

Sebastião do Amaral Machado*

Edson Rocetão Garcia**

SUMMARY

The objective of this research was to test Meyer's methodology to calculate bark volume as a percent of total volume with bark, and to see how accurate it is. The data came from 196 Pinus taeda trees planted in stands located in the central region of Paraná State — Brasil. All trees were felled down and their diameters inside and outside bark measured at 0,1m, 0,7m, 1,3m, 2,3m, 3,3m and so on along the tree stem. The observed volume over and under bark of every tree was calculated using the Smalian formula. Thus it was possible to compare the bark volumes in percent obtained by the Meyer's formula with the observed volumes obtained by the conventional formula.

It was observed that the Meyer's formula, using only diameter measurements at dbh, overestimated the percent of bark volume for all dbh classes. It was also observed that the relation between diameter inside bark over diameter outside bark is not constant along the stem.

1. INTRODUÇÃO

A determinação e o consequente conhecimento do volume da casca é importante nos casos que esta tem valor comercial. Também quando interessa o volume do tronco limpo, deve-se conhecer previamente o volume da casca, percentualmente ao volume aproveitável do fuste.

MEYER¹ em 1946 desenvolveu metodologia para estimar espessura da casca, bem como seu volume em porcentagem, conhecendo-se apenas os diâmetros com e sem casca à altura do peito. Esta metodologia foi usada por STAYTON & HOFFMAN⁶ para *Acer saccharum*, Marsh, por SCHNEIDER & SILVA⁵ para *Acacia Mearnsii* de Wild, por MACHADO³ para diversas espécies de bosques tropicais.

No presente trabalho testou-se a metodologia de Meyer para verificar a sua aplicabilidade à plantações de *Pinus taeda*, localizados na região central do Paraná, com idades variando de 5 a 18 anos. Como termo de comparação obteve-se também os volumes reais com e sem casca de todas as árvores usando a fórmula de Smalian. Desta forma pode-se comparar os resultados dos volu-

mes da casca em porcentagem, obtidos pelo método de Meyer e pelo método convencional. Ademais, testou-se se o fator de casca "K" descrito na metodologia permanece constante ao longo do fuste.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Características da Área de Estudo

A presente pesquisa foi desenvolvida usando dados de plantações de *Pinus taeda* das Indústrias Klabin, localizadas na região central do Estado do Paraná e mais especificamente no município de Telêmaco Borba.

Estas plantações situam-se numa região de transição dos campos gerais para a região de florestas altas. A precipitação média anual nesta área é de 1.399 milímetros, com temperatura anual média de 19° Celsius. A altitude da região varia de 700 a 1000 metros.

2.2. Dados

Os dados provêm de 196 árvores, distribuídas em todas as classes de idade de 6 a 18 anos e em todas as classes de diâmetro de 6 a 46 centímetros no D.A.P.

* Professor Titular do Departamento de Silvicultura e Manejo da UFPR. Engenheiro Florestal M.Sc., Ph.D — CREA 2413 D — 7ª Região — Bolsista do CNPq.

** Estudante de Engenharia Florestal, Monitor da Disciplina de Silvimetria.

Na maioria dos casos os diâmetros com casca e espessura da casca foram medidos a 0,10 m, 0,50 m, 1,30 m e daí a cada metro. Em outros casos, tanto os diâmetros com casca, como a espessura da casca foram tomados a 0,10 m, 1,30 m e daí a cada 1,20 m de intervalo.

Os volumes reais com casca, bem como os volumes reais sem casca de cada árvore foram calculados através da fórmula de "Smalian" e a fórmula do cone para a seção do topo da árvore. As somatórias dos DAP_{c.c.}, DAP_{s.c.}, volumes reais com casca (v_{r c.c.}) e volumes reais sem casca (v_{r s.c.}) serviram de base para os cálculos dos volumes da casca em porcentagem, por classe de DAP, conforme consta no quadro 1, com os dados já agrupados.

2.3. Fórmula de Meyer

MEYER⁴ em 1946 desenvolveu devidutivamente uma fórmula para calcular o volume da casca em porcentagem, baseada apenas na medição dos DAP com casca (D) e DAP sem casca (d). Este autor partiu do princípio de que há uma relação linear muito forte entre D e d. A linha de regressão normalmente passa por quase todos os pontos e pela origem, ou muito próximo dela.

