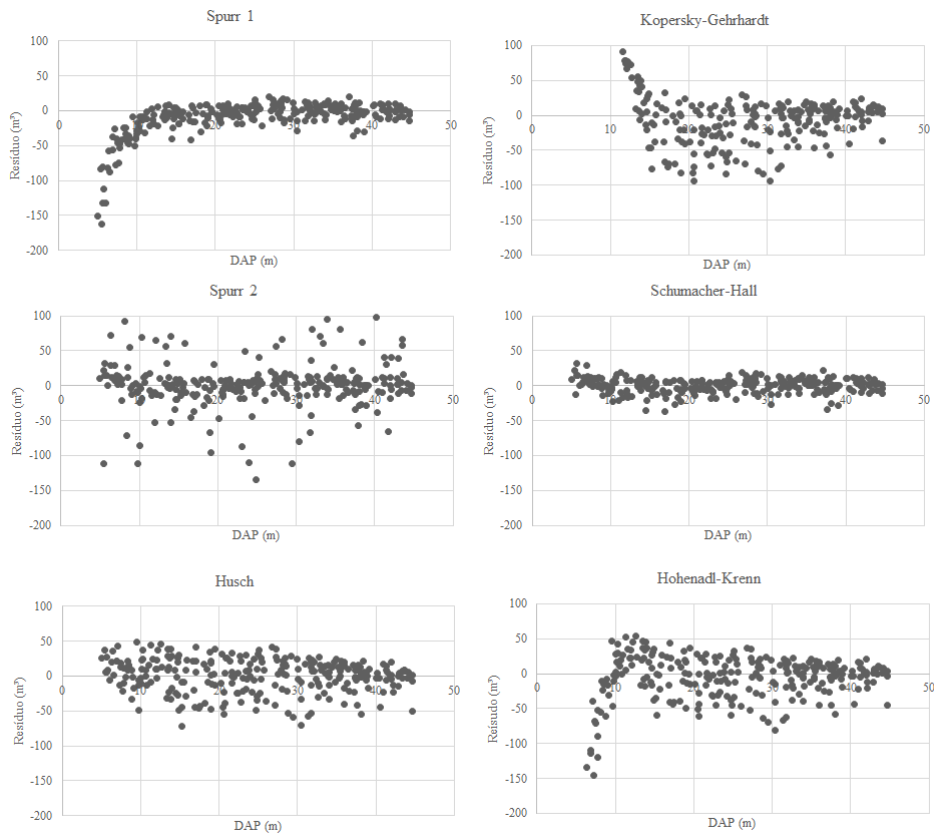


FIGURA 3 – Distribuição gráfica da dispersão dos resíduos dos modelos testados para estimativa de volume em *Pinus taeda* L.

A análise gráfica de resíduos, para os modelos de simples e dupla entrada, demonstrou distribuição dos pontos (Figura 3), em sua maior parte, concentrados em torno do eixo zero.

Os modelos de Koperzky-Gehrhardt e Hohenald-Krenn apresentam tanto subestimativas quanto superestimativas para as menores amplitudes diamétricas, indicando, segundo Campos e Leite (2009) possível presença de outliers (dados discrepantes). Nota-se ainda a ocorrência de heterogeneidade de variância, e de acordo ainda com estes autores isto desacredita os limites de confiança das estimativas, tendo como solução a troca de modelo ou transformação da variável dependente para logaritmo ou a justaposição de modelos, ou ainda ponderação de variáveis.

Desta forma, quando os resíduos não se comportam de forma aleatória, ou seja, não seguem um padrão, a condição de independência não é satisfeita. Isto pode traduzir o fato de não existir uma relação linear entre as variáveis ou então, não constam no modelo uma ou várias variáveis independentes que influenciam

significativamente a variável dependente e, portanto, também os erros, o que justifica o fato de algumas variáveis apresentarem os valores de seus coeficientes não significativos ao teste t.

Analisando os modelos de dupla entrada (Spurr 1, Spurr 2 e Schumacher-Hall), observa-se que a amplitude residual é menor, demonstrando a necessidade de inclusão da variável altura. Porém, o modelo de Spurr 2 (logarítmico) apresentou uma distribuição de resíduos mais ampla na reta de erro em relação aos de dupla entrada e com maior tendenciosidade, fato fortalecido pelo seu maior erro padrão de estimativa (34,15%) e coeficiente de determinação (0,95357) apresentado.

