

Equações volumétricas de um povoamento de *Pinus taeda* L em Lages, SC.

Resumo. O volume nos permite conhecer o potencial produtivo e estoque de madeira de uma floresta. O trabalho teve como objetivo testar modelos matemáticos para selecionar a melhor equação para estimativa do volume de *Pinus taeda* L. em um povoamento no município de Lages, SC. Assim, realizou-se a cubagem pelo método de Smalian, derrubando 23 árvores. No ajuste das equações mediante regressão, foram testados cinco modelos, que foram analisados pelos critérios de seleção como, coeficiente de determinação múltiplo ($R^2_{ajust.}$), erro padrão da estimativa absoluto e relativo (S_{yx}) e, análise gráfica dos resíduos. Apesar dos modelos apresentarem resultados similares, Schumacher – Hall foi o modelo selecionado, para a estimativa volumétrica de *Pinus taeda*, com R^2_{ajust} de 0,9870 e S_{yx} de 11,92%.

Palavras-chave: Volume, modelagem, regressão.

Volumetric equations to quantify the volume of a stand of *Pinus taeda* L. in Lages, SC.

Abstract: The volume allows us to meet the productive potential and wooden stock of a forest. The work aimed to test mathematical models to select the equation to estimate the volume of *Pinus taeda* l. in a settlement in the municipality of Lages, SC, so the cube by Smalian method, dropping 23 trees. The set of equations by means of regression, were tested five models, which were examined by the selection criteria as, multiple coefficient of determination ($R^2_{ajust.}$), standard error of the estimate absolute and relative (S_{yx}), and graphical analysis of waste. Despite the present models similar results, Schumacher-Hall was the selected template, for the volumetric estimate of *Pinus taeda*, with R^2_{ajust} to 0.9870 and 11.92% of S_{yx} .

Keywords Volume, modeling, regression.

1. INTRODUÇÃO

A política brasileira de incentivo fiscais na década de 70 proporcionou a implantação de cerca de 1, 8 milhões de hectares com o gênero *Pinus*, cuja distribuição está concentrada nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, (Amda, 2003). A extensa área de plantios da espécie, aliada à diversificação das possibilidades de utilização da matéria prima, bem como às variações de preços de madeira e custos envolvidos na produção e exploração, justificam o desenvolvimento de métodos de gerenciamento e planejamento florestais (Georgin et al., 2015).

Conhecer o volume é de grande importância para entender o potencial produtivo e o estoque de madeira da floresta (Thomas et al., 2006). Nesse sentido, equações volumétricas são utilizadas em larga escala para estimativas e previsões da produtividade no setor madeireiro, as quais associa-se o volume, tratada como variável dependente, à variáveis independentes, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura (Machado et al.,

2002).

Assim, o objetivo do trabalho foi testar modelos matemáticos a fim selecionar a equação volumétrica que apresentar melhor ajuste, e por meio desta, estimar o volume de *Pinus taeda* L. em um povoamento implantado no município de Lages no Estado de Santa Catarina.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em uma povoamento de *Pinus taeda* localizado em Lages, Santa Catarina. A altitude média do local é de 917 metros, o clima é classificado segundo Köppen como “Cfb”. A precipitação média anual é de 1.483 mm, com chuvas bem distribuídas durante o ano e com uma temperatura média anual de 16,1°C (Hijmans et al., 2004). A vegetação predominante da região é classificada como Floresta Ombrófila Mista (Ibge, 2012).

O talhão possui uma área total de 5,92 ha, com um povoamento de aproximadamente 13 anos de idade, espaçamento de 2m x 2,5m, com intervenção de desbaste.

2.2 Coleta de dados

Realizou-se um inventário mediante amostragem aleatória simples para a coleta das variáveis dendrométricas. De acordo com o limite de erro estabelecido à 10%, foram alocadas nove parcelas circulares de 400 m², sendo que todas as árvores tiveram seu diâmetro mensurado a 1,30 m em relação ao solo (DAP) com o auxílio da suta dendrométrica, e as alturas a cada cinco indivíduos foram medidas com o TruPulse.

