



Universidade Federal do Espírito Santo
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Ciências Florestais e
da Madeira



CAPÍTULO VI

Mensuração de volume comercial

Parte 1

Professor Gilson Fernandes da Silva

Objetivos da parte 1

- Apresentar a definição e fazer menção aos principais métodos para medir o volume comercial.
- Apresentar métodos tradicionais de se medir o volume comercial.

1 - Volumes comerciais

Assim como os volumes totais, os volumes parciais podem ser determinados ou estimados por métodos diretos, indiretos ou estatísticos. ●

No caso dos métodos diretos, o xilômetro é um exemplo. No caso dos métodos indiretos, a cubagem rigorosa se aplica perfeitamente. Métodos estatísticos de análise de regressão também se aplicam para a obtenção de volumes comerciais.

Na sequência, serão apresentados alguns desses métodos específicos empregados na estimação de volumes comerciais.

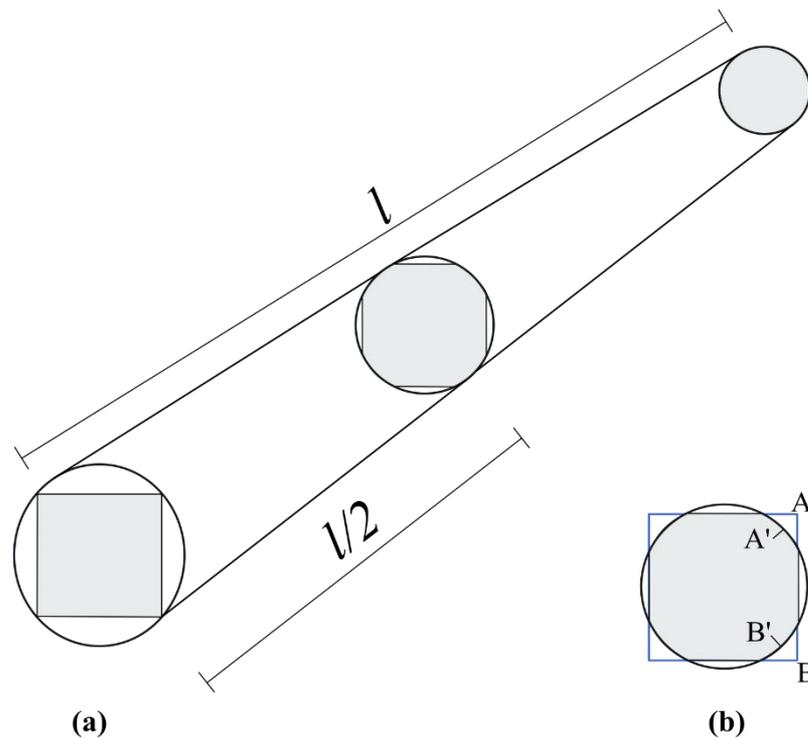
1.1 - Volume Francon ou do quarto deduzido

Este método procura obter o volume aproveitável de madeira aplicando-se descontos em relação ao volume total da tora de modo a se considerar aquela parte de maior valor comercial.

No passado e mesmo ainda hoje é comum o uso deste método de cálculo para o comércio de madeiras, especialmente para serrarias.

A ideia destes métodos de descontos é calcular o volume de madeira que o madeireiro poderia obter após serrar a tora. São métodos muito práticos baseados, entretanto, em fórmulas empíricas.

As fórmulas de Francon são derivadas do método inglês denominado de *Quarter Girth* ou *Hoppus*, que permite calcular o volume em pés cúbicos, enquanto as fórmulas de Francon expressam os volumes em metros cúbicos, sendo adaptadas, portanto, ao nosso sistema de medição.



