

COMISSÃO TÉCNICA 5

# Avaliação de Recursos Florestais e seu Manejo

## ACURACIDADE DA CUBAGEM DE ÁRVORES PELOS MÉTODOS DE HOHENADL, FAO E GRÁFICO, COMPARATIVAMENTE AO XILÔMETRO.

Sebastião A. Machado

Eng. Florestal, M.Sc., Ph.D., Professor Titular do Curso de  
Engenharia Florestal da UFPR, Pesquisador do CNPq.

Maurício C. Nadolny

Eng. Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal da UFPR.

### RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivos comparar os métodos de cubagem que usam comprimentos de seção relativos, tais como o de Hohenadl e FAO, tanto para 5 como para 10 seções, e também o método gráfico. Os volumes obtidos através do xilômetro serviram como comparadores. A construção do xilômetro é também descrita. Os dados provieram de plantações de *Pinus elliottii* com aproximadamente 20 anos de idade, localizados na Fazenda Experimental do Canguiri, da UFPR. Testes de análise de variância usando delineamento de blocos ao acaso, não revelaram diferenças significativas entre os métodos de cubagem testados.

Palavras Chave: Métodos de cubagem, Fórmula de Hohenadl, Fórmula da FAO, Método gráfico, Xilômetro.

### ABSTRACT

This research aimed to compare some tree volume calculation methods which use relative lengths of sections, such as the Hohenadl method, the FAO method, using both 5 and 10 sections. The graphic method of tree volume calculation was also compared. Volumes obtained through the xilometer were used as comparators. It was also described the construction of a simple but useful xilometer. The used data for comparing the volume calculations methods came from *Pinus elliottii* plantations approximately 20 years old, located at the University of Paraná experimental farm in the nearby of Curitiba, Paraná. Analysis of variance tests using random blocks design did not identify significant differences among the tested methods.

Key words: Volume calculation methods, Hohenadl formula, FAO formula, Graphic method, Xilometer.

### 1. INTRODUÇÃO

O fuste de árvores na maioria dos casos é um corpo geométrico complexo, variando de espécie para espécie, de indivíduo para indivíduo e mesmo em sua extensão. Por isto, o cálculo de volumes requer atenção especial, tendo surgido ao longo dos anos muitas fórmulas de cubagem. Também tem sido usados diferentes comprimentos de seções para o cálculo de volumes.

Muitos autores, tais como GOMES (1957), PRODAM (1965), HUSCH *et alii* (1973), PAULA NETO (1975), MACHADO & MACIEL (1975), SILVA (1977), entre muitos outros, destacaram a importância do cálculo de volumes em inventários florestais, tendo em vista que erros nesta fase do levantamento comprometem todo o trabalho posterior.

Os autores do presente trabalho publicaram anteriormente resultados de comparações das fórmulas de cubagem de Huber, Smalian e Newton, tendo como comparador os volumes obtidos pelo xilômetro (MACHADO & NADOLNY, 1991). Testaram também diferentes comprimentos de seção. Dentre as fórmulas testadas, a de Huber apresentou menores desvios em relação aos resultados obtidos pelo xilômetro. A fórmula de Smalian apresentou maiores desvios, porém a análise estatística não evidenciou diferenças significativas entre as fórmulas, exceto para os comprimentos de seção de 4 e 6 metros.

Este trabalho visando comparar as fórmulas que usam comprimentos relativos de seções é uma continuidade do já publicado anteriormente, que comparou fórmulas que usam comprimentos fixos de seções. Acrescentou-se a esses, o método gráfico, considerado também como exato.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