Assim:

$$d = b_0 + b_1 D$$

Sendo b_0 aproximadamente igual a zero e substituindo b_1 pela constante K, resulta:

$$d = kD \quad (1) \quad \text{e} \quad K = \frac{d}{D} \quad \text{ou} \quad K = \frac{\sum d}{\sum D}$$

O volume com casca (v_{c.c.}) e o volume sem casca (v_{s.c.}) do fuste, assumindo o mesmo fator de forma são dados pelas expressões:

$$v_{c.c.} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h \cdot f$$

$$v_{s.c.} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h \cdot f$$

Substituindo d pelo seu valor em (1), resulta:

$$v_{s.c.} = \frac{\pi}{4} (kD)^2 \cdot h \cdot f$$

ou

$$v_{s.c.} = \frac{\pi}{4} (K^2) D^2 \cdot h \cdot f$$

Esta última expressão é igual a $v_{c.c.} \cdot K^2$, donde resulta:

$$v_{s.c.} = v_{c.c.} \cdot K^2 \quad (2)$$

ora:

$$\text{Volume da casca, } v_c = v_{c.c.} - v_{s.c.}$$

Substituindo v_c pelo seu valor em (2), resulta:

$$v_c = v_{c.c.} - v_{c.c.} \cdot K^2 \quad \text{ou}$$

$$v_c = v_{c.c.} (1-K^2) \quad (3)$$

Sabe-se que o volume real da casca em porcentagem v% é dado por:

$$v \% = \frac{(v_c - v_{s.c.}) 100}{v_{c.c.}}$$

ou

$$v \% = \frac{(v_c) 100}{v_{c.c.}}$$

Substituindo v_c pelo seu valor em (3) resulta:

$$v \% = \frac{v_{c.c.} (1-K^2) 100}{v_{c.c.}}$$

Simplificando resulta finalmente a equação 4:

$$v \% = (1-K^2) 100 \quad (4)$$

2.4. Cálculo do Volume da Casca em Porcentagem

O volume da casca em porcentagem foi calculado através da equação (4). Como MEYER⁴, HUSCH¹ indicaram que o fator "K" permanece constante ao longo de todo o fuste, aplicou-se a equação (4) para medições tomadas no DAP, à um quarto (0,25 h), ao meio (0,5 h) e à três quartos (0,75 h) da altura total (h), separadamente para cada classe de DAP.

Como testemunha ou valor para comparação, calculou-se também o volume real da casca em porcentagem ($v\%$) pela expressão:

$$v\% = \left(\frac{v_{c.c} - v_{s.c}}{v_{c.c}} \right) 100 \quad \text{ou}$$

$$v\% = \left(\frac{\sum v_{c.c} - \sum v_{s.c}}{\sum v_{c.c}} \right) 100$$

Os volumes da casca em porcentagem calculados por classe diamétrica, apresentam tendência linear em função do DAP. Para traçar as linhas estimativas do $v\%$ em função do DAP, usou-se a equação da linha reta

$$\begin{matrix} v\% &= b_0 + b_1 D \\ &\downarrow \quad \downarrow \end{matrix}$$

Foram estimados os coeficientes deste modelo para os $v\%$ tomados no DAP, a 0,25 h, 0,5 h e 0,75 h.

Substituindo os coeficientes no modelo, resultaram equações que serviram para definir pontos para o traçado de linhas estimativas da $v\%$ em função do DAP, as quais serviram para uma comparação visual dos resultados.

3. RESULTADOS

3.1. Volume da Casca em Porcentagem

De posse dos dados individuais dos diâmetros à altura do peito com casca (DAP_{c.c.}) e sem casca (DAP_{s.c.}), de cada uma das 196 árvores medidas, bem como de seus respectivos volumes com casca ($v_{c.c.}$) e sem casca ($v_{s.c.}$), decidiu-se agrupar estes dados por classe de DAP, com intervalo de 4 centímetros.

