

## MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

### AGROMETEOROLOGICAL MODEL FOR ESTIMATING SUGAR CANE YIELD

Juan Sinfiorano Delgado-Rojas<sup>1</sup> e Valter Barbieri<sup>2</sup>

#### RESUMO

Elaborou-se um modelo de estimativa da produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar a partir dos resultados de ensaios experimentais de variedades de cana-de-açúcar irrigadas e não irrigadas, realizados entre os anos de 1974 e 1984, no Instituto do Açúcar e Alcool (Município de Araras/SP). O trabalho foi baseado no modelo de penalização proposto por JENSEN (1968), o qual considera que a produtividade pode ser relacionada às condições hídricas nos estádios críticos através de modelo multiplicativo. Conforme essa metodologia, a razão entre os valores da Produtividade Real ou de sequeiro ( $Y_a$ ), e da Produtividade Máxima ou em condições de irrigação ( $Y_m$ ), foram correlacionados com a Evapotranspiração Relativa ( $ET_r/ET_m$ ) determinada durante três subperíodos do cultivo (brotação e estabelecimento, crescimento vegetativo e maturação). Os resultados mostraram que as condições hídricas durante o subperíodo de maturação da cultura têm pouco peso na produtividade final, podendo ser desconsiderada quando da sua aplicação. A validação, realizada com doze ciclos independentes da cultura, mostrou que o modelo tem bons ajustes entre os valores estimados e observados. Através do modelo resultante pode-se estimar a produtividade da cana-de-açúcar, tanto em condições irrigadas como não irrigadas, em função das condições hídricas do solo; podendo serem utilizados dados reais ou médias climáticas, com possibilidade de se estimar a produtividade, quatro meses antes das colheitas (período de maturação).

**Palavras-chave:** déficit hídrico, modelagem, produtividade potencial.

#### SUMMARY

Results from irrigated and not irrigated sugar cane experiments carried out at the Instituto do Açúcar e Alcool, Araras country, São Paulo State, Brazil, from the time period between 1974 and 1984 were analyzed in order to establish a sugar cane agroindustrial productivity model. The study was based on the penalization model proposed by JENSEN (1968), which suggests that the productivity may be related to hydric conditions, during critical phenologic periods, by a multiplicative model. According to that methodology, the ratio of non irrigated real productivity ( $Y_a$ ), and to maximum productivity ( $Y_m$ ), were correlated with relative evapotranspiration ( $ET_r/ET_m$ ) of the phase 1, phase 2 and phase 3 phenological periods. It was concluded that the soil hydric conditions during the third phase of the crop has little weight in the final productivity, and considering the comparative advantages in the application, the model was simplified. A validation test was accomplished with twelve independent cycles of the crop, showing that the model allow good fittings among the estimated and observed values. Through these equations it can be considered the agriculture-industrial productivity of the sugarcane satisfactorily, so much in irrigated conditions as of not irrigated in function of the water conditions of the soil. The estimate can be accomplished using real data or measured climatic, with possibility to be four months before the crops (maturation period).

**Key words:** water deficit, modeling, potential productivity.

#### INTRODUÇÃO

O sistema solo-planta evapotranspira na taxas máximas ( $ET_m$ ) durante todo o período em que o solo se encontra dentro do intervalo da água prontamente dis-

<sup>1</sup>Funcionário técnico do "Ministerio de Agricultura y Ganadería del Paraguay" e ex-aluno de mestrado na área de Agrometeorologia na ESALQ/USP, Av. Páduas Días 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-970, Piracicaba, SP. E-mail: jsdrojas@carpa.ciagri.usp.br

<sup>2</sup>Dr. Professor Assistente, Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13418-70, Piracicaba, SP. E-mail: vbarbier@carpa.ciagri.usp.br

ponível (APD). O valor da APD para cana-de-açúcar é de 68% da capacidade de água disponível (CAD) (OMETTO, 1988). Se isso prevalecer durante todo o ciclo da cultura, considerando-se os demais fatores em condições ótimas, tem-se uma produtividade máxima ( $Y_m$ ). A partir do momento em que a água no solo atinge o limite da APD, a planta começa a sofrer restrições à retirada da água do solo e isso refletirá em seu crescimento, desenvolvimento e finalmente na sua produtividade. Em condições naturais as plantas experimentam tanto momentos de boa disponibilidade hídrica (após uma chuva), como de deficiência hídrica (ao final de um período sem chuvas); quando a evapotranspiração é real para condições não irrigadas ( $E_{Tr}$ ), chegando a ter uma produtividade em condições naturais ( $Y_a$ ).