De acordo com a Figura anterior, para se obter o volume aproveitável de madeira (v_F) basta medir a circunferência (c) na metade do comprimento da tora ($l/2$). Tomadas estas medidas, o volume Francon pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$v_f = \left(\frac{c}{4} \right)^2 l$$

Exemplo de cálculo: Considere uma tora de 5 metros cujo d_s a 2,5 metros é de 42 cm. Qual o volume Francon para esta tora?

$$c_{2,5} = 42\pi = 131,9469 \text{ cm}$$

Assim, tem-se:

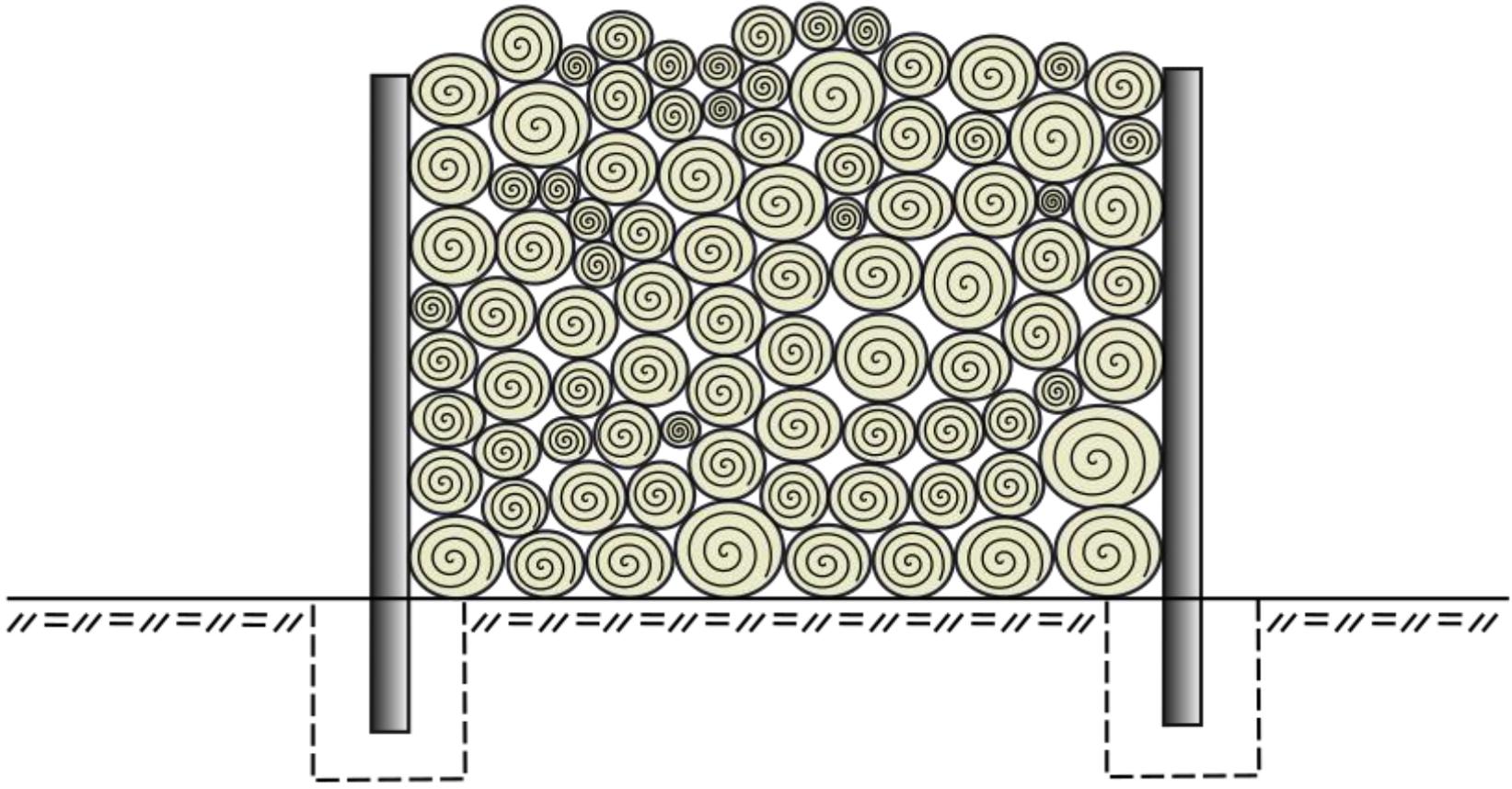
$$v_F = \left(\frac{1,319469}{4} \right)^2 5 = 0,54406 \text{ m}^3$$

1.2 - Volume de madeira empilhada

A obtenção do volume de madeira de uma pilha por meio da multiplicação das suas dimensões define o chamado *volume estéreo*.

Segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), o volume estéreo é o volume de uma pilha de madeira roliça, em que, além do volume sólido de madeira, estão incluídos os espaços vazios normais entre as toras.