O Quadro 1 apresenta os resultados da somatória destas variáveis por classe diamétrica, com as respectivas freqüências ou número de árvores.

Quadro 1 — Somatórios dos DAP c/c, DAP s/c, Volume c/c e Volume s/c das 196 árvores agrupadas por classe de diâmetro de 4 cm de amplitude.

Nº de Árvores	Classe DAP (cm)	Somatório DAP c/c	Somatório DAP s/c	Somatório Volume Real c/c	Somatório Volume Real s/c
6	6-10	47,8	42,8	0,1331	0,1084
31	10-14	362,5	317,7	1,5896	1,2602
40	14-18	652,3	571,3	4,9633	3,9684
38	18-22	756,7	678,5	7,1822	6,0486
27	22-26	644,3	578,7	8,8047	7,5491
13	26-30	361,7	324,4	6,6215	5,692
13	30-34	410,9	374,5	8,8811	7,7874
13	34-38	468,1	431,7	12,0927	10,6415
10	38-42	396,5	366,2	10,5451	9,6934
5	42-46	214,1	200,3	6,4911	5,8595
196					

Os dados agrupados deste quadro serviram de base para o cálculo do volume da casca em porcentagem ($v\%$) através da fórmula de MEYER, desenvolvida na metodologia, bem como através da fórmula tradicionalmente usada. Os resultados são apresentados no Quadro 2, onde se observa valores de k , $v\%$, calculado pelos dois métodos, bem como de seus respectivos valores estimados.

Quadro 2 — Volume da casca em porcentagem pela fórmula

$$v\% = (1-K^2) \times 100 \text{ e volume real da casca em porcentagem pela fórmula}$$

$$\Sigma v_{rc} = \frac{\Sigma v_{c/c}}{\Sigma v_{c/c}}$$

$$la v\% = (\frac{\Sigma v_{c/c}}{\Sigma v_{c/c}}) \cdot 100 \text{ com seus respectivos valores estimados pelas equações de regressão.}$$

CLASSE DE DAP(cm)	$K = \frac{\sum d}{1.3 \sum D}$	K^2	$v\% = \frac{v\%}{c} = (1-K^2) \times 100$	$v\% = v\%_{estimado}$	$v\%_{rc}$	$v\%_{rc}$
8,0	0,8953974	0,817366	19,826334	24,313639	18,557476	21,661064
12,0	0,8764137	0,7681011	23,189886	23,083665	20,722194	20,104396
16,0	0,875834	0,7670676	23,293231	21,85369	20,045131	18,547729
20,0	0,8966565	0,8039929	19,600706	20,623716	15,783465	16,991061
24,0	0,898184	0,8067346	19,326537	19,393742	14,260565	15,434393
28,0	0,8968758	0,8043863	19,561368	18,163767	14,037605	13,877726
32,0	0,9114139	0,8306754	16,932458	16,933793	12,314916	12,321058
36,0	0,9222388	0,8505244	14,947553	15,703818	12,000628	10,764391
40,0	0,9235813	0,8530024	14,699751	14,473844	8,0767371	9,207723
44,0	0,9355441	0,8752428	12,475717	13,24387	9,730246	7,6510554

Os volumes da casca em porcentagem estimados provém de equações de regressão linear simples desenvolvidas, usando os $v\%$ e $v\%$ calculados como variável dependente e os centros de classe de diâmetro, como variável independente. Estas equações com seus respectivos ajustes e precisão são as seguintes:

a) $v\%_{c\ estimado} = 26,773588 - 0,30749 \text{ DAP}$

Coeficiente de determinação $R^2 = 0,84329$

Erro Padrão da Estimativa em Porcentagem $s\%_{xy} = 6,018\%$

b) $v\%_{rc\ estimado} = 24,77439 - 0,38917 \text{ DAP}$

$R^2 = 0,88738$

$s\%_{xy} = 7,776\%$

3.2. Volume da Casca em Diferentes Alturas

Segundo a mesma metodologia utilizada para o cálculo do volume da casca em porcentagem com dados do DAP, apresentou-se também os cálculos para os volumes da casca em porcentagem, com base nos diâmetros tomados à alturas relativas de 25%, 50% e 75% da altura total, ou 0,25 h, 0,50 h, e 0,75 h. Com isto pode-se verificar se o volume da casca em porcentagem permanece constante ao longo do fuste, como encontrou MEYER⁴ em sua pesquisa. Os resultados são apresentados nos Quadros 3, 4 e 5.

