

# ADEQUAÇÃO DO MÉTODO DA ZONA AGROECOLÓGICA (FAO-33) PARA ESTIMATIVA DO ACÚMULO MENSAL POTENCIAL DE MATÉRIA SÊCA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*), E DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA PARA DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.

VALTER BARBIERI<sup>1</sup>, FÁBIO CESAR DA SILVA<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Professor Dr. do Departamento de Ciência Exatas - ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11- CP 9 - Piracicaba/SP-CEP13418-900, Fone: 3429-4283 R: 227, E-mail: vbarbier@esalq.usp.br, <sup>2</sup>Pesquisador Dr. da Embrapa Informática Agropecuária, Professor da FATEP, Pós-doutorado na ESALQ/USP e Universidade Politécnica de Madri, Departamento de Produção Vegetal -Av. Pádua Dias, 11- CP 9 - Piracicaba/SP-CEP13418-900, E-mail: fcesar@esalq.usp.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju -SE

**RESUMO:** O objetivo desse trabalho foi relacionar as interações do clima com a produtividade agrícola da cana-de-açúcar. Uma metodologia é apresentada para quantificar os efeitos do clima sobre a produtividade agrícola, mediante um conjunto de componentes, estimando-se somente a produtividade potencial. Adequou-se o Método da Zona Agroecológica FAO-33, para condições ideais de solo (físicas, hídricas e químicas) e de fitossanidade. Foi verificada uma relação linear significativa entre matéria seca líquida (MSL) observada e os valores de matéria seca bruta (MSB) estimadas pelo modelo, obtendo-se a equação  $MSL = 0,436 \times MSB$  estimada. A produtividade (t colmos/ha) será obtida multiplicando se o MSL por 2,12. Esse modelo requer adequação do IAF mensal e da fração RFA da radiação, em condições de dias claros e nublados, como função da temperatura do ar e da insolação durante o ciclo da cana.

**PALAVRA CHAVE:** modelo de cana, produção de biomassa, produtividade potencial, matéria seca.

## EVALUATION OF THE METHOD OF AGROECOLOGIC ZONE (FAO-33) TO ESTIMATE THE POTENTIAL ACCUMULATIVE MONTHLY OF SUGARCANE DRY MATTER AND YIELD FOR DIFFERENT CLIMATIC CONDITION

**ABSTRACT:** The objective of this study was to relate the interactions of climate with agriculture yield of sugarcane. A methodology is presented to quantify the climatic effects over yield, due a set of components, so if was estimated only the potential yield. Then the method of agroecologic zone FAO-33 was improved, for ideal hidric-physical and chemical soil and fitosanitary conditions. We verify a significant linear relation between observed net dry weight (DW) and estimated values of o gross DW by the model, by the equation  $DW_{net} = 0,436 * DW_{gross}$ , but require adjustments of LAI in the cycle and the fraction of RA of total radiation to culture. The crop yield (t stalk/ha) will be obtained by multiplying DW and 2,12. This model requires monthly LAI (leaf area index) and the PAR fraction of solar radiation, during days of clear and overcast sky conditions, as a function of air temperature and number of effective hours of sunshine during sugarcane growing season.

