

IPEF n.26, p.19-23, abr.1984

Quantificação de resíduos florestais para produção de energia em povoamento de *Eucalyptus saligna**

H. T. Z. DO COUTO

J. O. BRITO

M. TOMAZELLO FILHO

ESALQ-USP - Depto. de Silvicultura, C.P. 9, 13.400 - Piracicaba - SP

L. CORRADINI

E. C. M. FAZZIO

Guatapar Florestal S/A

Planejamento e Reflorestamento, C.P. 524, 14.100 - Ribeirão Preto

RESUMO - O estudo teve por objetivo quantificar os resíduos da exploração florestal para celulose de um povoamento florestal de *Eucalyptus saligna* com 8,5 anos na região de Luiz Antnio, Estado de São Paulo. Foi tomada uma amostra de 50 árvores, selecionadas dentro da distribuição de freqencia diamétrica do povoamento, obtida antes da coleta das amostras. Com esses dados, determinou-se através de métodos estatísticos de seleção de modelos de regressão, melhores equações matemáticas que explicassem a relação entre variáveis facilmente mensuráveis, a saber, DAP e altura total, com as variáveis de interesses como as massas seca e verde do fuste com e sem casca, e dos resíduos (copa). Foi também determinado o poder calorífico de amostras da casca, resíduo e fuste sem casca para avaliar o potencial energético e orientar o planejamento do uso das florestas para substituição de leo combustível.

ABSTRACT - This paper aimed the estimation of forest exploitation residue from a *Eucalyptus saligna* stand, with 8,5 years old located in the region of Luiz Antonio, State of São Paulo. A sample of 50 trees was taken according to the diameter distribution of the trees in the stand. The data from the trees were used to generate regression equation, relating variables easily accessible, much as DBH and total height, with variables of interest as, dry and green weight of the bole with and without bark, bark and residue. The calorific value was also determined in samples from bark, residue and the bole without bark, in order to evaluate the energetic potential of these stands and guide the rational use for the eucalypt forests for replacement of imported oil.

INTRODUÇÃO

O conceito da utilização de vários produtos da floresta vem sendo adotado por diversas empresas no Brasil, com o objetivo de diversificar a produção e atender outras necessidades, sendo a mais importante a produção de energia. Grande parte da energia necessária para as indústrias de celulose e papel é suprida pelos resíduos florestais,

* Trabalho realizado com recursos de benefícios fiscais aprovados pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

oriundos da exploração da madeira para celulose, que vieram substituir o combustível importado, e ao mesmo tempo garantir a continuidade de abastecimento a baixo custo. Os levantamentos florestais até então realizados visavam a determinação quantitativa do volume de madeira com ou sem casca do fuste da árvore. Esses volumes obtidos até um diâmetro comercial são expressos em metros cúbicos ou estéreos e auxiliam no planejamento das florestas implantadas. Constitui-se numa informação imprescindível a qualquer empresa florestal.

A quantificação energética dos resíduos florestais envolve uma nova variável a ser medida, que é a massa dos componentes desse resíduo, pois o valor combustível é mais relacionado à sua massa que ao seu volume, daí a importância de expressar os resultados do inventário florestal em termos de toneladas por hectare. Por outro lado, todos os estudos de impacto ambiental e, mais precisamente, a exportação de nutrientes, são relacionados à massa seca dos componentes principais do resíduo (COUTO, 1983).

A finalidade deste trabalho é apresentar as equações para estimar as massas verde e seca do fuste, casca e resíduos, utilizando-se como variáveis mensuráveis na árvore em pé, o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e altura da copa (HCO). Ao mesmo tempo, procurou-se relacionar os valores por unidade de área do povoamento, com variáveis desse povoamento, como área basal por hectare e altura média das dominantes (H5).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde a introdução do conceito da utilização total da árvore por YOUNG (1964) e a ênfase ao potencial da floresta para produção de energia apresentada pelo mesmo autor em 1976, tem-se aumentado o interesse por pesquisadores em diversas partes do mundo, na estimativa da biomassa florestal. São poucos os estudos sobre estimativa de biomassa de espécies do gênero *Eucalyptus*. BOUCHON & RIEDACKER (1973) testam dois métodos para estimar biomassa de brotações de *Eucalyptus camaldulensis* no Marrocos, com 4 anos de idade. O método da árvore média e o método da equação de regressão. Concluem ser a área basal a melhor variável para estimar volume e massa seca das folhas, e apresentam equações para essas estimativas.

