

Modelo para avaliação da produção de matéria seca de fustes de *Eucalyptus grandis* em função da densidade de plantio, tempo de ciclo e energia solar disponível

André Belmont Pereira^{1*}, Nilson Augusto Villa Nova² e Paulo Roberto Moreira³

¹Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Av. Carlos Cavalcanti, 4747, Campus de Uvaranas, 84030-900 Ponta Grossa, Paraná, Brasil. ²Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Av. Pádua Dias, 11, C.P. 9, 13418-900 Piracicaba, São Paulo, Brasil. ³Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Av. 24-A, 1515, Campus de Bela Vista, 13400-000, Rio Claro, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência.

RESUMO. No presente trabalho determinou-se a eficiência de captura de radiação solar por um dossel de *Eucalyptus grandis*, clone M3-254-33, sob diferentes densidades de plantio em ciclos de sete e oito anos. Através da avaliação dos valores da eficiência de captura foi possível definir um modelo para estimar a produção de biomassa de fustes de uma comunidade florestal. As equações obtidas, testadas na própria população do ensaio mostraram altos valores de coeficiente de determinação, conferindo-lhes elevada precisão em sua utilização. O modelo foi elaborado com dados de um experimento conduzido pela Ripasa S/A em posto florestal do município de Ibiti, PR (24°09'S, 49°09'W Gr, 900m) em período de precipitação média anual (1300mm ano⁻¹) que não inibiu a expressão da produtividade potencial da espécie no local em estudo, dada a boa distribuição das precipitações ao longo do ano. O modelo proposto tem um caráter geral, sendo válida a sua utilização, desde que se determine devidamente seus coeficientes de ajuste sob condições específicas de genótipo, clima, solo e fertilidade.

Palavras-chave: radiação solar, produção de biomassa, comunidade florestal, sequestro de carbono.

ABSTRACT. Model for assessment of dry matter production of *Eucalyptus grandis* boles as a function of planting density, cycle time and available solar energy. In the present study, global solar radiation capture efficiency by a canopy of *Eucalyptus grandis*, clone M3-254-33, was determined under different planting densities throughout seven and eight year cycles. By means of assessing the capture efficiency values, it was possible to propose a model to estimate the biomass production of boles in a forestry community. The obtained equations, which were tested experimentally, showed high coefficients of determination, promoting a high accuracy at the estimation of a given response variable. The model was elaborated with data collected in a trial carried out by Ripasa S/A at a forestry station in Ibiti, State of Paraná, Brazil (24°09'S, 49°09'W Gr, 900m) throughout a period of annual average precipitation (1300mm.year⁻¹) that did not inhibit the expression of crop potential productivity at the site under study, given the good distribution of rainfalls throughout the year. The proposed model has a general characteristic, being however valid its utilization at any site as long as its adjustment coefficients might be determined under specific conditions of genotype, climate, soil and fertility.

Key words: solar radiation, biomass production, forestry community, carbon sequestration.

Introdução

Atualmente, existe um grande interesse na produção de eucalipto em função do crescente aumento da demanda nos diferentes setores da sociedade. Em decorrência de tal fato, faz-se necessária a possibilidade de avaliação da capacidade de produção de madeira nas diferentes regiões do país, determinada, principalmente, pela energia solar disponível, características genéticas e disponibilidades hídricas e edáficas da espécie em

estudo.

A discussão científica contemporânea volta-se, cada vez mais, a questões ligadas ao aumento da concentração de dióxido de carbono, produto da queima de combustíveis fósseis e derrubada de florestas a nível mundial. Assim, preconiza-se a adoção de mecanismos que possibilitem a captura e a retenção do carbono, tal como o plantio de novas áreas florestais (reflorestamentos).

Uma das questões cruciais na atividade florestal é relativa à manutenção da produtividade do sítio e, se

possível, à elevação dessa produtividade. O manejo das florestas em regime sustentado depende, dentre outros fatores, da disponibilidade de nutrientes, da água e do espaço para o crescimento contínuo das árvores (Gonçalves, 1988).