**KEYWORDS:** sugarcane modeling, biomass production and potential yield.

**INTRODUÇÃO:** A cana-de-açúcar tem assumido um papel muito importante na economia brasileira devido às exportações de açúcar e a produção do etanol. O etanol, recentemente, vem se destacando no cenário internacional com uma alternativa energética aos combustíveis líquidos derivados de petróleo, devido a duas razões: preços crescentes do petróleo e efeito estufa. O Brasil é um tradicional produtor de cana-de-açúcar e a partir de 1970, por meio do PROALCOOL, promoveu uma forte expansão na produção deste combustível. Hoje uma estratégia para o planejamento das empresas e do governo seria conhecer as produtividades potencial e real, em função de alterações climáticas e condições de solo local. Na literatura há modelos para a estimativa da produtividade por simulação do desenvolvimento de cana-de-açúcar destacando-se autores como TERUEL, et al (1997); MACHADO (1981); BARBIERI (1993); DOOREMBOS & KASSAN (1979), entre outros, que diferem no detalhamento da descrição da planta e na quantidade de variáveis incorporadas. Os modelos mecanísticos utilizam taxas de crescimento de cada componente da planta, diferenciando os ciclos de cultivo (planta e soca) e penalizam condições de produtividade pela deficiência de água e nitrogênio determinando valores próximos ao real. No presente trabalho procedeu-se a adequação do modelo FAO para estimar o acúmulo de MS mensal e a produtividade potencial de cana-de-açúcar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O método da Zona Agroecológica foi utilizado para condições climáticas de Araras-SP. Calculou-se a produtividade potencial de uma cultura, utilizando o conceito de DE WIT (1965), que considera dados de radiação, temperatura e eficiência fotossintética. São introduzidas correções nos processos de desenvolvimento, influenciados pelo clima. Supõe-se que as necessidades climáticas da cultura sejam satisfeitas de forma a permitir que em todos os estádios do seu desenvolvimento não ocorram deficiências hídricas e minerais bem como doenças e pragas. Na prática, ocorre nas condições agrícolas reais, nas quais ocorrerão perdas de produtividade devido às condições climáticas adversas durante curtos períodos, à limitação de água e de nutrientes e à mecanização problemática durante o cultivo, incluindo a preparação do solo e a calagem. Estes inconvenientes são complexos e de difícil quantificação sobre seus efeitos sobre a produtividade. Entretanto, quando se compara os rendimentos reais dos agricultores e a produção potencial calculada ( $Y_p$ ), obtem-se uma indicação da eficiência da produção agrícola. A estimativa de  $Y_p$  tem como objetivo estimar qual a melhor época de plantio para um dado local e comparar as produtividades em locais de condições climáticas diferentes entre si, e também estimar os efeitos do clima em cada fase do ciclo da cultura. Considera-se então a produção potencial ( $Y_p$ ) de uma variedade, adaptada climaticamente e desenvolvida em condições livres de limitações durante um período vegetativo de  $G$  dias (numero de dias/mês) (DOOREMBOS & KASSAN, 1979):

$$\text{- Produção Potencial } (Y_p) = [F \cdot cT_o \cdot y_o + (1-F) \cdot cT_c \cdot y_c] \cdot cL \cdot cN \cdot cH \cdot G \text{ (kg/ha/mês)} \dots \dots \dots (1)$$

a)  $y_o$  = Taxa de produção de matéria seca para dias nublados(kg/ha/dia);

b)  $y_c$  = Taxa de produção de matéria seca para dias claros(kg/ha/dia),

Cujas equações foram ajustadas a partir dos dados de DE WIT (1965) apresentadas pela FAO 33(DOOREMBOS & KASSAN, 1979):

$$y_c = 107.2 + 0,360 \cdot Q_o \dots (2);$$

$$y_o = 31,7 + 0,219 \cdot Q_o \dots (3);$$

onde a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) foi substituída por  $Q_o$  (radiação no topo da atmosfera, em  $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{dia}$ ).

$$Q_o = (916,7/R^2) (\text{sen}\phi \cdot \text{sen}\delta + 0,0174 h_n + \text{cos}\phi \cdot \text{cos}\delta \cdot \text{sen}h_n) \dots \dots \dots (4)$$

$h_n = \arccos(-\text{tg}\delta \cdot \text{tg}\phi)$  ângulo horário ao nascer do sol.;  $\delta$  = declinação solar no 15º dia do mês;

$\phi$  = latitude do local, em graus e  $R$  = unidades astronômicas de distância..