A boa distribuição em torno da linha de regressão (Figura 3) proporcionando homogeneidade de variância e baixa amplitude residual, aliada a da quantidade da variação total explicada pela regressão e menores erro padrão da estimativa e coeficiente de variação, tornam o modelo de Schumacher-Hall como o mais preciso para o ajuste da equação de volume para a espécie *Pinus taeda* L. Resultado semelhante foi encontrado por Kohler et al., (2012) ao avaliar o ajuste do modelo volumétrico de Schumacher e Hall por diferentes alternativas, na sua forma linear, pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários e na forma não-linear pelos métodos de Marquardt, Steepest descent, Gauss-Newton e pelo suplemento Solver do Excel, para *Pinus taeda* em três diferentes sítios obtiveram valores de R^2 variando de 0,98 até 0,99 e Syx (%) variando de 8,99% até 14,37%, elegendo o modelo de Schumacher-Hall como o mais adequado. Elesbão (2008) encontrou valores de R^2 ajustado que variaram de 0,82 a 0,99 para a mesma espécie ao efetuar o ajuste de equações volumétricas a partir de oito modelos matemáticos.

Mazzonetto et al., (2012) ao testarem cinco modelos matemáticos para o ajuste de equações volumétricas para *Pinus taeda* no município de Cidreira no Rio Grande do Sul, concluíram que o melhor modelo a ser utilizado é o de Spurr, por descrever o volume com menores tendências e pequena variação. Já Elesbão (2008), estudando a produção desta espécie na Região dos Campos da Serra, no mesmo estado sugere a utilização do modelo alemão de IW-Baden-Württemberg, que apresentou a melhor precisão estatística, com um coeficiente de determinação ajustado igual a 0,9970, erro padrão de estimativa de 0,0736 e um valor de F igual a 9.202,6, altamente significativo.

Thomas et al., (2006) ajustaram equações volumétricas para *Pinus taeda* no município de Ponte Alta do Norte/Santa Catarina e observaram melhor desempenho do modelo de Schumacher-Hall.

O teste de Bartlett permitiu constatar que os valores de qui-quadrado (X^2) apresentaram-se não significantes ao nível de 5% de probabilidade, concluindo-se que há homogeneidade entre as variâncias dos tratamentos: volumes obtidos pela cubagem, estimados por modelos volumétricos e volumes estimados pelo fator de forma.

Os dados não apresentaram os pressupostos necessários e por isso, aplicou-se o teste paramétrico de Kruskal-Wallis, utilizado para comparar três ou mais populações, sendo um teste análogo ao teste F utilizado na ANOVA de 1 fator. Esse teste não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, indicando que todas as formas de estimativas testadas apresentaram médias iguais. Com base nestes testes, é possível observar, para o conjunto de dados utilizados neste trabalho, que a média do volume obtida pela estimativa por fator de forma médio por classe de diâmetro e por modelo volumétrico não diferiram da média do volume observado.

A partir dos testes de validação dos métodos comparados (Tabela 4) o melhor método foi o de equações volumétricas, apesar da análise estatística não detectar diferenças significativas entre os métodos.

Tabela 4 – Validação dos métodos para estimativa de volume de *Pinus taeda* L.

Árvore	DAP	H	Vtcc	Cubagem X Fator de Forma		Cubagem X Schumacher	
				V(FF)	%	V(Sc)	%
1	8	7,9	0,01958	0,01984	-1,3369	0,0190	3,1285
2	8,6	11,05	0,03289	0,03208	2,4713	0,0299	9,1775
3	8,7	10	0,02117	0,02971	-40,3163	0,0279	-31,5915
4	8,9	6,9	0,02217	0,02145	3,2436	0,0207	6,8110
5	10,8	8,2	0,03447	0,03754	-8,9192	0,0355	-3,1365
6	11,1	15,1	0,06632	0,07302	-10,1112	0,0661	0,3505
7	12,3	17,35	0,09745	0,10302	-5,7197	0,0921	5,5107
8	12,5	8	0,04739	0,04906	-3,5252	0,0464	2,1169
9	13,9	8,9	0,05945	0,06082	-2,3019	0,0632	-6,2547
10	17,8	21	0,25528	0,23532	7,8181	0,2283	10,5835
11	17,9	14,1	0,13840	0,15978	-15,4472	0,1595	-15,2804
12	19,8	14,4	0,19883	0,19966	-0,4198	0,1986	0,1069
13	20,6	11,2	0,16415	0,16809	-2,4003	0,1702	-3,6605