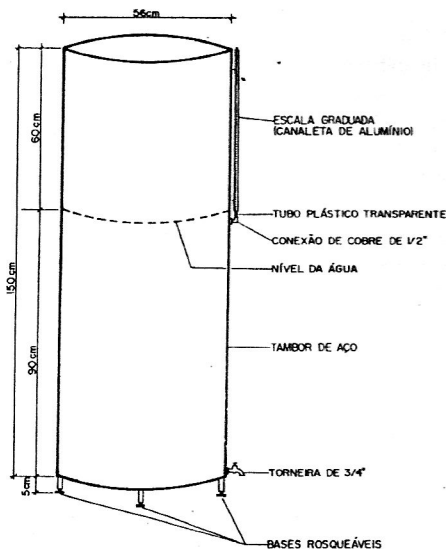
#### 2.1 DADOS

Os dados foram obtidos de árvores abatidas em um dos talhões de *Pinus elliottii* localizado na Fazenda Experimental do Canguiri, nas proximidades de Curitiba e de propriedade da Universidade Federal do Paraná. Esta área situa-se no município de Piraquara, primeiro planalto do Paraná, com altitude em torno de 930 metros e com topografia ondulada. O plantio foi feito em 1965, tendo o povoamento sofrido dois desbastes até a coleta dos dados em 1990. As árvores do talhão foram classificadas em 3 classes: árvores médias, cujos diâmetros (DAP) estavam compreendidos entre os limites de 21,2 a 33,6 cm, árvores inferiores, com DAPs abaixo de 21,2 cm e árvores superiores, com DAPs acima de 33,6 cm. Foram derrubadas e cubadas 5 árvores centrais de cada classe, através dos diferentes métodos de cubagem, perfazendo um total de 15 árvores.

#### 2.2 CONSTRUÇÃO DO XILÔMETRO

Para a obtenção de volumes reais dos fustes, para servirem de comparadores entre os volumes obtidos através de fórmulas de cubagem, foi construído um xilômetro com as características e especificações conforme FIGURA 1. O corpo do xilômetro é formado por dois tambores de óleo emendados, com capacidade de 200 litros cada. As bases, conexões, escala e demais peças foram confeccionadas especialmente para este fim. Baseando-se em projeto dos autores do presente trabalho, a oficina mecânica do Departamento de Mecânica da UFPR, construiu o xilômetro. Após a construção, o aparelho foi submetido à pintura especial anticorrosiva e acabamento com tinta automotiva.

A escala do aparelho foi graduada experimentalmente adicionando-se 1 dm<sup>3</sup> (1 litro) de água sucessivamente e marcando-se o nível atingido em fita de papel, posicionada ao longo de um tubo trans-



A escala do aparelho foi graduada experimentalmente adicionando-se 1 dm<sup>3</sup> (1 litro) de água sucessivamente e marcando-se o nível atingido em fita de papel, posicionada ao longo de um tubo transparente conectado ao xilômetro. Posteriormente essa escala foi impressa em canaleta de alumínio, fixada ao corpo do

FIGURA 1 - Xilômetro construído para medição do volume real; por deslocamento de água.

parente conectado ao xilômetro. Posteriormente essa escala foi impressa em canaleta de alumínio, fixada ao corpo do aparelho e que serve também como suporte e proteção ao tubo plástico transparente, o qual permite a leitura do volume de água deslocado. As bases do aparelho são rosqueáveis, de modo a permitir o seu nivelamento.

Para a cubagem através do xilômetro, seccionou-se os fustes das árvores em toretes de 1m de comprimento para facilitar a operação de transporte, carga e descarga do aparelho. O xilômetro era nivelado com água até a marca zero na escala após cada descarga de toretes. A soma dos volumes dos toretes de cada árvore resultava no volume total da mesma. No ato da medição de volumes, o aparelho era posicionado em local plano e cimentado e era ainda nivelado. Como haviam toretes pesados, principalmente os da base das árvores maiores, foi idealizado um sistema de cordas e roldanas, para facilitar as operações de carga e descarga destes.

### 2.3 MEDIÇÃO DOS DIÂMETROS E CÁLCULO DOS VOLUMES

Após a derrubada de cada árvore e medição de sua altura com uma trena, marcava-se imediatamente as posições de medição de diâmetros ao longo do fuste. Para a aplicação do método de cubagem de Hohenadl dividiu-se o fuste tanto em 5 como em 10 partes iguais, tornando-se os diâmetros no meio das seções. No caso da divisão do fuste em 5 partes os diâmetros foram então medidos nas posições relativas de 0,1 h; 0,3 h; 0,5 h; 0,7 h; 0,9 h; sendo o volume dado por:

$V = 0,2 * h * (g_{0,1} + g_{0,3} + g_{0,5} + g_{0,7} + g_{0,9})$ , onde: V = volume total com casca em m<sup>3</sup>; h = altura total em metros; g<sub>0,1</sub>; g<sub>0,3</sub> ... g<sub>0,9</sub> = áreas transversais tomadas às alturas relativas indicadas anteriormente dadas em m<sup>2</sup>.