Trabalhando com *Eucalyptus globulus* na Austrália, CROMER et alii (1976) relacionam o teor de biomassa em talhões submetidos a diferentes tratamentos com fertilizantes. O estudo foi realizado em talhões de 2 a 4 anos de idade localizados no estado de Victoria. A quantificação de cada componente da árvore foi feita através de equações de regressão, onde a variável que melhor se correlacionou com a massa de madeira, casca, ramos vivos, ramos mortos ou folhas foi a área basal.

Através de regressões, SINGH & SHARMAM (1976) estimaram a biomassa em cinco diferentes idades de *Eucalyptus tereticornis*, no estado de Uttar Pradesh, Índia. Testaram as seguintes variáveis para estimar a massa seca do fuste, ramos, folhas e raízes: diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro na base da árvore, diâmetro na altura dos primeiros ramos e altura total da árvore (H), além da variável combinada $DAP^2 \times H$. Concluem ser o modelo linear que inclui a variável combinada como independente, aquele que melhor se ajusta aos dados coletados, embora não é o modelo geral para todas as variáveis dependentes.

Afirmando que o eucalipto apresenta grande potencial para produção de biomassa, na África do Sul SCHONAU E BODEN (1981) reportam um estudo preliminar de

estimativa de biomassa de parte aérea de cinco espécies de *Eucalyptus*: *E. deanei*, *E. globulus*, *E. nitens*, *E. smithii* e *E. viminalis*.

No Brasil, estudos foram realizados por COUTO (1983) , com três espécies de *Eucalyptus* crescendo em três espaçamentos, e cortadas aos 2,5 anos de idade. Esses estudos realizados em solo arenoso e pobre de Mato Grosso do Sul, mostram tendência para generalizar o modelo de variáveis combinadas como o de melhor ajustamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado num povoamento de *Eucalyptus saligna*, sementes colhidas no Horto Florestal da FEPASA em Rio Claro, SP, plantado no espaçamento 3,0 x 2,0 m em julho de 1971 na Fazenda Guatapar, Município de Luiz Antnio, Estado de São Paulo.

Para a orientao do sistema de amostragem, mediram-se os diâmetros  altura do peito, cinco parcelas de 420 m² distribuídas ao acaso, onde se verificou a distribuo dos valores diamétricos. Em seguida, foram selecionadas 50 árvores que seriam abatidas para a coleta de dados de massa e volume.

Os seguintes dados foram obtidos, aos 8,5 anos de idade, antes de as árvores serem abatidas:

- a) altura total;
- b) diâmetro  altura do peito;
- c) altura da copa (iniciam-se nos primeiros ramos verdes até o topo);
- d) espessura da casca a 1,30 m do nível do solo.

Após abatidas as árvores, foram levantados os seguintes dados e obtidas amostras de madeira :

- a) altura total;
- b) altura do fuste (até o diâmetro comercial para celulose, isto é, a cerca de 5 cm com casca);
- c) altura da copa;
- d) diâmetros com e sem casca na base (10,10 cm) , no meio (altura do fuste/2) e no topo do fuste comercial;
- e) amostra de madeira retirada no mesmo local onde foram obtidos os diâmetros, na forma de discos;
- f) amostras de casca nas posioes onde foram obtidos os diâmetros: anelando-se cerca de 10 cm do fuste;
- g) massa verde (logo após o corte) do fuste com casca;
- h) massa verde (logo após o corte) da copa.

A copa de cada árvore (composta de galhos, folhas e ponteiro) foi picada em picador especial e uma amostra de exatamente 3.000 gramas foi tomada de modo a representar a copa total. O poder calorífico de uma amostra composta do lenho, da casca e dos resíduos das 10 árvores por classe de diâmetro, assim como a densidade básica dos discos de madeira e da casca, para o cálculo das massas secas.

Foram têm amostradas aleatoriamente 22 parcelas de inventário de 420 m², representando uma área de 198 hectares, com o objetivo de estimar o peso seco da casca, do lenho e dos resíduos e a massa verde dos resíduos, por hectare. Esses valores de massa seca foram correlacionados com variáveis facilmente levantadas nos inventários. Essas características são a área basal e a altura média das cinco maiores árvores da parcela.

As equações necessárias para estimar a biomassa dos componentes aéreas da árvore foram obtidas com o auxílio do computador, através do processo passo-a-passo (DRAPER & SMITH, 1966). Como variáveis independentes foram testados o diâmetro à altura do peito, altura total, altura da copa, espessura da casca, e nas transformadas incluindo a combinação de mais de uma variável como o quadrado do diâmetro à altura do peito vezes a altura total (D^2H). Como variáveis dependentes foram testadas a variável em estudo e seu logaritmo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das variáveis obtidos no campo e no laboratório são apresentados na Tabela 1. As variáveis que apontam apenas 44 valores são aquelas com árvores que não apresentaram fuste com dimensões suficientes para justificar o uso para celulose e, portanto, toda a árvore foi utilizada como resíduo (variável AF, PVFC, GCA, UCA, VCA, PSCA, PSFS e PSFC).