Um estéreo consiste na quantidade de madeira contida em uma pilha de 1,0 m x 1,0 m x 1,0 m, cujas toras variam em área seccional, curvatura e forma, o que permite a existência de muitos espaços na pilha.



Segundo a Portaria do INMETRO n.º 130, de 7 de dezembro de 1999, o volume de madeira empilhada, em estéreo (*st*), pode ser obtido genericamente pela seguinte expressão:

$$v = x y z$$

v = volume da pilha, em *st*;

x = comprimento das toras, em metros;

y = comprimento da pilha, em metros;

z = altura da pilha, em metros.

⇒ **Fator de empilhamento ou cubicação**

$$F_e = \frac{\textit{Volume empilhado(st)}}{\textit{Volume sólido(m}^3\textit{)}} \geq 1,0$$

ou

$$F_c = \frac{\textit{Volume sólido(m}^3\textit{)}}{\textit{Volume empilhado(st)}} \leq 1,0$$

FIM

0002 1 0005



Referências

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

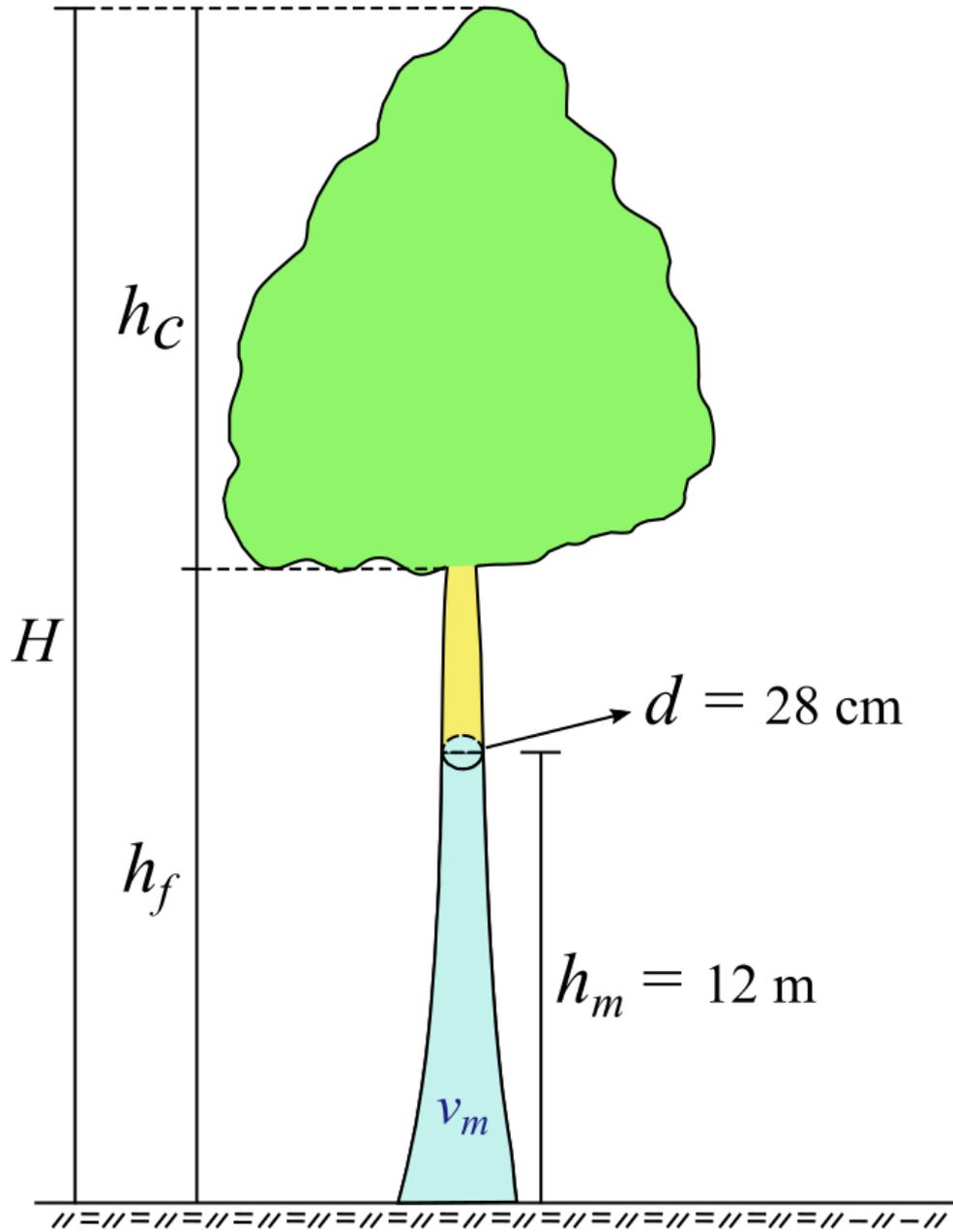
LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Árvore** v. 19, n.1, p. 65-79, 1995.