No caso da cana-de-açúcar o efeito do déficit hídrico sobre a produtividade varia durante o ciclo da cultura. DOORENBOS & KASSAM (1979) quantificaram empiricamente o efeito da água sobre a planta e estabeleceram um fator de correlação entre a produtividade relativa ( $Y_a/Y_m$ ) e a evapotranspiração relativa ( $E_{Tr}/E_{Tm}$ ), o qual foi definido como fator do efeito da água sobre o rendimento ( $k_y$ ). Estes autores constataram que o  $k_y$  correspondente à terceira fase (período de maturação), teve baixa influência sobre a produtividade. ROSENFELD & LEME (1984), estudando épocas de irrigação em cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, concluíram que as maiores reduções da produtividade ocorreram com deficiências hídricas nos primeiros oito meses do ciclo da cana planta. Com base na análise de regressão com diferentes períodos do ciclo da cultura SCARDUA (1985) observou que no primeiro período de produção (brotação, perfilhamento e estabelecimento), o  $k_y$  teve maior peso que no segundo (formação da produção vegetativa); e que no terceiro (maturação), o efeito do déficit poderia ser considerado insignificante. O autor explica que talvez este comportamento seja devido ao fato do desenvolvimento vegetativo ocorrer no primeiro período de crescimento, constituindo o período mais sensível ao déficit de água. Isto pode acarretar em mal desenvolvimento das raízes e baixo perfilhamento, resultando portanto num baixo aproveitamento da água e nutrientes disponíveis nos subperíodos posteriores. VAZQUEZ (1970), citado por ROSENFELD (1989), estudando épocas de irrigação de cana-de-açúcar em Porto Rico, observou o mesmo comportamento e recomendou que para diversas condições climáticas é possível economizar até 250mm de água/ano suspendendo a irrigação cinco meses antes da colheita, sem redução na produção.

Portanto, o presente trabalho objetivou o desenvolvimento de um modelo agrometeorológico, baseado no modelo de JENSEN (1968) modificado, para estimar a produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar e caracterizar os efeitos da deficiência hídrica no solo sobre o rendimento de colmo e de açúcar, através de coeficientes de sensibilidade ao fator hídrico para três subperíodos da cultura.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados, tanto meteorológicos quanto de produtividade da cana-de-açúcar, foram extraídos dos informes anuais do RELATÓRIO ANUAL (1974-1986). Os ensaios comparativos durante onze anos (1974-1984), entre cana-de-açúcar irrigada e não irrigada, Tabela 1, foram realizados na estação experimental de cana-de-açúcar, no município de Araras, Estado de São Paulo (latitude: 22°18'S, longitude: 47°23'W e altitude: 620m). Os mencionados dados de produtividade são valores que relacionam a produtividade máxima observada sob condições de irrigação ( $Y_m$ ) com a produtividade real observada em condições de sequeiro ( $Y_a$ ).

Utilizou-se o modelo proposto por JENSEN (1968), dado por:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left( \frac{E_{Tr}}{E_{Tm}} \right)_i^{I_i} \quad (1)$$

modificado por MEYER et al. (1992) e CAMARGO (1992), o qual considera que a produtividade pode ser relacionada às condições hídricas dos diferentes subperíodos, por meio de um modelo multiplicativo:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left( \frac{E_{Tr}}{E_{Tm}} \right)_1^{I_1} \cdot \left( \frac{E_{Tr}}{E_{Tm}} \right)_2^{I_2} \cdot \left( \frac{E_{Tr}}{E_{Tm}} \right)_3^{I_3} \quad (2)$$

em que:  $E_{Tr}$  e  $E_{Tm}$  correspondem, respectivamente, às evapotranspirações real sob condições de sequeiro e máxima sob condições de irrigação, a nível decendial, cuja relação no modelo representa uma medida do suprimento hídrico (ORTOLANI et al., 1996). O coeficiente de sensibilidade da cultura é representado por  $\lambda$ , para os subperíodos de: (1) brotação e estabelecimento, (2) crescimento vegetativo e (3) maturação, respectivamente.