No caso da divisão do fuste em 10 partes iguais os diâmetros foram medidos nas seguintes posições relativas: 0,05 h; 0,15 h; 0,25 h; ... 0,85 h; 0,95 h; e o volume da árvore calculado por:

$$V = 0,1 * h * (g_{0,05} + g_{0,15} + g_{0,25} + \dots + g_{0,95})$$

O método de cubagem da FAO é semelhante ao método de Hohenadl, tomando porém duas medidas adicionais de diâmetros na primeira seção, sendo uma à 1/6 e outra à 5/6 dessa porção do fuste. Os volumes são dados por:

$V = 0,2 * h * [(2 * g_1 + g_{0,1} + g_2) / 4] + g_{0,3} + g_{0,5} + g_{0,7} + g_{0,9}$ , para 5 seções e  $V = 0,1 * h * [(2 * g_1 + g_{0,05} + g_2) / 4] + g_{0,15} + g_{0,25} + \dots + g_{0,95}$  para 10 seções, onde: g<sub>1</sub> = área transversal em m<sup>2</sup> tomada à 1/6 da 1ª seção; g<sub>2</sub> = área transversal em m<sup>2</sup> tomada à 5/6 da 1ª seção; V; h; g<sub>0,1</sub>; g<sub>0,05</sub>; g<sub>0,15</sub>; g<sub>0,25</sub>; g<sub>0,3</sub>; ... g<sub>0,9</sub>; g<sub>0,95</sub> são idênticos às especificações para Hohenadl.

### 2.4 MÉTODO GRÁFICO

A cubagem de uma árvore pode ser feita pelo método gráfico, usando-se um sistema de eixos ortogonais, plotando-se neste as alturas no eixo das ordenadas e as áreas transversais tomadas ao longo do fuste no eixo das abscissas. Foi então construído um gráfico em papel milimetrado comum para cada uma das 15 árvores. As áreas transversais foram baseadas em diâmetros medidos à zero metro; 0,3 m; 0,7 m; 1,3 m; 2,0 m; 3,0 m; 4,0 m; e assim de metro em metro até o ápice da árvore. A área delimitada pela curva resultante e os eixos, devidamente corrigida pelas escalas dos dois eixos resulta no volume da árvore.

Os desvios ou erros percentuais foram calculados para todos os métodos de cubagem em relação ao xilômetro através da seguinte expressão, por exemplo para o volume obtido por Hohenadl, temos:

$$D \% = [(V. \text{Xilômetro} - V. \text{Hohenadl}) / V. \text{Xilômetro}] * 100$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A comparação dos resultados obtidos através das fórmulas de Hohenadl e FAO com os obtidos através do xilômetro, foi mais simples do que as análises feitas por MACHADO & NADOLNY (1991) quando compararam os resultados obtidos por seção através das fórmulas de Smalian, Huber e Newton, tendo em vista que se pode comparar no presente caso apenas os volumes totais, enquanto que no trabalho anterior pode-se fazer comparações de volumes por seções ao longo do fuste das árvores.

TABELA 1: Volumes (m<sup>3</sup>) totais individuais e médios (por classe de DAP) calculados pelos métodos de HOHENADL e FAO, 5 e 10 seções e respectivos desvios (D.HOH. e D.FAO), em %, em relação ao volume obtido pelo XILÔMETRO.