ODUM, E. P. **Ecologia**. São Paulo: Pioneira, 1977. 105p.

SANTOS, J. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira**. 121 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

SOARES, C. P. B. **Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 276p.





Universidade Federal do Espírito Santo
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Ciências Florestais e
da Madeira



CAPÍTULO VI

Mensuração de volume comercial

Parte 2

Professor Gilson Fernandes da Silva

Objetivos da parte 2

- Apresentar os principais métodos estatísticos de se mensurar volume comercial.
- Apresentar o método de múltiplos volumes.
- Apresentar o método de equações de afileamentos (*Taper*).

1.3 - Métodos estatísticos para obtenção de volumes comerciais

Assim como para o volume total, métodos estatísticos, especialmente a análise de regressão, podem ser utilizados para produzir estimativas de volumes comerciais.

Na sequência, serão apresentados dois desses métodos, tendo em vista o seu frequente uso no meio florestal, a saber: “**Modelos de Múltiplos Volumes e Modelos de Taper ou Afilamento**”.

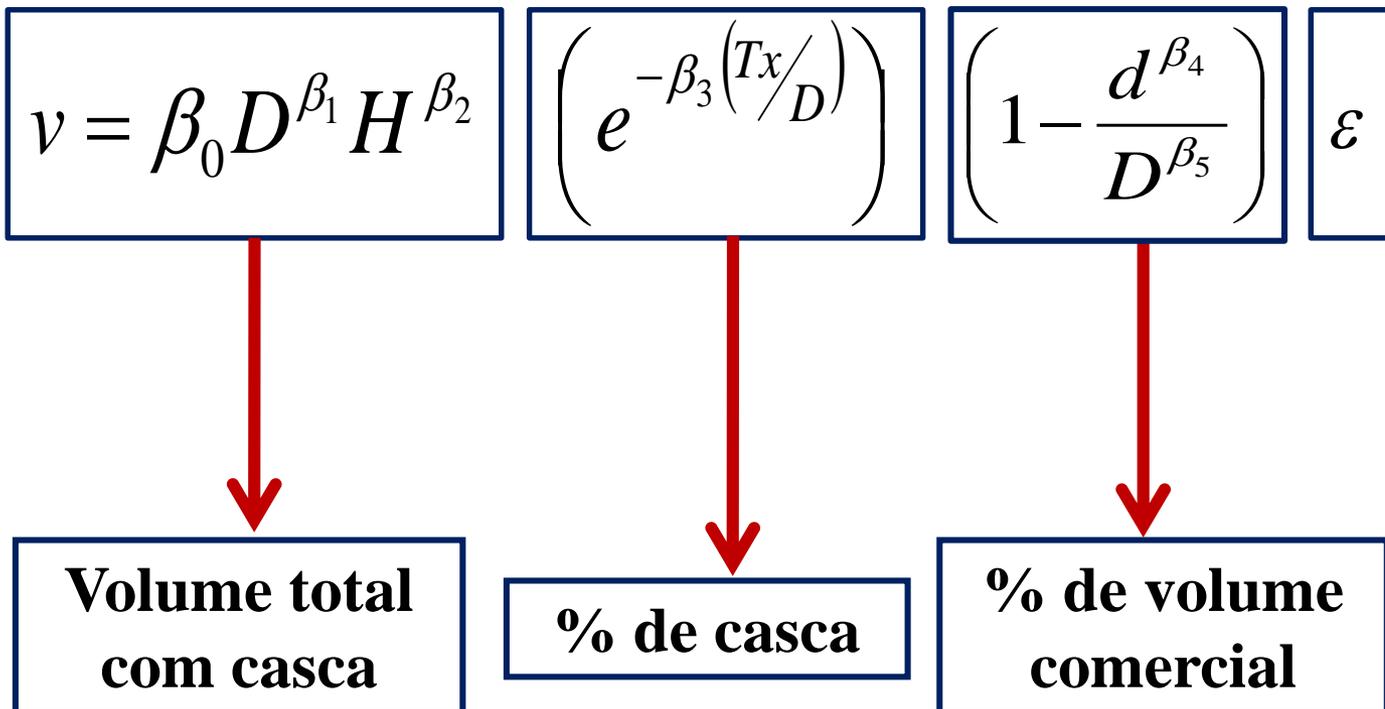
1.3.1 - Modelos de múltiplos volumes

Como exemplo de modelo de múltiplos volumes, pode-se citar o modelo desenvolvido por Leite et al. (1995), cuja forma estrutural é:

$$v = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} \left[\exp \frac{\beta_3 TX}{D} \right] \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^{1 + \beta_4 d} \right] \varepsilon$$

- ✓ Em que TX é uma variável binária, assumindo valores 0 e 1. Se $TX = 0$, a equação fornece o volume com casca. Se $TX = 1$, a equação fornece o volume sem casca.
- ✓ Já a variável d está associada ao volume comercial que se quer estimar.
- ✓ As variáveis D e H , correspondem, respectivamente, ao DAP e à altura total.

Este modelo pode sofrer variações, como a apresentada por Silva (1995), podendo ser caracterizado por três partes bem definidas:



Exemplo de aplicação: Com a equação ajustada a seguir, estimar os volumes totais, com e sem casca, e os volumes comerciais, com e sem casca, para um diâmetro mínimo de 10 cm (d) para uma árvore com $D = 15,90$ cm e $H = 18,80$ m.

$$\hat{v} = 0,00005 D^{1,71803} H^{1,14936} \left(e^{-2,74362(Tx/D)} \right) \left(1 - \frac{d^{3,06732}}{D^{3,12419}} \right)$$

$$R^2 = 99,30\% \quad e \quad s_{y.x} (\%) = 6,90\%$$

$$\hat{v} = 0,00005(15,90)^{1,71803} (18,80)^{1,14936} \left(e^{-2,74362\left(\frac{0}{15,90}\right)} \right) \left(1 - \frac{10^{3,06732}}{15,90^{3,12419}} \right)$$

$$v_c = 0,16884 \text{ m}^3$$

$$v_s = 0,14208 \text{ m}^3$$

$$v_{mc} = 0,13405 \text{ m}^3$$

$$v_{ms} = 0,11281 \text{ m}^3$$

1.3.2 - Modelos de Afilamento ou Taper

Estes modelos descrevem o afilamento natural do fuste da árvore, permitindo a estimação de volumes de partes do fuste para diversos usos.

Autor

Modelo

Kozak (1969)

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{h}{H}\right)^2 + \varepsilon$$

Demaerschalk (1972)

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 10^{2\beta_0} D^{2\beta_1-2} L^{2\beta_2} H^{2\beta_3} + \varepsilon$$

Ormerod (1973)

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = \left[\frac{H-h}{H-1,30}\right]^{2\beta_1} + \varepsilon$$

Biging (1984)

$$d = D\left\{\beta_1 + \beta_2 \ln\left[1 - (h/H)^{1/3} \lambda\right]\right\} + \varepsilon$$

⇒ Exemplo de aplicação do modelo de Kozak et al. (1969)

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{h}{H}\right)^2 + \varepsilon$$

$$\widehat{\left(\frac{d}{D}\right)^2} = 1,29722 - 2,61058\left(\frac{h}{H}\right) + 1,56506\left(\frac{h}{H}\right)^2$$

$$R^2 = 91,05\% \quad \text{e} \quad s_{y.x}(\%) = 16,89\%$$

Fonte: Equação ajustada por Silva (1993)

Considerando a equação ajustada para o modelo de Kozak, responder às seguintes questões:

a) Para uma árvore com altura total (H) igual 18,80 metros e DAP (D) igual a 15,90 cm, qual o diâmetro com casca do fuste (d) a 9,18 metros de altura (h)?