Os elementos meteorológicos temperatura do ar (°C) e precipitação pluviométrica (mm), foram ordenados conforme os ciclos das culturas para posteriormente serem utilizados no cálculo do balanço hídrico seqüencial decendial, com coeficiente da cultura ( $k_c$ ) e capacidade de água disponível (CAD) variáveis, utilizando-se o programa elaborado por BARBIERI et al. (1997), baseado no método de THORNTHWAITE & MATHER (1955). Para este cálculo foram utilizados os valores de  $k_c$  determinados por BARBIERI (1981), para cana-de-açúcar, levando-se em consideração os conceitos relacionados ao tipo de cultura (CABRAL et al., 1997). Deste modo, o valor de CAD também foi específico para cada período decendial do ciclo, conforme a profundidade média do sistema radicular da cultura (BARBIERI et al., 1997). Finalmente, foram obtidos os valores médios da evapotranspiração relativa para cada um dos subperíodo considerados e para cada um dos

Tabela 1 . Produtividade de colmo e de açúcar de cinco variedades de cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro (t/ha) em Araras, SP, no período de 1974 a 1985.

ANO	CB 41-76		NA 56-79		CB 47-355		CB 41-76		CP 51-22	
	Irrigada		Irrigada		Irrigada		Irrigada		Irrigada	
	C*	A**	C	A	C	A	C	A	C	A
74-75	132,4	20,8	100,7	15,8						
75-76	91,8	13,9	76,0	10,9						
76-77	101,0	15,6	81,5	12,4						
77-78	91,3	15,0	66,4	10,7	139,9	23,2	107,8	18,0	140,1	22,3
78-79	110,1	15,8	89,0	13,4	105,1	17,9	93,6	15,9	109,4	17,2
79-80	93,3	14,8	82,9	12,9	99,4	15,4	98,6	15,0	101,0	15,5
80-81	82,4	12,3	64,7	9,9	100,8	15,6	92,7	15,0	92,3	13,4
81-82	85,6	13,6	75,6	12,6	99,5	15,6	85,7	13,7	98,1	14,7
82-83	73,6	11,2	68,5	10,7	105,4	17,1	101,1	16,2	95,7	13,8
83-84	90,0	13,3	65,0	9,9	105,4	18,0	90,3	15,6	97,8	14,6
84-85	88,7	10,0	83,1	9,3						

\* Col mo; \*\* Açúcar

ciclos.

Na determinação do coeficiente de sensibilidade (l) para cada subperíodo da cana-de-açúcar, utilizou-se o método de regressão linear múltipla.

Aplicando-se na equação (2) o logaritmo neperiano (Ln), tem-se:

$$LnY = I_1 Ln\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1 + I_2 Ln\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2 + I_3 Ln\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_3 + e^a \quad (3)$$

sendo LnY = Ln(Ya/Ym) a variável dependente, (ETr/ETm) as variáveis independentes, para n = 1, 2 e 3 e λ<sub>1</sub>, λ<sub>2</sub><sup>n</sup> e λ<sub>3</sub> coeficientes angulares da regressão linear múltipla. Após a determinação dos valores de λ volta-se à equação original; porém, desta vez sendo o modelo dependente de um coeficiente linear (a), para a estimativa agro-industrial da cana-de-açúcar:

$$\frac{Ya}{Ym} = a \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1^{I_1} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2^{I_2} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_3^{I_3} \quad (4)$$

Para avaliar os ajustes entre os valores de produtividade estimados pelo modelo proposto e observados, foram utilizados dados independentes (Tabela 2), os quais foram submetidos a uma análise estatística.

Os índices estatísticos utilizados para essa avaliação foram os seguintes: (i) o coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>), (PEREIRA & ARRUDA, 1987); (ii) o índice de concordância de WILLMOTT (1981) (d); ainda para melhorar a avaliação dos ajustes, WILLMOTT (1981), também sugere a utilização do (iii) erro médio absoluto (EMA); (iv) erro máximo (ME); (v) eficiência do modelo proposto (EF); (vi) erro sistemático (Es) e (vii) erro aleatório (Ea).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram calculados os valores de evapotranspiração relativa média para cada um dos sub-períodos de desenvolvimento e ordenados ao lado da produtividade relativa da correspondente variedade considerada, tal como aparece na Tabela 3.