A. N°	5 SEÇÕES					10 SEÇÕES				
	XIL.	HOH.	D.HOH.	FAO	D.FAO	HOH.	D.HOH.	FAO	D.FAO	
01	0,340	0,326	4,09	0,326	3,91	0,323	4,93	0,327	3,71	
02	0,241	0,234	3,17	0,237	1,83	0,238	1,68	0,242	0,02	
03	0,300	0,299	0,02	0,297	1,03	0,297	0,97	0,301	-0,57	
04	0,328	0,305	6,90	0,305	6,86	0,315	3,85	0,324	1,03	
05	0,380	0,349	8,01	0,349	7,97	0,351	7,64	0,359	5,33	
06	0,731	0,713	2,46	0,718	1,70	0,722	1,26	0,732	-0,08	
07	0,630	0,648	-2,94	0,654	-3,91	0,605	4,02	0,613	2,63	
08	0,648	0,621	4,14	0,614	5,27	0,628	3,09	0,641	1,20	
09	0,564	0,497	11,93	0,518	8,22	0,558	1,26	0,555	1,65	
10	0,674	0,667	0,93	0,686	-1,87	0,692	-2,72	0,695	-3,26	
11	1,357	1,392	-2,20	1,371	-1,06	1,391	-2,49	1,415	-4,28	
12	1,106	1,277	-15,44	1,249	-12,96	1,156	-4,53	1,159	-4,86	
13	0,956	0,972	-1,70	0,995	-4,11	1,032	-7,94	1,037	-8,55	
14	1,342	1,429	-6,47	1,437	-7,04	1,461	-8,81	1,487	-10,78	
15	1,568	1,522	2,89	1,526	2,89	1,550	1,12	1,593	-1,59	
MÉDIAS CL.	XIL.	HOH.	D.HOH.	FAO	D.FAO	HOH.	D.HOH.	FAO	D.FAO	
IN	0,318	0,303	4,70	0,303	4,63	0,305	4,12	0,311	2,18	
MD	0,650	0,629	3,07	0,638	1,72	0,641	1,34	0,647	0,34	
SP	1,266	1,318	-4,17	1,315	-3,89	1,318	-4,12	1,338	-5,74	
GE	0,745	0,750	-0,80	0,752	-1,05	0,754	-1,36	0,765	-2,84	

TABELA 2 : Volumes totais individuais e médios calculados pelo método GRÁFICO e respectivos desvios (%) em relação ao volume obtido pelo XILÔMETRO.

A.Nº	XIL.	MET. GRA.	DESV.	A.Nº	XIL.	MET. GRA.	DESV.
01	0,340	0,333	1,95	09	0,564	0,556	1,50
02	0,241	0,241	0,44	10	0,674	0,691	-2,44
03	0,300	0,311	-3,52	11	1,357	1,414	-4,04
04	0,328	0,328	-0,05	12	1,106	1,220	-9,36
05	0,380	0,373	1,77	13	0,956	1,024	-6,67
06	0,731	0,739	-1,16	14	1,342	1,405	-4,46
07	0,630	0,614	2,66	15	1,568	1,579	-0,71
08	0,648	0,645	0,62				
MÉDIAS	XIL.	MET. GRA.	DESV.	MÉDIAS	XIL.	MET. GRA.	DESV.
INFER.	0,318	0,317	0,19	SUPER.	1,266	1,266	-4,95
MÉDIA	0,650	0,649	0,10	GERAL	0,745	0,765	-2,75

A TABELA 1 apresenta os resultados das fórmulas que usam comprimentos relativos à altura total da árvore. Verifica-se em ambas as tabelas uma tendência de subestimativa dos volumes para as árvores das classes média e superior, enquanto que para as árvores de classe superior existe uma nítida tendência de superestimativa dos volumes, quando comparados com os obtidos pelo xilômetro.

A TABELA 2 mostra os resultados obtidos através do método gráfico de cubagem. Novamente as tendências observadas são de subestimativa dos volumes das árvores das classes inferior e média e superestimativa para as da classe superior.

Observa-se que a fórmula de Hohenadl, utilizando 5 seções apresentou erros maiores na classe inferior, em média de + 4,7 % para as 5 árvores. Na classe intermediária este erro resultou em torno de + 3,0 %, enquanto na classe superior de diâmetro, foi detectado um erro médio de - 4,17 %.

Para a fórmula da FAO, utilizando-se 5 seções, foram observadas essas mesmas tendências nos erros percentuais para as classes superior e inferior, porém na classe média o erro foi menor, situando-se em + 1,72 %. Estas mesmas fórmulas, usando-se 10 seções, apresentaram resultados um tanto distintos, porém com a mesma tendência de erros positivos para as classes inferior e média respectivamente de + 4,11 % e + 1,33 % para a fórmula de Hohenadl e + 2,17 % e + 0,34 % para o método da FAO. Na classe superior esses erros foram negativos, com valores de - 4,11 % e - 5,74 % respectivamente para a fórmula de Hohenadl e FAO.