O espaçamento exerce influência sobre o crescimento das plantas em altura e diâmetro. O diâmetro das árvores e, conseqüentemente, a área basal e o volume são as características mais afetadas pela densidade de plantio. Em geral, espaçamentos amplos favorecem o crescimento em diâmetro, face a maior disponibilidade de água, radiação solar e nutrientes. Árvores crescendo sem competição puderam alocar mais biomassa para as raízes e os galhos, em detrimento da produção de troncos (Leles, 1995), sendo inconveniente quando a madeira é o componente comercial da floresta. Pereira et al. (1983) observaram tendência de aumento na altura do fuste sob espaçamentos mais densos de *Eucalyptus grandis* em decorrência da competição por radiação solar disponível.

Villa Nova et al. (2003) determinaram a eficiência de captura de radiação solar por um dossel de *Eucalyptus pellita* sob diferentes densidades de plantio em um ciclo de sete anos e propuseram um modelo para estimar a produção de biomassa total do dossel, assim como apenas de troncos. As equações obtidas pelos autores e testadas na própria população do ensaio mostraram altos valores de coeficientes de determinação, tendo sido superiores a 0,92.

A avaliação da produção de biomassa é de grande importância para o planejamento da indústria que depende da matéria-prima florestal. Axelsson (1984), baseado no balanço de radiação local como variável de predição do potencial líquido de fotossíntese, estimou a produtividade máxima em biomassa florestal em até 60 t ha⁻¹ ano⁻¹ (base de peso seco) na latitude de 60° e de até 140 t ha⁻¹ ano⁻¹ na linha do Equador.

Face ao exposto, o presente estudo, realizado com dados experimentais de *Eucalyptus grandis* teve como objetivos:

- determinar uma equação de estimativa da eficiência de captura de energia solar em função da área ocupada por cada árvore, dada pela densidade de plantio, e a radiação solar global disponível em cada ciclo de t anos;
- a partir da equação de rendimento a ser obtida, elaborar um modelo de estimativa do peso total de matéria seca do tronco em função da energia solar disponível, tempo de ciclo e área ocupada por cada árvore.

Material e métodos

Fonte de dados

Foram utilizados dados do experimento realizado pela Ripasa S/A, no Posto Florestal de Ibiti, Estado

do Paraná, Brasil (24°09'S, 49°09'W Gr e 90m) com o clone M3-254-33 de *Eucalyptus grandis*, em ciclos de 7 e 8 anos sob nove densidades de plantio, em que se determinou o volume final de troncos (dm³ árvore⁻¹). No período em que o experimento foi conduzido a precipitação pluvial média foi de 1300mm ano⁻¹, não causando problemas de déficit hídrico, devido à boa distribuição das chuvas ao longo do ano, característica preponderante da região. A radiação solar global foi obtida a partir de mapas radiométricos elaborados pelo Inmet(1998).

Estimativa da eficiência de captura de energia solar

A metodologia a ser utilizada segue os princípios apresentados por Villa Nova et al. (2003).

Cálculo da eficiência de captura de energia (et%) em termos do peso total de troncos produzidos no ciclo

A eficiência de captura de energia solar pelo dossel (et%), em termos do total de troncos produzidos no ciclo (PTO), foi calculada pela equação 1:

$$et\% = \frac{PTO.q}{ESDC} 100 \quad (1)$$

em que:

PTO = peso da matéria seca do fuste ou do tronco observada no ciclo (t ha⁻¹ ciclo⁻¹);

q = poder calorífico da matéria seca, 4400kcal.kg⁻¹ para *Eucalyptus grandis*;

ESDC = energia solar total disponível no ciclo (kcal ha⁻¹ ciclo⁻¹).

Os valores de PTO e ESDC são expressos por:

$$PTO = Vt.dg.N \quad (2)$$

$$ESDC = 365.Qg.t \quad (3)$$

Nas equações (2) e (3), os termos significam:

Vt = volume de cada fuste (dm³ planta⁻¹);

dg = densidade global (no caso, dg = 0,48kg dm⁻³);

N = número de plantas por hectare;

Qg = radiação solar global média diária (kcal ha⁻¹ dia⁻¹);

t = número de anos do ciclo (no caso, t = 7 ou 8).