Os valores de  $y_o$  e  $y_c$  foram equacionados para temperaturas padronizadas experimentalmente. Para seu uso estes valores devem ser corrigidos pelos fatores  $cT_o$  e  $cT_c$  para dias nublados e dias claros respectivamente, dependentes da temperatura media local. As equações de  $cT_o$  e  $cT_c$  são dependentes da taxa de produção ( $Y_m$ , kg/ha/h):

Se  $Y_m \geq 20$ kg/ha/hora:

$C_{to}=0,8+0,010y_m$  (dias nublados) e  $C_{tc}=0,5+0,025y_m$  (dias claros);

Se  $Y_m < 20$ kg/ha/hora:

$C_{to}=0,5+0,025y_m$  (dias nublados) e  $C_{tc}=0,05y_m$  (dias claros).

A partir dos dados apresentados pela FAO33 (DOOREMBOS & KASSAN, 1979) calculou-se as equações:

$Y_m = -186,4 + 17,3t - 0,29t^2$ ; se  $t < 16,5^\circ\text{C}$   $y_m = 0$ ; resultando então:

Dias Nublados:

$C_{to} = -1,064 + 0,173t - 0,0029t^2$  para  $t \geq 16,5^\circ\text{C}$  ( $R^2 = 0,985^{**}$ ).....(5)

$C_{to} = -4,16 + 0,4325t - 0,00725t^2$  para  $t < 16,5^\circ\text{C}$  ( $R^2 = 0,975^{**}$ ) .....(6)

Dias Claros:

$C_{tc} = -4,16 + 0,4325t - 0,00725t^2$  para  $t \geq 16,5^\circ\text{C}$  ( $R^2 = 0,992^{**}$ ).....(7)

$C_{tc} = -9,32 + 0,865t - 0,0145t^2$  para  $t < 16,5^\circ\text{C}$  ( $R^2 = 0,970^{**}$ ).....(8)

**Fator de correção (F)**, corresponde à fração de energia disponível na condição de ocorrência de nuvens. Em um dia parcialmente nublado, nem toda radiação que chega do espaço consegue atravessar a atmosfera, principalmente devido às nuvens existentes; portanto, no cálculo da produção potencial deve-se levar em conta a fração da radiação fotossinteticamente ativa RFA retida em um dia qualquer, com relação ao máximo que poderia ser retido pelas nuvens (dia completamente nublado):

$F = (RFA_{\max} - RFA_{\text{atual}}) / (RFA_{\max} - RFA_{\min})$ , onde:

$(RFA_{\max} - RFA_{\text{atual}})$  = radiação retida pela atm;

$(RFA_{\max} - RFA_{\min})$  = retenção máxima da radiação pela atmosfera

Adaptando esta equação ao modelo de D' Assunção (1994) para RFA onde:

$RFA = Q_g(0,5 - 0,1n/N)$  e  $Q_g = Q_o(a + bn/N)$  onde **a** e **b** são constantes da equação de Angstrom- Prescott para a localidade local (Piracicaba:  $a = 0,26$ ,  $b = 0,51$ );  $Q_g$  é a radiação global (direta + difusa) medida ou estimada que atinge a superfície do dossel ( $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{dia}$ );  $Q_o$  = radiação no topo da atmosfera, em  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{dia}$ , em uma dada latitude e época do ano;  $n$  = insolação ( $\text{h}/\text{dia}$ ).  $N$  = comprimento do dia dependente da latitude do local e época do ano. Não tendo os valores de  $a$  e  $b$  para o local recomenda-se  $a = 0,25$  e  $b = 0,50$ .

$RFA_{\max}$  então  $n/N = 1$ . Portanto,  $RFA_{\max} = Q_o(a + b) \cdot 0,4$

$RFA_{\min}$  então  $n/N = 0$ ; Portanto,  $RFA_{\min} = Q_o \cdot a \cdot 0,5$ ; então:

$F = [(a + b)0,4 - (0,5 - 0,1n/N)(a + bn/N)] / [(a + b)0,4 - a \cdot 0,5]$  .....(9)

**Coefficiente de cobertura (cL)**. Os valores de  $y_o$  e  $y_c$  descritos anteriormente consideram que a cultura já cobriu totalmente o terreno, ou seja, o  $cL$  é máximo e igual a 1, nessa condição, praticamente toda radiação  $Q_g$  é interceptada pelas folhas. Durante o desenvolvimento da cultura, a superfície foliar aumenta gradativamente, aumentando assim o  $cL$ . Considerando essa variação, deve-se corrigir os valores da soma ponderada de  $y_o$  e  $y_c$ , por meio do coeficiente  $cL$ , dado pela seguinte equação (10) ajustada a partir da FAO 33 (DOOREMBOS & KASSAN, 1979). O modelo estima o acúmulo de MS mensal e não o acúmulo médio durante o ciclo como propõe originalmente a FAO33.