O modelo de produtividade do colmo e açúcar resultante foi:

$$Y_{ac} = 0,97 Y_{mc} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1^{0,43} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2^{0,37} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_3^{0,02} \quad (5)$$

$$Y_{aa} = 0,95 Y_{ma} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1^{0,48} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2^{0,23} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_3^{0,01} \quad (6)$$

Tabela 2. Produtividade de colmo e açúcar de cinco variedades de cana-de-açúcar sob condições irrigadas ( $Y_m$ ) e de sequeiro ( $Y_a$ ), em t/ha. Araras e Pradópolis, SP, no período de 1975 a 1986.

	IAC 51/205	CB41-76	C0775	NA 56-79	RB
725828					
	Irrigada	Irrigada	Irrigada	Irrigada	Irrigada
	Ñ Irrigada	Ñ Irrigada	Ñ Irrigada	Ñ Irrigada	Ñ Irrigada
( $Y_a$ )	( $Y_m$ )	( $Y_a$ )	( $Y_m$ )	( $Y_a$ )	( $Y_m$ )
Ano	C*	A**	C	A	C
C	A	C	A	C	A
75-76	164,3	23,3	138,8	20,7	
76-77	116,9	19,0	94,2	15,5	
77-78	110,8	17,9	94,3	15,6	
78-79			146,5	20,6	127,9
			128,3	16,6	111,6
78-79			104,3	15,5	93,7
79-80			118,1	20,3	105,7
			144,8	24,2	130,4
79-80			86,8	14,3	65,1
85-86			73,7	11,4	51,4
85-86					8,3
					89,9
					14,0
					70,2
					10,3
					122,5
					20,3
					81,9
					13,3

Os valores dos coeficientes de sensibilidade ( $\lambda$ ) permitem verificar que a deficiência hídrica ocorrida no primeiro subperíodo teve maior influência sobre a produtividade do que nos dois últimos subperíodos, confirmando a observação de alguns autores mencionados anteriormente.

O modelo foi testado com dados independentes apresentados na Tabela 2, os quais foram ordenados conforme observados na Tabela 4.

Os resultados das estimativas foram avaliados estatisticamente, utilizando os testes mencionados. Segundo a análise estatística, conforme os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice de concordância ou índice de Wilmott ( $d$ ), erro médio absoluto (EMA), erro máximo (ME), eficiência (EF), erro sistemático ( $E_s$ ) e erro aleatório ( $E_a$ ) (Tabela 5) verifica-se pouca dispersão, determinando bons ajustes dos valores estimados.

Considerando a produtividade média observada ( $Y_a$ ) do colmo igual a 97,10 t/ha (média dos valores de  $Y_a$  de colmo apresentado na Tabela 2), e ainda analisando-se a Tabela 5, EMA representa apenas 3,8% da produtividade média observada de colmo e 4,7% da produtividade média observada de açúcar considerando-os relativamente baixos. Por outro lado, os valores proporcionais do erro máximo (ME) com relação à produtividade observada correspondente, revelam que o modelo tem erro de 13% para colmo e 9,8% para açúcar, os quais também são considerados relativamente baixos. O modelo apresentou uma eficiência (EF) elevada, tanto na estimativa do colmo como para o açúcar, permitindo confiabilidade para ambas as estimativas. Os valores de  $E_s$  e  $E_a$  permitem concluir que, para os dois casos em questão, o erro aleatório foi sempre maior que o sistemático, não mostrando assim uma tendência de super ou sub-estimativa.

Na tentativa de melhorar o modelo, a linha de tendência da regressão foi forçada a passar pela origem, com a finalidade de eliminar o coeficiente linear ( $a$ ), levando em consideração a pouca influência que o mesmo exerce sobre os valores das estimativas. Os novos modelos resultantes foram:

$$Y_{ac} = Y_{m.c.} \left( \frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,43} \left( \frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,39} \left( \frac{ETr}{ETm} \right)_3^{0,07} \quad (7)$$

$$Y_{aa} = Y_{m.a.} \left( \frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,49} \left( \frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,27} \left( \frac{ETr}{ETm} \right)_3^{0,08} \quad (8)$$

os quais foram testados utilizando-se os mesmos dados independentes usados para testar os modelos anteriores. Os resultados da análise estatística revelaram que o novo modelo ajusta-se melhor que o modelo original.