14	21	10,6	0,16135	0,16533	-2,4622	0,1680	-4,0967
15	23,9	19,8	0,35625	0,40000	-12,2804	0,3871	-8,6580
16	24,1	15,9	0,33212	0,32661	1,6579	0,3211	3,3094
17	25,4	14,8	0,34218	0,34426	-0,6066	0,3334	2,5738
18	26,2	23,3	0,47764	0,57665	-20,7288	0,5398	-13,0160
19	27,8	16,9	0,46679	0,47090	-0,8809	0,4507	3,4483
20	29,3	21,8	0,65127	0,67476	-3,6068	0,6331	2,7843
21	29,4	16	0,48259	0,49862	-3,3225	0,4785	0,8400
22	30,6	17,4	0,53330	0,58742	-10,1473	0,5598	-4,9685
23	32	23,7	0,84379	0,87499	-3,6974	0,8144	3,4841
24	32,4	22,4	0,91211	0,84780	7,0504	0,7921	13,1541
25	36,8	26,1	1,01512	1,21770	-19,9557	1,1741	-15,6574
26	37,3	25,5	1,30386	1,22225	6,2592	1,1801	9,4918
27	37,6	21	1,11891	1,02282	8,5883	1,0015	10,4944
28	38,5	22,1	1,03755	1,12854	-8,7697	1,1003	-6,0481
29	39	25,55	1,16428	1,33882	-14,9918	1,2912	-10,8989
30	41,3	21,3	1,25762	1,25165	0,4746	1,2217	2,8566
31	44,4	27,6	1,75688	1,87447	-6,6932	1,7923	-2,0179
32	45	31,95	1,83106	2,22894	-21,7295	2,1079	-15,1211

Onde: DAP: diâmetro a altura do peito (m); H: altura total (m); Vtcc: volume total cubado pelo método de Smalian (m³); %: resíduo em percentagem (%); V(FF): volume calculado pela equação do fator de forma (m³); V(Sc): volume calculado pelo melhor modelo ajustado, nesse caso de Schumacher-Hall.

Esse fato pode estar relacionado com as características dendrométricas do povoamento, que por sua vez, podem ser influenciadas por fatores como, procedência, tratos silviculturais e de manejo, bem como variáveis edáficas e climáticas. Assim, a recomendação da literatura consiste em verificar diversos modelos matemáticos para estimativa volumétrica em povoamentos de *Pinus* spp (SILVESTRE et al., 2014).

4. CONCLUSÃO

- Entre os dois métodos comparados, o método de equações volumétricas de Schumacher-Hall foi melhor que o método de estimativa de volume genérico utilizando o fator de forma médio por classe de diâmetro, entretanto não houve diferença estatisticamente significativa entre os métodos testados a nível de 5%, para o conjunto de dados utilizados neste trabalho.

- Recomenda-se que para a consolidação do resultado desta pesquisa, os dois métodos sejam comparados utilizando-se de dados de cubagem de outros povoamentos florestais ou mesmo de outras espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: Ano base 2012. Brasília: 2013.

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

BENNEMANN, S. T. A flora e a fauna do ribeirão Varanal: um estudo da biodiversidade no Paraná. Londrina: EDUEL, 2008.

CAMPOS, J, C, C.; LEITE, H, G. **Mensuração Florestal**, Perguntas e Respostas, 3, Ed- Viçosa: 2009, 548p.

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.

CUNHA, U, S. **Dendrometria e inventario florestal**. Escola Agrotécnica Federal de Manaus (EAFM), Manaus, 2004. Disponível em: <<https://engenhariaflorestal.jatai.ufg.br/up/284/o/dendroinv.pdf>> Acesso em: 23 maio 2017.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 706 p.

DOBNER JR, M.; HIGA, A. R.; TOMAZELLO FILHO, M. Manejo de Povoamentos de *Pinus taeda* L. e de *Eucalyptus dunnii* MAIDEN para usos múltiplos da madeira. In: 4º Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. **Anais**, 2012.