Os valores mensais de  $cL$  serão obtidos da equação:

$cL = 0,0186 + 0,37 \cdot IAF - 0,035 \cdot IAF^2$  ( $r^2 = 0,995^{**}$ )... (10); se  $IAF > 5$  então  $cL = 1$ .

O índice de área foliar (IAF,  $\text{m}^2$  folhas/ $\text{m}^2$  solo) pode ser estimado pela metodologia descrita por TERUEL et al. (2003) ajustada para valores médios de cana-planta, soca e ressoca (IAF).

$$IAF = e^{-17,145} \cdot (\sum GD)^{3,329} \cdot e^{-0,004408 \cdot \sum GD} \quad (R^2=0,915**).$$

O cálculo do GD é realizado segundo o seguinte critério:

$$GD=N/12[(TM-Tm)/2 -Tb], \text{ quando } Tm > Tb...(12);$$

$$GD=N/24 \cdot (TM-Tb)^2/(TM-Tm), \text{ quando } Tm = Tb...(13).$$

GD é o acúmulo de graus dias mensal; TM é a máxima temperatura do ar diária; Tm é a mínima temperatura diária; Tb é a temperatura base. Considerou-se a temperatura base para o crescimento da cultura da cana-de-açúcar é de 18°C.

**Coefficiente de respiração (cN).** Na fotossíntese e no crescimento da cultura, os carboidratos são em parte consumidos no processo de fotorespiração, e parte na manutenção da matéria viva do vegetal (respiração de manutenção). Este consumo é fortemente dependente da temperatura ambiental, ou seja, quanto maior a temperatura, maior a respiração. Em termos gerais, considera-se que:

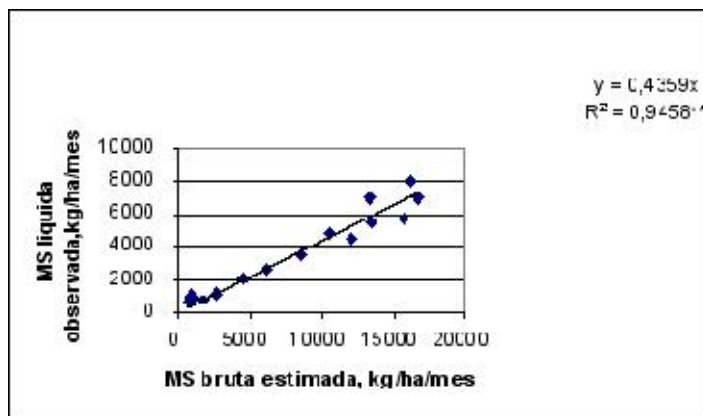
cN = correção para efeitos de temperatura na taxa de respiração:

a) Se  $t < 20^{\circ}C$  ..... cN = 0,6;    b) Se  $t > 20^{\circ}C$  ..... cN = 0,5.

**Coefficiente de colheita (cH).** Os valores até aqui calculados, consideram a matéria seca líquida total acumulada pela cana-de-açúcar. Todavia apenas parte dessa matéria seca é de interesse econômico. Como exemplo, uma touceira de cana é constituída por raízes, colmos e folhas vivas e secas descartadas e perfílios mortos durante o ciclo, sendo comercializado somente o açúcar armazenado nos colmos, o que nos dá um coeficiente de colheita (cH) entre a 0,2 a 0,5, ou seja, em média 35% da matéria seca total. Para estimativa da produtividade de biomassa úmida (colmos colhidos) considerá-se que a umidade no colmo na ordem de 80%.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Foi verificada uma relação linear entre MSL de colmos medida por BARBIERI (1993) e os valores de MSB estimados pelo modelo representada pela equação (Figura 1):

$$MSL = 0,436x \text{ MSB estimada } (R^2 = 0,9458**).$$



**FIGURA 1.** Relacionamento da produtividade de cana bruta estimada pelo modelo com produtividade líquida de cana-de-açúcar.