Além de traçar linhas estimativas do volume da casca em porcentagem em função do DAP desenvolveu-se regressões entre estas variáveis. A variável dependente $v\%$ foi calculada para as diferentes alturas mencionadas anteriormente. Foi usada a equação da linha reta em todos os casos. Os volumes estimados encontram-se na última coluna dos Quadros 3, 4 e 5.

Os coeficientes das equações resultantes, bem como o R^2 , S_{xy} e $s_{xy}\%$ são apresentados no Quadro 6.

Quadro 3 — Volume da casca em porcentagem ($v\%$) e do volume da casca estimado a 0,25 da altura total da árvore.

Classe de DAP	Amplitude de Classe (cm)	K 0,25 h	K^2	$v\% = \frac{(1-K^2)}{c} \times 100$	$v\%_{estimado}$
8,0	6-10	0,9162561	0,8395252	16,047476	20,227564
12,0	10-14	0,9011957	0,8121537	18,784627	18,90296
16,0	14-18	0,8963252	0,8033989	19,660109	17,578355
20,0	18-22	0,9176024	0,8419942	15,800578	16,25375
24,0	22-26	0,9305656	0,8659523	13,404761	14,929145
28,0	26-30	0,9304571	0,8657504	13,424959	13,60454
32,0	30-34	0,9362649	0,8765919	12,340804	12,278836
36,0	34-38	0,9448362	0,8927154	10,728456	10,955331
40,0	38-42	0,9448462	0,8927343	10,726566	9,630726
44,0	42-46	0,9557866	0,9173551	8,2644829	8,3061212

Quadro 4 — Volume da casca em porcentagem ($v\%$) e do volume da casca estimado a 0,5 da altura total da árvore.

Classe de DAP	Amplitude de Classe (cm)	K 0,5 h	K^2	$v\% = \frac{(1-K^2)}{c} \times 100$	$v\%_{estimado}$
8,0	6-10	0,9325842	0,8697132	13,028671	16,532901
12,0	10-14	0,9116195	0,8310502	16,894978	15,602027
16,0	14-18	0,9220206	0,8501219	14,987802	14,671152
20,0	18-22	0,932589	0,8697222	13,027775	13,740278
24,0	22-26	0,9387755	0,8812994	11,870054	12,809404
28,0	26-30	0,9289	0,8628552	13,714479	11,878529
32,0	30-34	0,9494949	0,9015405	9,8459435	10,947655
36,0	34-38	0,9485018	0,8996556	10,034434	10,01678
40,0	38-42	0,9449469	0,8929246	10,707536	9,085906
44,0	42-46	0,9638467	0,9290004	7,0999539	8,1550316

Quadro 5 — Volume da casca em porcentagem (v %) e do volume da casca estimado a 0,75 da altura total da árvore.

Classe de DAP	Amplitude de Classe (cm)	K 0,75 h	K ²	v % = $\frac{(1-K^2)}{c} \times 100$	v % c estimado
8,0	6-10	0,9463087	0,8955002	10,44998	17,163171
12,0	10-14	0,9158249	0,8387352	16,126472	16,481049
16,0	14-18	0,9087546	0,8259349	17,416503	15,798928
20,0	18-22	0,9199837	0,8463071	15,362989	15,116807
24,0	22-26	0,927317	0,8599169	14,008305	14,434686
28,0	26-30	0,928442	0,8620045	13,799545	13,752565
32,0	30-34	0,9318836	0,8683138	13,168614	13,070443
36,0	34-38	0,9388221	0,8813869	11,861306	12,388322
40,0	38-42	0,9362416	0,8765483	12,345167	11,706201
44,0	42-46	0,9566395	0,9151591	8,4840867	11,02408

Quadro 6 — Coeficientes e estatísticas das equações de regressão entre o volume da casca em porcentagem calculados à diferentes alturas e o diâmetro à altura do peito.