TABELA 1: Valores médios e respectivos desvios padrões das variáveis estudadas para *Eucalyptus saligna* com 8,5 anos de idade (Município de Luiz Antônio, São Paulo)

Variável	Descrição	N	Média por árvore	Desvio padrão
DAP	Diâmetro à altura do peito	50	11,46 cm	4,73 cm
HT	Altura total	50	17,55 cm	4,87 cm
HCO	Altura da copa	50	9,50 m	3,88 m
ECA	Espessura da casca	50	5,01 mm	2,67 mm
AF	Altura do fuste	44	12,34 m	5,83 m
PVFC	Peso verde do fuste com casca	44	146,30 kg	141,22 kg
PVR	Peso verde de resíduos	50	27,31 kg	17,92 kg
GBM	Densidade básica da madeira	50	0,517 g/cm ³	0,054 g/cm ³
GCA	Densidade básica da casca	44	0,406 g/cm ³	0,030 g/cm ³
VCO	Umidade da copa	50	52,53 %	2,19 %
VCA	Umidade da casca	44	64,20 %	4,66 %
PSCA	Peso seco da casca	44	12,36 kg	10,92 kg
PSFS	Peso seco do fuste sem casca	44	72,78 kg	71,86 kg
PSFC	Peso seco do fuste com casca	44	85,15 kg	81,83 kg
PSR	Peso seco do resíduo	50	12,89 kg	8,30 kg
PSTO	*Peso seco de árvores	50	87,82 kg	88,65 kg
* (Resíduo + Madeira + Casca)				

O resíduo consta das folhas, galhos e ponteiro da árvore. Árvores muito finas, com DAP abaixo de 6,0 cm foram consideradas como resíduo.

Os melhores modelos escolhidos são apresentados na Tabela 2.

Esses modelos apresentam validade se o DAP e a altura total das árvores selecionadas estiverem entre os valores 2,5 e 2,40 cm e 7,5 a 27,5 m respectivamente.

Os modelos que apresentaram os piores ajustamentos foram aqueles que estimam o peso verde ou seco dos resíduos. Os resíduos, isto é, as folhas, galhos e ponteiros em geral apresentam forma irregular, daí a dificuldade em se encontrar modelos adequados para explicar a sua correlação com o DAP e altura total. Por outro lado, as dimensões da copa da árvore é muito influenciada por fatores ambientais, como localização no povoamento florestal, falhas, dominância, etc., fatores esses de difícil controle em estudos específicos.

TABELA 2: Modelos matemáticos para estimar os diversos componentes da árvore e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvio padrão ($Sy.x$).

Modelo	R^2	$Sy.x$
1) PVFC = $-0,9737 + 0,0408 (D^2H)$	0,9871	16,22
2) PVR = $12,0962 + 0,1497 (D^2) - 0,0234 (H^2)$	0,6849	10,27
3) LPSCA = $4,8935 - 30,7098 (ID)$	0,9166	0,28
4) PSFS = $-1,8505 + 0,0207 (D^2H)$	0,9790	10,53
5) PSFC = $0,1737 + 0,0236 (D^2H)$	0,9787	12,08
6) PSR = $4,4293 + 0,0552 (D^2)$	0,6759	4,78
7) PSTO = $5,2078 + 0,0258 (D^2H)$	0,9755	14,02
D2H = DAP2 . H	ID = 1/DAP	
D2 = DAP2	LPSCA = $\ln(PSCA)$	
H2 = HT2		

Os modelos que incluem a estimativa da massa seca ou verde do fuste (PVFC, PSFS, PSFC e PSTO) apresentam boa correlação com o DAP e altura total da árvore, e o coeficiente de determinação atinge marca superior a 97%.

A massa seca da casca, variável bastante influenciada, principalmente por fatores genéticos, apresenta o coeficiente de determinação acima de 91%, o que pode ser considerado razoável pelas características da variável, e importante notar que a espessura da casca, tomada no nível do DAP, não influencia a estimativa do peso seco da casca. Apenas o DAP da árvore é suficiente para essa estimativa. Aliás, todas as variáveis podem ser estimadas, medindo-se somente o DAP e a altura total das, árvores.