A MSB estimada e os valores parciais usados no modelo (Tabela 1), relacionou-se a MBL, cujo coeficiente **0,436** ajusta os valores de respiração e de colheita (cH x cN) (Fig. 1). Para a estimativa da Produtividade Potencial (Figura 1), foi feito o cálculo diário e depois a soma de todos os dias do mês, para a obtenção do total mensal utilizando-se o modelo final.

$$\text{Produção Potencial (MSL)} = [F \cdot cT_o \cdot y_o + (1-F) \cdot cT_c \cdot y_c] \cdot cL \cdot G \cdot 0,436 \text{ (kg/ha/mês)}.$$

Para a obtenção da produtividade (kg colmos/ha) aplicou-se a equação obtida por BARBIERI (1993) onde: **Peso de Colmos = 2,2 MSL estimada (kg/ha);**

Sendo assim a produtividade observada foi de 117.972 kg/ha e a estimada pelo modelo em

questão foi de 117.069 kg/ha. Tais resultados foram considerados adequados para esta estimativa.

**Tabela 1** – Valores parciais utilizados pelo modelo FAO, expresso em produtividade de matéria seca de colmos e a Produtividade líquida média de variedades, na Região de Piracicaba-SP, em um ano de cultivo.

MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
N, h/d	7.0	5.8	7.3	6.6	6.8	5.1	6.9	6.4	3.9	6.6	6.4	7.1	7.0	5.8	7.3
T, °C	20.7	17.8	16.1	17.2	17.0	19.3	22.8	22.6	23.0	22.2	23.7	22.3	20.0	18.5	16.4
IAF m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.1	0.2	0.4	0.5	0.8	1.2	1.8	2.6	3.2	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
cL	0.06	0.10	0.15	0.21	0.29	0.40	0.58	0.75	0.84	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90
MSB <sup>2</sup>	780	904	906	1709	2606	4614	10640	13430	13290	16154	16670	15666	12016	8557	6167
MSL obs.	700	1000	900	800	1200	2100	4800	5500	7000	8000	7000	5800	4500	3600	2700
MSL est.	343	398	398	1367	1146	2030	4681	5909	5848	7108	7335	6893	5287	3765	2713
MSL obs.	700	1000	900	800	1200	2100	4800	5500	7000	8000	7000	5800	4500	3600	2700

(1) obtidos por MACHADO (1981); (2) Produtividade estimada pela FAO c/ cL e sem cH e cN.

**CONCLUSÃO:** A metodologia da FAO modificada permitiu quantificar os efeitos do clima sobre a produtividade potencial da cana-de-açúcar, estabelecendo uma relação linear significativa entre o acúmulo mensal MSL medida e os valores de MSB estimada pelo modelo. Tal relação proporciona a possibilidade de se estimar a produtividade potencial em peso de colmos por unidade de área plantada. A introdução dos valores de IAF mensal para obtenção do cL e do F considerando a retenção da PAR pela atmosfera foi adequada para o ajuste obtido.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ASSUNÇÃO, H. F. Relações entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar global em Piracicaba/SP. 1994. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 142 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 1993.
- DE WIT, C. T. Photosynthesis of leaf canopies. Wageningen: Pudoc, 1965. 57p. (Agriculture Research Report , 663).
- DOOREMBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Roma, FAO, 1979. 306 p. (FAO: Irrigation e Drainage Paper, 33).
- MACHADO, E. C. Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). 1981. 115 f. Tese (Mestrado) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JUNIOR, L.A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 54, p.39-44, 1997. Número especial.