DORMAN, K.W. The genetics and breeding of southern pines. U.S. Department of Agriculture, **Agricultural Handbook**, 1976, 407p.

ELESBÃO, L. E. G. **Crescimento e produção de *Pinus taeda* L. na região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FIGUEIREDO, E.O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. Lavras: UFLA, 2005. 301 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 2005.

FIGUEIREDO, Evandro O.; SCHROEDER, Rodrigo; PAPA, Daniel de A. Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia. **Comunicado Técnico 173**. EMBRAPA, Rio Branco, AC. 2009.

FREESE, F. **Testing accuracy**. Forest Science, Washington, v.6(2):139-45, 1960.

GAROSI, V. A.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E. Inventário florestal e recomendações de manejo para a floresta estadual de Assis – Instituto Florestal, SP. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, v. 7, n. 12, p. 1-27, 2008.

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

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory**. München: BLV Verlagsgesellschaft, 1973. v. 2. 469 p.

KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de Pinus taeda nos estados do Paraná e Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

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

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 185-197, 2002.

MACHADO, Sebastião do A. **Dendrometria**. 2ª ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009. 316 p.

MACHADO, S.A.; FILHO, A.F. **Dendrometria**. Sebastião do Amaral Machado, Afonso Figueiredo Filho. – 2ª.ed. – 1.ª reimpressão – Guarapuava : UNICENTRO, 2009. 309p.

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

MAZZONETTO, C. R.; FRACASSO, R. M.; FORTES, F. Avaliação de modelos na estimativa de volume de *Pinus taeda* Loblolly Pine. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RS E 2º SEMINÁRIO MERCOSUL DA CADEIA MADEIRA, Nova Prata, Rio Grande do Sul. **Anais...** Nova Prata: UFSM/DCFL, 2012, p. 562-567.

MENDONÇA, A. R.; PACHECO, G. R. VIEIRA, G. C.; ARAÚJO, M. S.; INTERAMNENSE, M. T. Identidade de modelos para estimativa do volume de pinus. **Nativa**, v. 3, n. 4, p. 281-286, 2015.

MIRANDA, D. L. C.; JUNIOR, V. B.; GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Plena**, v. 11, n. 3, p. 1- 8, 2015.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamentos de Pinus taeda baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS**. 2005. 113 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

NUNES, J.R.S.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; FIE3R, I.S.N.; SANTOS, C.C. Climatologia do comportamento da precipitação no Distrito Florestal de Monte Alegre, PR, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 783-792, out./ dez. 2009.

PALUDZYSZYN FILHO, E. et al. Interação de genótipo de *Pinus taeda* L. com locais no sudeste do Brasil. **Revista Cerne**, vol.7, nº 01. Lavras, Brasil. p. 90-100.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997. 586 p.

REIS, N. R; PERACCHI, A. L.; LIMA, I. P.; PEDRO, W. A. Riqueza de espécies de morcegos (Mammalia, Chiroptera) em dois diferentes habitats, na região centro-sul do Paraná, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 23, n. 3, p. 813-816, set. 2006.

SANQUETTA, C.R.; MORA, A.L.; BORSATO, R.; VIDAL, M.A.S.; PEIXOTO, A.M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos - II. *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva – PR. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.1, p. 55-61, 2003.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. Inventários Florestais: Planejamento e Execução. Curitiba: Multi-Graphic, 2014. 406 p.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER C.A.G.; KLEIN, J.E.; et al. **Fundamentos de planejamento da produção para o manejo florestal de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. 179p.

SCHIMIZU, J. Y., *Pinus* na Silvicultura Brasileira, Embrapa Florestas. Disponível em:http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/pinus_na_silvicultura_brasileira.html. Acesso em 23 de maio de 2017.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração florestal 4**. Classificação de sítios florestais Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 138p.

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

SILVESTRE, R.; BONAZZA, M.; STANG, M.; LIMA, G. C. P.; KOEPEL, D. A.; MARCO, F. T.; CIARNOSCHI, L. D.; SCARIOT, R.; MORAES, D. F. Equações volumétricas em povoamentos de *Pinus taeda* L. no município de Lages - SC. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2014.

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