No levantamento da quantidade de biomassa por hectare, em geral, usam-se parcelas amos trais de tamanho fixo dentro das quais se mede o DAP e altura das árvores. Nesse caso, geralmente se utilizando computadores eletrônicos, as massas verdes ou secas dos componentes da árvore são estimados através das equações e a soma dos valores das árvores é relacionada com a área da parcela amostral. Alguns métodos de levantamento florestal medem os DAPs das árvores da parcela e apenas as alturas das cinco árvores dominantes. Ainda, o tamanho das unidades amostrais, no caso específico desse tipo de levantamento, é de 400 m². Através dos DAPs se determina a área basal em m² por hectare (AB/ha) e a altura média das cinco maiores árvores (H5), dando ao produto desses dois valores o nome de «volume cilíndrico» (VC) que é expresso em m³/ha. Para atender às necessidades de estimativa de biomassa nesse tipo de levantamento foram medidas 22 parcelas de 600 m², ao acaso, no mesmo povoamento florestal (*Eucalyptus saligna*, com 8,5 anos na região de Luiz Antonio, SP) , e através da medição do DAP e altura total de todas as árvores da parcela se determinou, com o auxílio das equações de regressão, as massas seca e verde dos componentes das árvores (Tabela 3) .

Esses valores, por parcela, foram posteriormente relacionados com o «volume cilíndrico», obtendo-se as equações da Tabela 4. Foram testados vários modelos, sendo aquele que apresentou melhor ajustamento, o modelo linear simples. Essas equações são válidas para volumes cilíndricos, variando de 211,58 m³/ha a 612,68 m³/ha.

TABELA 3: Valores do "volume cilíndrico" (VC) e os pesos seco e verde dos componentes do povoamento florestal.

Parcela	VC (m ³ /ha)	PSFS (t/ha)	PVR (t/ha)	PSR (t/ha)	PSCA (t/ha)
1	311,54	65,79	34,26	16,67	11,28
2	322,61	68,05	32,95	15,55	12,05
3	377,97	79,95	36,67	17,31	14,02
4	547,70	117,21	44,59	21,00	19,19
5	416,35	90,02	34,07	16,02	14,50
6	391,07	91,83	33,40	15,74	13,62
7	459,68	100,74	36,81	17,29	16,12
8	228,54	46,50	29,36	13,83	9,00
9	295,91	60,07	30,95	14,81	10,93
10	270,02	57,40	32,17	15,21	10,83
11	377,97	78,17	37,31	17,64	13,98
12	612,68	133,98	46,43	21,64	21,43
13	265,60	54,71	34,02	16,07	10,38
14	319,37	66,47	30,48	14,38	11,62
15	314,45	65,57	32,29	15,24	11,74
16	359,56	73,86	34,52	16,29	12,95
17	380,40	82,07	33,67	15,83	13,59
18	428,63	90,07	38,00	17,95	15,31
19	449,26	100,00	35,45	16,69	16,09
20	397,94	85,90	35,48	16,71	14,57
21	211,58	42,71	29,67	14,05	8,90
22	217,70	46,86	25,71	12,14	8,71
Média	361,66	77,17	34,46	16,28	13,25

TABELA 4: Modelos matemáticos para estimar os diversos componentes de povoamento florestal (t/ha) em função do "Volume cilíndrico" (VC) em m³/há e seus respectivos coeficientes de determinação (R²).

Modelo	R ²
PSFS = -4,9277 + 0,2270 (VC)	0,9897
PVR = 19,4404 + 0,0415 (VC)	0,8333
PSR = 9,4299 + 0,0189 (VC)	0,8121
PSCA = 1,8667 + 0,0314 (VC)	0,9963
VC = AB/ha . H5	

A média das 22 parcelas tomadas ao acaso no povoamento florestal representa um total de 106,70 t/ha de biomassa da parte aérea representando o incremento médio anual de

12,55 t/ha/ano. Desse total, 32,53 t/ha, ou seja, 30,50% constituem de material que pode ser usado para fins energéticos (resíduo e casca), sendo que o restante (74,17 t/ha) é utilizado para a produção de celulose.

Como complemento deste estudo, foram feitas determinações do poder calorífico de amostras do fuste sem casca, da casca e resíduo de cinco amostras compostas de dez árvores, agrupadas de acordo com o DAP, em ordem crescente. Os valores do poder calorífico são apresentados na Tabela 5.

Observa-se na Tabela 5 que não houve grandes diferenças entre cinco grupos de árvores, nem uma tendência de aumento ou diminuição do poder calorífico superior com o aumento do DAP das árvores. Entretanto, nota-se uma diferença significativa entre o poder calorífico médio do fuste e resíduo em relação a casca, o que confirma os resultados obtidos por CORDER (1976) para folhosas.