Na sequência, foi realizada a derrubada e cubagem de 23 árvores divididas em diferentes classes de diâmetro, onde foram medidas suas alturas totais, comerciais e diâmetro nas posições ao longo do fuste nas alturas (hi): 0,1 m, 0,7 m, 1,30 m, 2,0 m e assim de dois em dois metros até o final da árvore.

2.3 Modelos volumétricos

Para a volumetria, foi utilizado os dados de volume individual, obtidos pelos método de Smalian, e selecionados cinco modelos matemáticos para estimativa de volume total com casca para o povoamento (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos matemáticos usados no ajuste de equações volumétricas.

Equação	Autor	Modelo matemático
1	HUSCH	$\text{Ln}v = b_0 + b_1 \ln d$
2	SPURR	$v = b_0 + b_1 d^2 h$
3	SCHUMACHER-HALL	$v = b_0 \cdot d^{b_1} \cdot h^{b_2}$
4	MEYER	$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h$
5	STOATE	$v = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h$

Em que: v = volume; d = diâmetro à altura do peito; h = altura total; b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 = coeficientes; ln = logaritmo neperiano.

2.4 Critérios de seleção

A seleção do melhor modelo de regressão foi baseada nas seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{\text{ajust.}}$) (Equação 1), o qual expressa o percentual da variação explicada pelas variáveis, erro padrão da estimativa (S_{yx}) (Equações 2 e 3), que indica a precisão do ajuste e por fim o último critério foi a análise gráfica dos resíduos.

Em que: SQ res= soma dos quadrados do resíduo; SQ total= soma dos quadrados total; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo; $\bar{v}$ = volume médio observado.

3. RESULTADOS

Os resultados referentes aos parâmetros e critérios de seleção estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão para os cinco melhores modelos ajustados para estimativa do volume total com casca em povoamento de *Pinus taeda* no município de Lages, SC.

Equação	Coeficientes					R^2_{ajust}	$S_{yx} \text{ (m}^3\text{)}$	$S_{yx} \%$
	b0	b1	b2	b3	b4			
1	-7,52	2,09	-	-	-	0,9180	0,0520	11,23
2	0,04	0,000003	-	-	-	0,9146	0,0530	11,46
3	-9,91	1,89	1,02	-	-	0,9870	0,0550	11,92
4	0,22	-0,11	0,004	0,005	-0,0002	0,9304	0,0480	10,34
5	-0,92	0,002	-0,00006	0,05	-	0,9326	0,0467	10,17

Em que: $R^2_{\text{ajust.}}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro-padrão da estimativa (m^3); $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em porcentagem

A distribuição gráfica dos resíduos, apresentada na Figura 1, foi determinada como um critério para a escolha do melhor modelo.