Altura relativa	b ₀	b ₁	R ²	S _{xy}	S % _{xy}
0,25 h	22,87677	-0,33115	0,79656	1,51742	9,757
0,5 h	18,39465	-0,23272	0,76584	1,16675	8,808
0,75 h	18,52741	-0,17053	0,52108	1,48233	10,046

3.3. Comparação Visual dos Resultados

Usando-se as respectivas equações de regressão, traçou-se as linhas estimativas do volume da casca em porcentagem em função do DAP, como mostra a Figura 1. Além das linhas estimativas foram também plotados os valores reais dos volumes

$$\text{da casca em porcentagem calculados através da fórmula } v \% = \left(\frac{\sum v_{\text{c.c}} - \sum v_{\text{s.c}}}{\sum v_{\text{c.c}}} \right) 100$$

3.4. Valores médios

Normalmente tem-se o interesse ou curiosidade de se conhecer valores médios. Por isso preparou-se o Quadro 7, com base nos valores dos Quadros 2, 3, 4 e 5. Este quadro apresenta os k médios e volumes médios da casca em porcentagem, correspondentes à medições de diâmetros com e sem casca às alturas de 1,3 m, 0,25 h, 0,50 h, 0,75 h, bem como o volume médio real da casca em porcentagem.

Esta figura é bem elucidativa e mostra os resultados de forma clara.

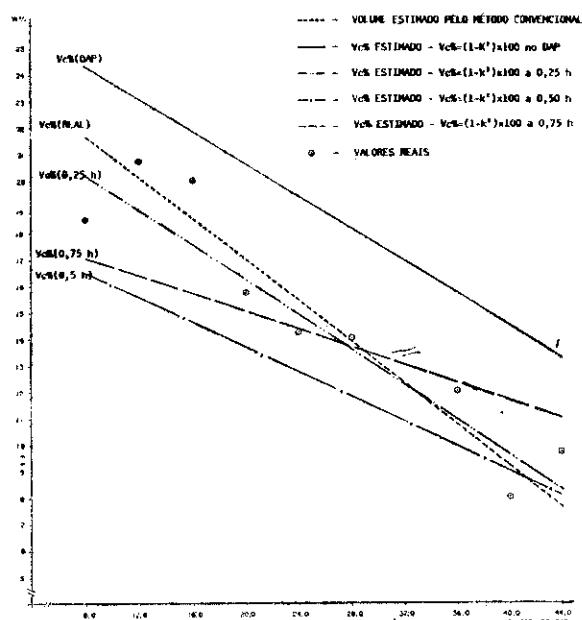


Figura 1 — Linhas de tendência dos volumes da casca em porcentagem tomados à diferentes alturas do fuste, estimados em função do DAP.

Quadro 7 — Valores médios resultante de medições à diferentes alturas do fuste.

Posição de medição	k médio	k^2 médio	$v\% = \frac{(1-k^2)}{c} \times 100$
1,30	0,9032129	0,8157936	18,42
0,25 h	0,9276136	0,8604669	13,95
0,50 h	0,9373279	0,8785836	12,14
0,75 h	0,9310167	0,8667922	13,32

Volume médio real da casca em porcentagem = 14,55

Como pode-se observar pelos dados do Quadro 7, o volume médio da casca em porcentagem calculado através de medições de diâmetros com e sem casca à 25% da altura total da árvore, foi o que mais se aproximou do volume médio real da casca em porcentagem calculado pelo método convencional.

4. Discussões

Observando-se o Quadro 2, verifica-se que o fator de casca k , calculado com medições de diâmetro com e sem casca na altura de 1,3 m, varia de 0,87 a 0,93, resultando por conseguinte uma variação de volume da casca em porcentagem de 23 a 12%. Estes valores estão dentro dos limites citados por HUSCH¹ MEYER⁴ encontrou valores de k variando de 0,85 a 0,95 para *Cinchona pubescens*, resultando em variações de 22,2% a 7,8% para o volume da casca. Trabalhando com diversas espécies de floresta tropical MACHADO³ encontrou variação de k de 0,91 a 0,96, o que conduz a dizer que a maioria das espécies tropicais possuem menor porcentagem de casca, quando comparada com espécies de regiões temperadas.