O método gráfico apresentou erros relativos bem baixos, na ordem de + 0,19 % e + 0,098 % respectivamente para as classes inferior e média e erros maiores e negativos, de - 4,95 %, considerando-se as médias das 5 árvores de cada classe.

A análise estatística dos resultados obtidos pelos 5 métodos de cubagem, tendo os volumes obtidos pelo xilômetro como comparadores foi baseada na TABELA 3, utilizando-se o delineamento de BLOCOS AO ACASO, definindo-se como tratamentos os volumes obtidos através do xilômetro, da fórmula de Hohenadl usando 5 e 10 seções, do

TABELA 3 : Volumes médios, em m<sup>3</sup>, obtidos por diferentes métodos de cubagem e por classe de diâmetro.

TRATAMENTOS (Métodos cubagem)	CLASSES DE DIÂMETRO			
	Inferior	Média	Superior	TOTAL
XILÔMETRO	0,3178	0,6496	1,2659	2,2334
HOHENADL (10 SEÇ.)	0,3048	0,6409	1,3180	2,2637
FAO (10 SEÇ.)	0,3109	0,6474	1,3386	2,2968
HOHENADL (5 SEÇ.)	0,3029	0,6296	1,3187	2,2567
FAO (5 SEÇ.)	0,3031	0,6384	1,3151	2,2567
GRÁFICO	0,3172	0,6502	1,3459	2,3133

TABELA 4 : Análise de variância relativa às fórmulas de Hohenadl, FAO e método gráfico.

F.VARIAÇÃO	G.L.	Q.M.	F Calc.
BLOCOS	2	1.58625606	(classes de DAP)
TRAT.	5	0.00300534	1,01 (ns) (fórmulas e métodos)
ERRO	10	0.00029718	
TOTAL	17		F tabelados : (5;10;0,05) = 3,33 (5;10;0,01) = 5,64

método da FAO, também com 5 e 10 seções e método gráfico de cubagem, perfazendo um total de 6 tratamentos. As classes de DAP foram definidas como blocos.

A TABELA 4 apresenta os resultados da análise de variância. Como se observa pelos valores de F calculado e F tabelados, não houveram diferenças significativas entre os tratamentos, tanto à nível de 1 % como de 5 %, não havendo portanto a necessidade da continuidade dos testes de comparação de médias.

#### 4. CONCLUSÕES

Embora a análise estatística não tenha revelado diferenças significativas entre os diferentes métodos de cubagem, o método da FAO tanto em 5 como em 10 seções teve um desempenho ligeiramente superior à fórmula de Hohenadl. Certamente a tomada de 2 diâmetros adicionais na primeira seção contribuiu para isso.

Os volumes obtidos através do método gráfico tiveram um desvio pequeno em relação aos volumes determinados pelo xilômetro para as classes de diâmetro médio e inferior, como era esperado, porém esse desvio foi relativamente alto para a classe superior de diâmetro sem uma explicação lógica para isso.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GOMES, A. M. A. Medição dos arvoredos. Lisboa, Livraria Sá da Costa, 1957. 413 p.
- HUSCH, B.; MILLER, C. I. & BEERS, T.W. Forest mensuration. 3ª ed. New York, Ronald Press, 1982. 402 p.
- MACHADO, S. A. & NADOLNY, M. C. Comparação de métodos de cubagem de árvores e de diversos comprimentos de seção. In: Anais do III Congresso Florestal e do Meio Ambiente do Paraná, Volume I, Associação Paranaense de Engenheiros Florestais. Curitiba, 1991, pág. 89.
- PAULA NETO, F. de. Tabela volumétrica com e sem casca, para Eucalyptus saligna. Viçosa. Rev. Árvore, SIF. 1(1): 31-53, 1977.
- 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. Viçosa, 1977. 98 p. (Dissertação, Mestrado). Universidade de Viçosa.
- SOARES, R. V. Biometria (Delineamento de experimentos). Curitiba, Fupel, 1982. 98 p.
- PRODAN, M. Holzmesstehre. Frankfurt en Main, J. D. Souerlangers Verlag, 1965. 644 p.