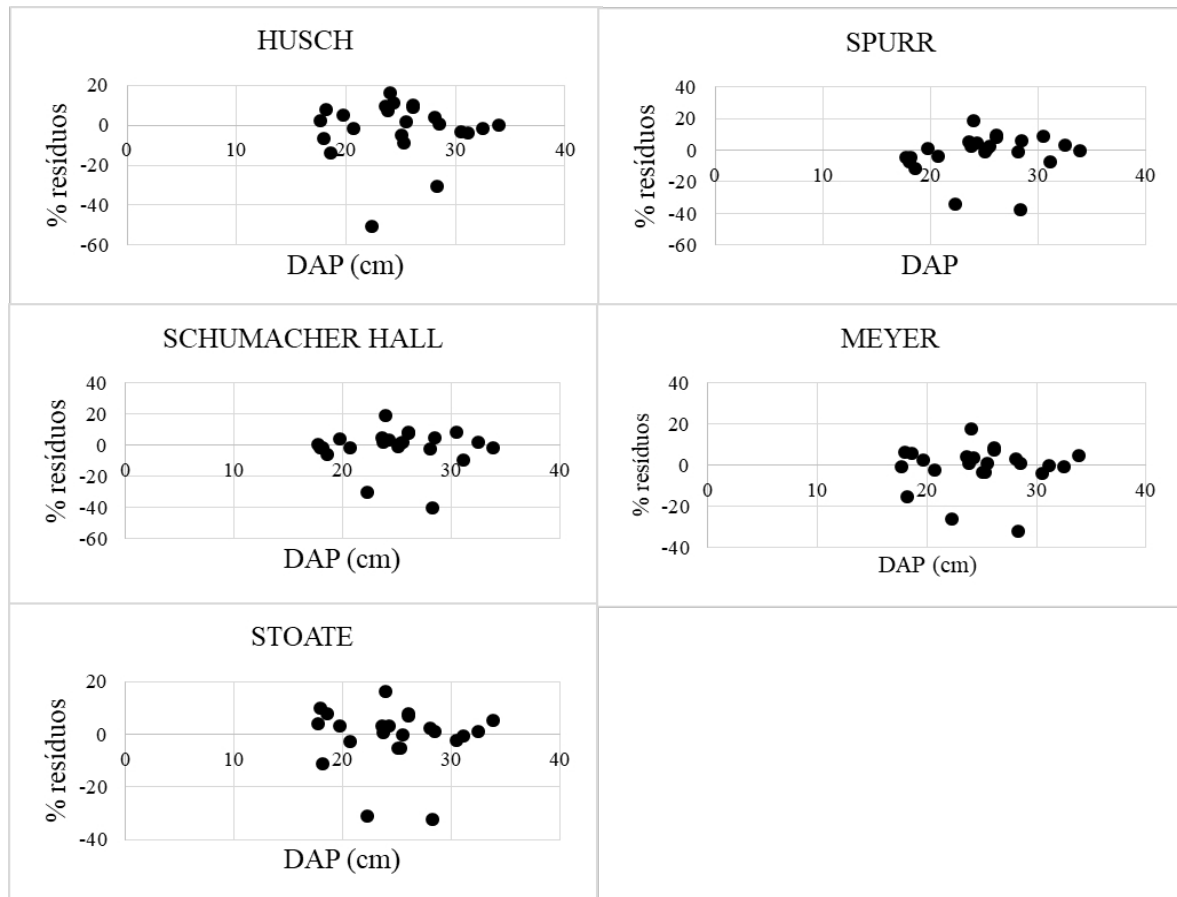


Figura 1. Dispersão dos resíduos para os cinco melhores modelos testados.

Na tabela 3 estão os resultados da estatística descritiva.

Tabela 3. Estatística descritiva para volume de um povoamento de *Pinus taeda* em Lages-SC.

Variáveis	Unidades	Valores
Média	(m ³ /ha)	424,82
Variância	(m ³ /ha) ²	2629,89
Desvio Padrão	(m ³ /ha)	51,28
Coefficiente de Variação	%	12,07
Erro Relativo	%	8,99

4. DISCUSSÃO

Os dados da Tabela 2 demonstram que os cinco modelos testados possuem um

comportamento satisfatório. Considerando que os melhores resultados para coeficiente de determinação ($R^2_{\text{ajust.}}$) são aqueles que se aproximam de 1, foi observado uma variação de 0,9146 a 0,9870. Assim, as variáveis independentes (DAP e altura) possuem uma excelente representação da variável dependente (volume). Os valores do erro padrão da estimativa (S_{yx}) também estão admissíveis, apontando que os valores estimados variam dos observados de 10,17% a 11,92%.

Em relação à Figura 1, observou-se que os modelos de Spurr e Schumacher - Hall, tendem a subestimar os valores nas menores classes de diâmetro, ao contrário de Stoate, Meyer e Husch que apresentaram características de superestimar os valores de maiores diâmetros.

Embora o modelo de Schumacher – Hall, juntamente com os modelos de Spurr e Husch, apresentaram os piores Erros Padrões da Estimativa ($S_{yx} \%$), o modelo possui o maior Coeficiente de Determinação ($R^2_{\text{ajust.}}$). Os modelos de Stoate e Meyer apesar de possuírem os melhores resultados de $S_{yx} \%$ tiveram que ser descartados, pois apresentaram valores negativos na estimativa de volume. Sendo assim Schumacher – Hall foi o terceiro melhor modelo, segundo o ranking, sendo então selecionado para a estimativa volumétrica de *Pinus taeda*.