Comparando os volumes de casca em porcentagem calculados pelo método de MEYER $v\%$ e pelo método convencional v° verifica-se que o primeiro método super estimou os volumes de casca para todas as classes de diâmetro.

A pesquisa de MEYER⁴ revelou que o fator de casca k permanece constante ao longo do fuste. Isto significa então que para o cálculo do volume da casca em porcentagem necessita-se apenas medir os diâmetros com e sem casca à altura de 1,3 m. No entanto outros pesquisadores não encontraram esta constância, como foi o caso de JOHNSON² para Douglas fir na costa do Pacífico, bem como STAYTON & HOFFMAN⁶ para *Acer Saccharum* March.

Na presente pesquisa verificou-se também uma inconstância no fator k ao longo do fuste, o que conduziu a porcentagem do volume da casca diferente às alturas de 1,3 m, 0,25 h, 0,5 h e 0,75 h, como pode ser observado nos Quadros 2, 3, e 4 e 5, bem como na Figura 1. Pelos resultados apresentados nesses quadros e Figura 1, evidenciou-se que o valor de k em média cresce da base para o meio da altura, reduzindo-se novamente em direção ao topo. Isto resulta em dizer que o volume da casca em porcentagem decresce até a metade da

árvore, voltando a crescer daí para cima. Na pesquisa de STAYTON & HOFFMAN⁶ o k decresceu com o aumento da altura ao longo do fuste.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados da presente pesquisa pode-se concluir que:

— O fator de casca k não é constante ao longo do tronco da árvore, o que implica dizer que o método de MEYER para determinação do volume de casca com base em medição do diâmetro com casca e sem casca à altura de 1,3 m superestimou muito esse volume para todas as classes de DAP.

— Dentre as alturas relativas testadas a de 0,25 h foi a que se apresentou mais adequada para a aplicação do método de MEYER, pois foi a que mostrou resultados mais próximos dos valores observados.

6. RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi testar a metodologia de MEYER, para calcular o volume da casca como uma porcentagem do volume total com casca e testar a sua acuracidade.

Os dados provieram de 196 árvores de plantações de *Pinus taeda* localizadas na região central do Estado do Paraná. Todas as árvores foram derrubadas e seus diâmetros com e sem casca medidos à 0,1m, 0,7m, 1,3m, 3,3m, 5,3m e assim a cada 2 metros ao longo do fuste.

Os volumes reais com e sem casca foram calculados pela fórmula de Smalian. Assim pode-se comparar os volumes da casca em porcentagem obtidos pela fórmula de MEYER com os valores reais obtidos pela fórmula convencional.

Verificou-se que a fórmula introduzida por MEYER, usando medições de diâmetros apenas no DAP superestimou o volume da casca em porcentagem para todas as classes de DAP. Verificou-se também que a relação de diâmetro sem casca sobre diâmetro com casca não permanece constante ao longo do fuste.

7. LITERATURA CITADA

1. HUSCH, B., MILLER, C.I., & BERRS, T.W. Forest Mensuration, 2nd ed. The Ronald Press Comp. New York. 1972. 410 p.
2. JOHNSON, F.A. Bark factors for Douglas Fir. U.S. Forest Service, Pacific N.W. For and Range Exp. Station. Res. Note 34. 1966.
3. MACHADO, S.A. & ALBERTIN, W. Volume da casca e do toco afetado com sapopemas em um bosque secundário tropical. Turrialba vol 23(4): 429-431. 1973.
4. MEYER, H.A. Bark Volume determination in trees. Journal of Forestry 44 (12): 1067-1070. 1946.
5. STAYTON, C.L. & HOFFMAN, M. Estimating sugar maple bark thickness and volume. U.S. Forest service. North For. Exp. Station. Res. Paper NC 38. 1969. 8 p.
6. SCHNEIDER, P.R. & SILVA, J.A. Teste de equações para predizer a espessura de casca e fator k para Acacia Negra (*Acacia Mearnsii* de Wild). Floresta vol. 10 (2):5-11. 1979.