$$\hat{d} = D \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2}$$

$$\hat{d} = 15,90 \sqrt{1,29722 - 2,61058 \left(\frac{9,18}{18,80} \right) + 1,56506 \left(\frac{9,18}{18,80} \right)^2}$$

$$\hat{d} = 10,0 \text{ cm}$$

b) Para uma árvore com altura total (H) igual 18,80 metros e DAP (D) igual a 15,90 cm, a que altura (h) ocorre um diâmetro (d) igual a 10,0 cm?

$$\hat{h} = \frac{-\beta_1 H - \left[(\beta_1 H)^2 - 4\beta_2 (\beta_0 H^2 - (d^2 H^2 / D^2)) \right]^{\frac{1}{2}}}{2\beta_2}$$

$$\hat{h} = \frac{-(-2,61058)18,80 - \left[(-2,61058 \times 18,80)^2 - 4 \times 1,56506 (1,29722 \times 18,80^2 - (10^2 \times 18,80^2 / 15,90^2)) \right]^{\frac{1}{2}}}{2 \times 1,56506}$$

$$\hat{h} = 9,18 \text{ m}$$

c) Para a árvore da letra b, qual o volume do fuste do nível do solo até um diâmetro (d) igual a 10,0 cm?

$$v = \int_{h_1}^{h_2} \frac{\pi}{40000} (d^2) dh$$

Em que:

h_1 = limite inferior de altura, acima da qual deseja-se estimar o volume do fuste, em metros;

h_2 = limite superior de altura, abaixo da qual deseja-se estimar o volume do fuste, em metros;

d = diâmetro comercial que define o volume a ser estimado, em centímetros.

Considerando o modelo de Kozak et al. (1969) e resolvendo a expressão de volume anterior, tem-se:

$$\hat{v} = \frac{\pi}{40000} D^2 \left[\hat{\beta}_0 (h_2 - h_1) + \hat{\beta}_1 \left(\frac{h_2^2 - h_1^2}{2H} \right) + \hat{\beta}_2 \left(\frac{h_2^3 - h_1^3}{3H^2} \right) \right]$$

$$\hat{v} = \frac{\pi}{40000} \times 15,9^2 \left[1,29722(9,18 - 0) - 2,61058 \left(\frac{9,18^2 - 0^2}{2 \times 18,80} \right) + 1,56506 \left(\frac{9,18^3 - 0^3}{3 \times 18,80^2} \right) \right]$$

$$\hat{v} = 0,14295 \text{ m}^3$$

FIM

0002 1 0005

Referências

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

LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Árvore** v. 19, n.1, p. 65-79, 1995.

ODUM, E. P. **Ecologia**. São Paulo: Pioneira, 1977. 105p.

SANTOS, J. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira**. 121 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

SOARES, C. P. B. **Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 276p.



Universidade Federal do Espírito Santo
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Ciências Florestais e
da Madeira



CAPÍTULO VI

Mensuração de volume comercial

Parte 3

Professor Gilson Fernandes da Silva

Objetivos da parte 3

- Apresentar uma introdução aos métodos de mensuração da biomassa.
- Apresentar exemplos de metodologias de alguns destes métodos.

1.4 - Métodos de mensuração da biomassa

De acordo com Odum (1977), biomassa é toda massa orgânica produzida em uma determinada área, normalmente expressa em termos de peso seco.

A quantificação da biomassa ganha cada vez mais importância, podendo-se citar as seguintes justificativas:

- ✓ No caso de produtos florestais como celulose e energia, é mais importante produzir biomassa do que volume;
- ✓ Estudos relacionados à avaliação de risco de incêndios;
- ✓ Avaliação de ciclagem de nutrientes;
- ✓ Quantificação da fixação de carbono pelas florestas.

1.4.1 - Mensuração da biomassa de árvores individuais

Entre os componentes da árvore nos quais se faz a mensuração da biomassa, tem-se:

- ✓ A copa (galhos, folhas e a ponta do fuste da árvore);
- ✓ O fuste (madeira e casca);
- ✓ O sistema radicular (pivotante, raízes finas e grossas).

Na sequência, são apresentados alguns métodos para mensuração da biomassa, tal como apresentado por Soares et al. (2007).