Thomas et al., (2006) ajustaram equações volumétricas para *P. taeda* no município de Ponte Alta do Norte, Santa Catarina, e verificaram que o modelo de Schumacher-Hall foi o melhor. Silvestre et al. (2014) também realizaram ajustes de equações para a mesma espécie em Lages, e concluíram que Prodan foi o modelo com os melhores resultados para as estatísticas de ajuste de precisão. Já Mazzonetto et al. (2012) constataram que Spurr é o melhor modelo, por possuir pouca tendência e variação na estimativa de volume de *P. taeda* no Rio grande do Sul.

Diferentes modelos são recomendados para a estimativa de volume para a espécie de *P. taeda* no sul do Brasil. Diante disto é relevante realizar testes de modelos pra cada povoamento estudado, pois apresentam variáveis dendrométricas distintas, as quais são influenciadas por tratos silviculturais, fatores genéticos e edafoclimaticos (Silvestre et al., 2014).

Realizada a estimativa de volume, pode-se verificar (Tabela 3) que o volume médio foi de 424,82 m³/ha, no entanto de acordo com o intervalo de confiança, os valores podem variar de 396,62 à 463,02 m³/ha. Nota-se que a variância foi alta, isso pode ser explicado amplitude elevada existente entre as unidades amostrais, com volume variando de 328, 22

m³/ha até 512,44 m³/ha. A variação pode estar sendo influenciada pelas árvores mortas em alguns pontos das parcelas, fator relacionado à fitossanidade ou eventos climáticos comuns na região. No entanto, o erro relativo foi aceitável, com 8,99%, menor do que estabelecido inicialmente.

5. CONCLUSÕES

Os modelos testados apresentaram resultados de critérios de seleção semelhantes, com coeficientes de determinação próximo a um, conforme o esperado, e erro padrão da estimativa não ultrapassando 11,92%. O erro relativo da análise foi menor do que o estipulado para povoamentos florestais equiâneos (10%).

Estudos neste sentido podem auxiliar na comparação de outros trabalhos similares, já que o tema é de suma importância na geração de informações relacionadas a estoque e produtividade de uma área. Além de que povoamentos são influenciados por diversos fatores, sendo necessário realizar testes de modelos para cada um.

6. REFERÊNCIAS

Associação Mineira de Defesa do Ambiente – AMDA. II Seminário Nacional Plantações Florestais – Uma Visão Global (transcrições de palestras). Disponível em: <<http://www.insea.org.br/seminariorotas/index.html>>. Acesso em 23 de abril de 2019.

Georgin, J, Zanon, M, Lazzari L, Eloy, J.B. Inventário Florestal quantitativa em plantio de *Pinus elliotti* no município de Ronda Alta, RS. Revista do Centro de Ciência Naturais e Exatas, Santa Maria, 2015; 19(1).

Hijmans, RJ, Cameron, SE, Parra, JL, Jones, PG, Jarvis, A. The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces. Version 1.3. 2004. Disponível em: <Disponível em: <http://www.worldclim.org>>. Acesso em: 23 de abril de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro; 2012

Machado, S.A, Conceição, MB, Figueiredo, DJ. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. Ciências Exatas e Naturais, Curitiba, 2002; 4(2):185- 196

Mazzonetto, CR, Fracasso, RM, 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, 562-567.

Thomas, C, Andrade, CM, Schneider, PR, Finger, CAG. (2006). Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, 2006; 16(3): 319-327.

Silvestre, R, Bonazza, M, Stang, M, Lima, GCP, Koepsel, DA, Marco, FT, Morês, DF. Equações volumétricas em povoamentos de *Pinus taeda* L. no município de Lages-SC. *Nativa*, 2014; 2(1): 1-5.