Substituindo-se (2) e (3) em (1), tem-se que:

$$et\% = \frac{Vt.dg.N.q}{365.Qg.t} 100 \quad (4)$$

ou ainda:

$$et\% = 0,274 \frac{Vt.dg.N.q}{Qg.t} \quad (5)$$

Estimativa da matéria seca total de tronco produzida.

O valor da matéria seca total de tronco produzida (PTE) é expresso pelo produto da eficiência de conversão de energia solar observada obtida em função da área ocupada por cada árvore (A) [descrita

pela equação 6 apresentada no item 3.1.1], pelo total de energia solar disponível no ciclo (ESDC), dividido pelo poder calorífico da madeira (q). Assim, obtém-se a seguinte expressão:

$$PTE = \frac{et\% \cdot ESDC}{100 \cdot q} \quad (7)$$

ou ainda:

Substituindo-se (6) e (3) em (7) tem-se:

$$PTE = \frac{0,365 \cdot Q_{gt} \cdot \left(0,707 - 0,01 \cdot A + \frac{0,5096}{A^2} \right)}{100 \cdot q} \quad (8)$$

em que:

PTE = produção total estimada de troncos (t ha⁻¹ ciclo⁻¹);

Qg = radiação solar média diária anual (cal cm² dia⁻¹);

t = número de anos por ciclo;

A = área ocupada (m² árvore⁻¹);

q = poder calorífico da madeira (no caso, 4400kcal kg⁻¹).

A equação 8, sendo simplificada efetuando-se os produtos, assumirá a forma:

$$PTE = \frac{100 \cdot Q_{gt} \cdot \left(2,58 - 0,0365 \cdot A + \frac{1,86}{A^2} \right)}{q} \quad (9)$$

Resultados e discussão

Aferições do modelo proposto

Contra os dados geradores do modelo.

Na Tabela 1 são apresentados os valores observados no experimento e os valores de et% correspondentes para matéria seca do fuste ou do tronco.

Na Figura 1 é demonstrada a relação de dependência entre et% e a área ocupada por cada árvore (A), em m², sendo simbolizada por et%* e descrita pela seguinte expressão:

$$et\%* = 0,707 - 0,010 \cdot A + \frac{0,5096}{A^2} \quad (6)$$

$$R^2 = 0,9643$$

Na Tabela 1 já foram relatados os valores simultâneos de produção de matéria seca observados (PTO) e estimados pelo modelo (PTE), em t ha⁻¹ ciclo⁻¹, os quais possibilitaram a definição da eficiência de conversão de energia a partir da área ocupada por cada árvore (equação 6), com coeficiente de determinação de 0,9643.

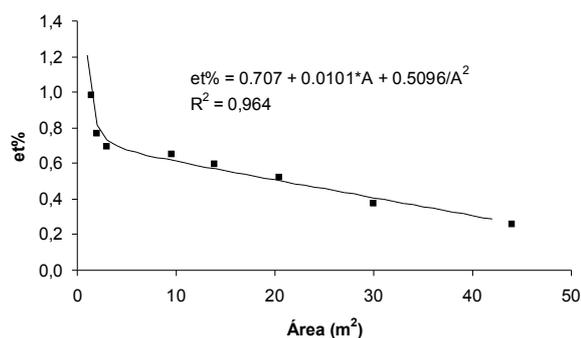


Figura 1. Relação de dependência entre a eficiência de captura de energia solar (et%) e a área ocupada por cada árvore (A) para o clone M3-254-33 de *Eucalyptus grandis* em Ibiti, Paraná, Brasil

Tabela 1. Características volumétricas de *Eucalyptus grandis*, clone M3-254-33, obtidas em experimento conduzido em Ibiti, Estado do Paraná, considerando-se 7 anos por ciclo, densidade global de 0,48kg dm⁻³ e radiação solar global de 449,3 10⁶kcal ha⁻¹ dia⁻¹.