TABELA 5: Poder calorífico superior (Kcal/KG) do fuste sem casca, casca e resíduo, por grupo de árvores.

Amostra	Árvore nº	Poder calorífico superior		
		Fuste sem casca	Casca	Resíduo
1	1 a 10	4.227	3.797	4.203
2	11 a 20	3.346	3.821	4.107
3	21 a 30	4.298	3.892	4.131
4	31 a 40	4.298	3.988	4.274
5	41 a 50	4.274	3.964	4.203
Média		4.288	3.892	4.138

CONCLUSÕES

O presente estudo sobre a quantificação de resíduos em povoamentos de *Eucalyptus saligna* com 8.5 anos de idade, permite as seguintes conclusões:

a) É possível a utilização de equações para estimar massa verde ou seca dos componentes da biomassa e os melhores modelos são apresentados na Tabela 2. As precisões das estimativas são consideradas adequadas.

b) A medição da área basal e a altura média das cinco maiores árvores por parcela amostral, mostram-se bem correlacionadas com as massas secas e verdes dos componentes da biomassa dos povoamentos florestais estudados.

c) O poder calorífico superior é maior para o fuste sem casca e para o resíduo que para a casca.

d) O potencial energético do povoamento estudado é de 21,3 toneladas equivalentes de óleo combustível por hectare, o que viabiliza investimentos para o uso da biomassa para fins energéticos.

Na utilização prática desses valores é necessário considerar a umidade da madeira, o que diminui consideravelmente os valores do poder calorífico. Como exemplo do potencial energético florestal, são apresentadas na Tabela 6 as estimativas energéticas da biomassa na forma de Kcal/ha e teor equivalente em óleo combustível por hectare, média das 22 unidades amostrais.

TABELA 6: Peso seco dos componentes da biomassa em toneladas por hectare e as respectivas equivalências em Kcal/há e toneladas equivalentes em óleo combustível.

Componentes	Peso seco t/ha	Poder calorífico inferior a 40% de umidade.	Kcal/ha	TEOC/ha (1)
Casca	13,25	1900	25,1 x 10 ⁶	2,4
Resíduo (copa)	16,28	2075	33,8 x 10 ⁶	3,2
Fuste sem casca	77,17	2139	165,0 x 10 ⁶	15,7

(1) TEOC - Toneladas equivalentes de óleo combustível considerando poder calorífico igual a 10.500 kcal/kg

BIBLIOGRAFIA

- BOUCHON, J. & RIEDACKER, A. - Allometric relationship in a young coppice of *Eucalyptus camaldulensis*: indications of the above-ground biomass sampling. In: IUFRO BIOMASS STUDIES. Nancy/Vancouver, June/August 1973. Orono, College of Life Sciences and Agriculture, 1973. p. 259-67.
- CORDER, S. E. - Fuel characteristics of wood and bark and factors affecting heat recovery. In: WOOD RESIDUE AS AN ENERGY SOURCE. FPRS. ENERGY WORKSHOP, Denver, September 3-5, 1976. Madison, Forest Products Research, 1976. p. 30-4.
- COUTO, H.T.Z. do - Equações de volume e peso para estimar biomassa de *Encalyptus*. In: SIMPOSIO SOBRE ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL, São Paulo, Convênio CESP/IPEF, novembro 1983. *Relatório final*, São Paulo, CESP, 1983. p. 38-58.
- CROMER, R. N. et alii - Eucalypt plantations in Australia: different aged plantations of *Eucalyprus tereticornis* Smith in Western Uttar Pradesh. In: OSLO BIOMASS STUDIES, Oslo, June 22, 1976. p. 143-61.
- YOUNG, H. E. - The complete tree concept - a challenge and an opportunity. In: SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS MEETING, Denver, set. 27 - out. 1, 1964. *Proceedings*. Washington, 1965. p. 231-3.
- YOUNG, H. E. - Seven wooden poles in a maginot fence. In: OSLO BIOMASS STUDIES, Oslo June 22, 1976. p. 1-10. - the potential for intensive production and utilization *Appita*, Melbourne 29 (3) : 165-73,1975.
- DRAPER, N. R. & SMITH, H. - *Applied regression analysis*. New York, J. Willey, 1966. 407 p.
- SCHONAU, A. P. G. & BODEN, D. I. - Preliminary biomass studies in young eucalypts. In: KYOTO BIOMASS STUDIES. Kyoto, IUFRO, 1981. p. 51-8.

SINGH, R. P. & SHARMA, V. K. - Biomass estimation in five.