1.4.1.1 - Biomassa de galhos e folhas

A seguir é apresentada a sequência de passos que devem ser seguidos para a mensuração da biomassa de folhas em uma árvore Soares et al. (2007):

1. Após o abate da árvore, pesar todo o conjunto de folhas para obter o peso total úmido de folhas no campo - $PU(c)$;
2. Retirar uma amostra de aproximadamente 50 gramas do conjunto de folhas - $PU(a)$;
3. Levar a amostra de folhas para o laboratório para a determinação do peso seco da amostra - $PS(a)$. A secagem deve ser realizada em estufa de circulação forçada de ar em temperatura menor que 100 °C para que não haja combustão do material. O material deverá permanecer na estufa até a estabilização do seu peso seco.

A biomassa de folhas e galhos [$PS(c)$] de uma determinada árvore pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$PS(c) = \frac{PU(c)PS(a)}{PU(a)}$$

Exemplo: Seja uma amostra de folhas de 100 gramas, retirada de um conjunto de 3,6 kg de folhas de uma árvore, que após a sua secagem em estufa apresentava 53,7 gramas. Qual a biomassa total de folhas para a árvore descrita?

$$PS(c) = \frac{3,6 \times 0,0537}{0,1} = 1,9332 \text{ kg}$$

1.4.1.2 - Biomassa do fuste

Entre as diferentes metodologias para a determinação da biomassa do fuste, incluindo a madeira e a casca, tem-se a seguinte metodologia (SOARES et al., 2007):

1. Cubar rigorosamente o fuste da árvore para obter o volume com casca, o volume sem casca e o volume de casca;
2. Retirar discos de madeira de 2,5 cm de espessura a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore;
3. Retirar de cada disco amostras (cunhas) contendo casca e madeira para a determinação da densidade básica média da madeira e da casca em cada ponto de amostragem do fuste.

Assim sendo, a biomassa da madeira e da casca [PS(c)] presentes no fuste da árvore pode ser obtida por:

$$PS(c) = v(DBM \text{ ou } DBC)$$

Exemplo: Seja o volume (v), sem casca, do fuste de uma árvore igual a $0,5563 \text{ m}^3$ e a densidade da madeira (DBM) igual a $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$. A biomassa da madeira presente neste fuste será de:

$$PS(c) = 0,5563 \times 400 = 222,52 \text{ kg}$$

Obs: Para fornecer a estimativa da biomassa em kg/m^3 , houve a necessidade de multiplicar a densidade fornecida por 1000.

1.4.1.3 - Biomassa da raiz

Soares et al. (2007) sugerem a seguinte sequência de operações para estimar a quantidade de biomassa de raízes de uma determinada árvore em plantios, com um menor custo:

1. Escavar um quarto ($1/4$) da área útil da árvore;
2. Retirar toda a terra até não encontrar mais raízes;
3. Peneirar toda a terra para separar as raízes da terra;
4. Pesquisar todas as raízes encontradas e extrapolar para a área útil da planta (multiplicar por 4);
5. Abater a árvore, retirar e pesar a raiz pivotante, quando ela estiver presente;
6. Do total de raízes, retirar uma amostra contendo raízes finas e grossas – $PU(a)$;
7. Secar a amostra de raízes em estufa de circulação forçada de ar a aproximadamente $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $PS(a)$.

Assim sendo, a biomassa da madeira e da casca [$PS(c)$] presentes no fuste da árvore pode ser obtida por:

$$PS(c) = \frac{PU(c)PS(a)}{PU(a)}$$

Cabe apenas ressaltar que o peso úmido de raízes no campo [$PU(c)$] será a soma do peso de raízes obtido no item 4 mais o peso da raiz pivotante, se esta estiver presente.

1.4.1.4 - Biomassa da manta orgânica

Uma das alternativas para a medição da manta orgânica é uso de caixas coletoras dispostas entre as árvores. As caixas coletoras devem possuir em torno de 1 m² de base, 10 cm de altura, fundo de náilon, e ficar suspensas cerca de 50 cm de altura.

Contudo, quando se deseja conhecer a quantidade de material orgânico, em decomposição, depositado sobre o solo, são lançadas pequenas parcelas retangulares (gabaritos), que variam de 30 a 50 cm de lado, entre as árvores.

1.4.1.5 - Métodos estatísticos de estimação da biomassa

Assim como para a estimação de volume, modelos estatísticos de regressão podem ser empregados para estimar a biomassa em povoamentos florestais.