A	N	L	Dap	Vt	Pt	PTO	PTE	VTO	et%
(m ² /arv.)	(arv./ha)	(m)	(cm)	(dm ³ /pl.)	(kg/pl.)	(t/ha)	(t/ha)	(m ³ /ha)	(%)
1,40	7143	19,2	10,0	74,7	35,9	255,9	248,6	533,6	0,980
2,05	4879	20,6	10,9	85,3	40,9	199,7	213,4	415,1	0,765
3,01	3322	21,3	12,3	113,9	54,7	181,6	182,8	378,4	0,696
4,41	2267	22,0	13,5	148,5	71,3	161,6	179,6	336,6	0,619
6,47	1546	24,8	16,9	260,6	125,1	193,4	170,7	402,8	0,741
9,50	1053	26,5	19,0	335,8	161,2	169,7	160,9	353,5	0,650
13,93	718	26,7	21,6	453,8	217,8	156,4	150,3	325,8	0,598
20,43	489	27,4	24,3	582,0	279,4	136,7	131,3	284,0	0,524
29,97	334	26,8	25,2	612,8	294,1	98,2	106,3	204,6	0,375
43,95	227	25,8	25,8	617,4	296,3	67,3	69,7	140,5	0,258

A = área ocupada por cada árvore; N = número de árvores por hectare; L = altura do fuste; Dap = diâmetro à altura do peito; Vt = volume do fuste; Pt = peso do fuste; PTO = pesos totais observados e estimados, respectivamente; VTO = volume total observado; et% = eficiência de captura de energia solar.

Na Figura 2 é demonstrada a correlação entre PTE e PTO, representada pela equação:

$$PTE = 8,988 + 0,940 \cdot PTO$$

$$R^2 = 0,948$$

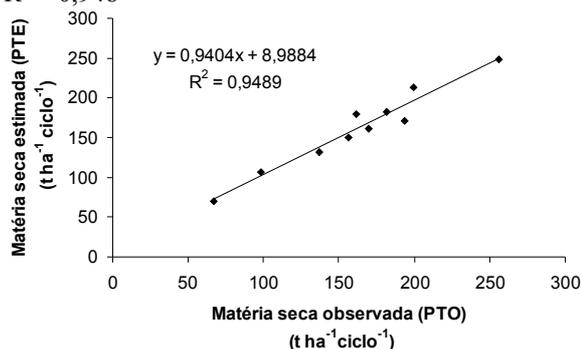


Figura 2. Relação entre a produção de matéria seca observada e estimada pela metodologia proposta para o clone M3-254-33 de *Eucalyptus grandis* em Ibiti, Estado do Paraná, Brasil, considerando-se um ciclo de 7 anos.

Contra de uma série independente de dados. Para testar o modelo proposto com dados fora da série geradora do modelo, utilizaram-se os dados obtidos com o mesmo clone, porém a avaliação

foi realizada quando se considerou um ciclo de 8 anos.

Os resultados obtidos são relatados na Tabela 2.

Tabela 2. Características físicas e produção total observada (PTO) e estimada (PTE), obtidas em experimento conduzido em um povoamento de *Eucalyptus grandis* (clone M-3-254-33) em ciclo de 8 anos no município de Ibiti, Estado do Paraná, Brasil

A	N	Dap	L	Vt	VTO	PTO	PTE
(m ² /árv.)	(árv./ha)	(cm)	(m)	(dm ³ /árv.)	(m ³ /ha.ciclo)	(t/ha.ciclo)	(t/ha.ciclo)
1,40	7143	10,3	21,1	89,2	637,15	305,8	294,0
2,05	4879	11,1	23,8	103,6	505,46	242,6	246,7
3,01	3332	12,8	23,8	141,1	470,14	225,7	218,5
4,41	2267	14,1	23,7	176,2	399,44	191,7	205,3
6,47	1546	17,8	26,3	309,8	478,95	229,8	195,0
9,50	1053	20,0	27,6	390,7	411,41	197,5	184,0
13,93	718	23,0	28,0	539,7	387,50	186,0	170,0
20,43	489	25,6	28,1	664,8	325,00	156,0	150,2
29,97	334	26,6	27,8	711,0	237,50	114,0	121,5
43,95	227	27,6	26,2	720,8	163,60	78,54	78,0

em que: A = área ocupada por cada árvore; N = número de árvores por hectare; Dap = diâmetro à altura do peito; L = altura do fuste; Vt = volume do fuste; VTO = volume total observado; PTO e PTE = pesos totais observados e estimados, respectivamente.

Esses resultados foram relativos ao valor diário médio anual da radiação solar observada na área experimental igual a 449,3 10⁵kcal ha⁻¹ dia⁻¹. Assim sendo, pode-se inferir que a eficiência de captura de energia solar, extremamente importante para modelar o potencial de produção de biomassa em dado local, é função direta da densidade de plantio (número de árvores por hectare), como não poderia deixar de ser, posto que o índice de área foliar é quem determina o valor de et%.

É óbvio que condições edáficas e hídricas distintas das unidades experimentais, que compõem o experimento, deverão influir nos valores de eficiência de captura observados. Portanto, para as equações aqui propostas, deverão ser feitas correções para os fatores que diferirem acentuadamente das condições observadas no experimento em estudo.

Na Figura 3 é demonstrada a seguinte regressão entre PTE e PTO, de acordo com os valores da Tabela 2, revelando uma boa concordância entre os dados e, portanto, a viabilidade de utilização do método proposto para calcular a produção de biomassa de *Eucalyptus grandis* para o genótipo considerado na localidade em estudo:

$$PTE = 8,3262 + 0,9234.PTO$$

$$R^2 = 0,9564$$

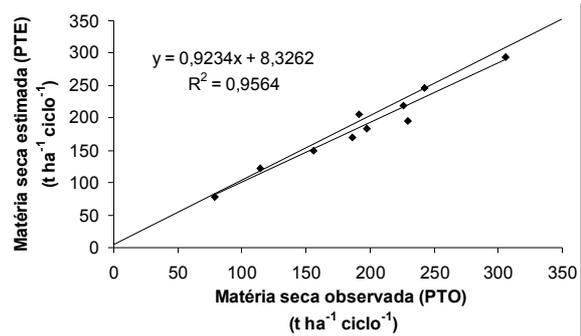


Figura 3. Relação entre a produção de matéria seca observada e estimada pela metodologia proposta para o clone M3-254-33 de *Eucalyptus grandis* em Ibiti, Estado do Paraná, Brasil, considerando-se um ciclo de 8 anos.

Conclusão

É possível estimar a produtividade total de troncos de *Eucalyptus grandis* em função da energia solar incidente da área ocupada por cada árvore, dada pela densidade de plantio e do tempo de ciclo.

A variabilidade da produtividade observada entre clones da mesma espécie em experimentos simultâneos indica que os valores das constantes do modelo deverão ser ajustados para cada genótipo e local de cultivo.

O modelo proposto poderá ser utilizado para fins de avaliação econômica de investimento florestal ou, ainda, como uma ferramenta para estudos de modelagem de potencial de seqüestro de carbono em povoamentos florestais.

Referências

- AXELSSON, B.O. Ultimate growth potential of fast growing plantations. In: IUFRO SYMPOSIUM ON SITE AND PRODUCTIVITY OF FAST GROWING PLANTATIONS, 1984, Pretoria, South Africa. *Proceedings...* Pretoria, South Africa: IUFRO, 1984. p.523-539.
- GONÇALVES, M.J.L. *Propriedades físico-químicas dos solos versus exigências nutricionais de espécies florestais de rápido crescimento*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988. 12p. (Circular técnica IPEF, 154).
- INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Atlas de irradiação solar do Brasil - 1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície. Labsolar - Laboratório de Energia Solar - EMC/UFSC, 1998. 57p.
- LELES, P.S.S. *Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em Eucalyptus camaldulensis e Eucalyptus pellita sob diferentes espaçamentos*. 1995. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- PEREIRA, A.R. *et al.* Implantação de florestas de ciclo-curtos sob novos modelos de espaçamento. *Silvicultura*, São Paulo, v.8, n.28, p.429-432, 1983.
- RIPASA S/A. Boletim INREX. Posto Florestal Fortaleza,

v.7, n.15, p.1-73, 1998.

VILLA NOVA, N.A. *et al.* Eficiência de captura de energia solar por um dossel de *Eucalyptus pellita* F. Muell sob várias densidades de plantio. *Rev. Bras. Agrometeorol.*,

Santa Maria, v. 11, n.2, p.63-68, 2003.

Received on February 09, 2004.

Accepted on May 27, 2004.