Neste caso, as variáveis dependentes podem ser a biomassa de madeira, folhas, galhos e raízes. Em Soares (1995) pode-se encontrar exemplos dessas equações, como a mostrada a seguir:

$$\widehat{\ln(PST)} = -5,60101 + 1,72399 \ln(DH)$$

$$R^2 = 96,77\% \quad e \quad s_{y.x}(\%) = 14,71\%$$

1.4.2 - Produção de biomassa em florestas

Espécie	Idade (anos)	Região	Esp. (m)	Biomassa (t.ha ⁻¹)						Referência	
				Caule	Casca	Galhos	Folhas	Raiz	Total		M. org
<i>E. grandis</i>	4	Curvelo/MG	3x1	39,94	6,52	6,38	5,94	0,00	58,79	7,93	Pereira (1990)
<i>E. urophylla</i>	4	Curvelo/MG	3x1	38,12	6,89	5,65	6,78	0,00	57,45	7,70	
<i>E. grandis</i>	6	B. Desp./MG	3x2	61,84	10,95	9,13	3,33	12,69	98,25	14,03	Ferreira (1984)
<i>E. grandis</i>	5,5	Carbonita/MG	3x2	22,94	5,30	3,47	2,35	16,01	50,10	8,64	
<i>E. grandis</i>	10	Itirapina/SP	3x3	160,30	23,30	0,00	0,00	0,00	183,60	0,00	Silva (1983)
<i>E. saligna</i>	10	Itirapina/SP	3x3	168,70	15,50	0,00	0,00	0,00	184,20	0,00	
<i>E. propinqua</i>	10	Itirapina/SP	3x3	85,70	17,50	0,00	0,00	0,00	103,20	0,00	
<i>E. dunni</i>	10	Itirapina/SP	3x3	125,60	24,90	0,00	0,00	0,00	150,50	0,00	
<i>E. robusta</i>	10	Itirapina/SP	3x3	117,40	16,70	0,00	0,00	0,00	134,10	0,00	
<i>E. citriodora</i>	8	Paraopeba/MG	3x2	61,40	15,30	19,10	6,10	0,00	101,90	0,00	Morais (1988)
<i>E. cloeziana</i>	8	Paraopeba/MG	3x2	71,90	30,50	11,80	5,80	0,00	120,00	0,00	
<i>E. saligna</i>	8	Paraopeba/MG	3x2	94,60	16,90	32,50	10,60	0,00	154,60	0,00	
<i>E. grandis</i>	8	Paraopeba/MG	3x2	78,50	11,90	30,50	7,50	0,00	128,40	0,00	
<i>E. maculata</i>	3,5	Itamarandiba/MG	3x2	9,68	2,26	2,34	2,01	0,00	16,29	5,09	Molica (1992)
<i>E. torelliana</i>	3,2	Timóteo/MG	3x2	30,58	4,37	4,10	2,76	0,00	41,81	7,43	
<i>E. citriodora</i>	3,2	Timóteo/MG	3x2	23,81	4,69	3,23	2,59	0,00	34,32	3,15	
Média				74,43	13,34	8,02	3,48		99,27*		
(%)				74,97	13,44	8,08	3,51		100,00		

Santos (1996), em revisão sobre a produção de biomassa acima do nível do solo em florestas da Amazônia brasileira, encontrou as seguintes estimativas:

Tipo de Floresta	Biomassa (t/ha)	Referência
Floresta atual	188	Fearnside (1991)
Floresta atual	231	Fearnside (1992)
Floresta atual	326	Fearnside (1993)
Floresta densa (RADAM)	290	Brown e Lugo (1992)
Floresta densa (FAO)	175	Brown e Lugo (1992)
Floresta densa (RADAM)	313	Brown e Lugo (1992)
Floresta densa (FAO)	245	Brown e Lugo (1992)
Floresta atual	272	Fearnside (1992)
Média = 255		

FIM

0002 1 0005



Referências

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

LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Árvore** v. 19, n.1, p. 65-79, 1995.

ODUM, E. P. **Ecologia**. São Paulo: Pioneira, 1977. 105p.

SANTOS, J. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira**. 121 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

SOARES, C. P. B. **Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 276p.