Visando simplificar ainda mais o modelo, excluiu-se o balanço hídrico médio correspondente ao terceiro subperíodo da cultura, anulando-se assim o

Tabela 3. Valores observados de  $Y_a/Y_m$  e  $ET_r/ET_m$  médios por subperíodo da cultura, na localidade de Araras, SP, ano 1974-1984.

Variedade	Ciclo	$Y_a/Y_m$		$ET_r/ET_m$			
		Colmo	Açúcar	1° Subperíodo	2° Subperíodo	3° Subperíodo	
CB41-76	74-75	0,76	0,76	0,73	0,87	0,31	
	75-76	0,83	0,78	0,94	0,94	0,90	
	76-77	0,81	0,80	0,97	0,65	0,69	
	77-78	0,73	0,72	0,98	0,73	0,63	
	78-79	0,81	0,85	0,96	0,80	0,72	
	79-80	0,89	0,87	0,99	0,82	0,75	
	80-81	0,79	0,81	0,99	0,73	0,58	
	81-82	0,88	0,93	0,98	0,85	0,78	
	82-83	0,93	0,96	1,00	0,96	0,80	
	83-84	0,72	0,75	0,96	0,55	0,53	
CB41-76	84-85	0,94	0,93	0,97	0,91	0,42	
	77-78	0,90	0,87	0,79	0,85	0,65	
	78-79	0,96	0,93	0,96	0,80	0,72	
	79-80	0,94	0,96	0,99	0,82	0,75	
	80-81	0,83	0,87	0,99	0,73	0,58	
	81-82	0,97	0,94	0,98	0,85	0,78	
	82-83	0,98	0,96	1,00	0,96	0,80	
	83-84	0,77	0,82	0,96	0,55	0,53	
	CB 47-355	77-78	0,82	0,87	0,79	0,85	0,65
		78-79	0,88	0,80	0,96	0,80	0,72
79-80		0,93	0,97	0,99	0,82	0,75	
80-81		0,80	0,91	0,99	0,73	0,58	
81-82		0,89	0,91	0,98	0,85	0,78	
82-83		0,96	0,95	1,00	0,96	0,80	
NA 56-79	83-84	0,70	0,77	0,96	0,55	0,53	
	77-78	0,77	0,78	0,79	0,85	0,65	
	78-79	0,89	0,89	0,96	0,80	0,72	
	79-80	0,99	0,97	0,99	0,82	0,75	
	80-81	0,92	0,96	0,99	0,73	0,58	
	81-82	0,86	0,88	0,98	0,85	0,78	
CP 51-22	82-83	0,96	0,95	1,00	0,96	0,80	
	83-84	0,86	0,87	0,96	0,55	0,53	
	79-80	0,92	0,89	0,89	0,94	0,76	
	80-81	0,88	0,89	0,99	0,73	0,58	
	81-82	0,83	0,86	0,98	0,85	0,78	
	82-83	0,91	0,93	1,00	0,96	0,80	
	83-84	0,74	0,88	0,96	0,55	0,53	

terceiro termo das equações, ou seja:

$$Y_{ac} = Y_{mc} \cdot \left( \frac{ET_r}{ET_m} \right)_1^{0,57} \cdot \left( \frac{ET_r}{ET_m} \right)_2^{0,47} \quad (9)$$

$$Y_{aa} = Y_{ma} \cdot \left( \frac{ET_r}{ET_m} \right)_1^{0,65} \cdot \left( \frac{ET_r}{ET_m} \right)_2^{0,37} \quad (10)$$

Com o teste e avaliação estatística, foi constatado que este modelo simplificado não teve melhor resultado do que já tinha sido experimentado através das regressões anteriores; no entanto, tentando obter um modelo simplificado com boa confiabilidade nas estimativas e considerando que o último termo das equações 7 e 8, correspondente ao terceiro subperíodo

da cultura, tem pouco peso sobre o resultado da estimativa, este foi anulado, ficando o modelo da seguinte maneira:

$$Y_{ac} = Y_{mc} \cdot \left( \frac{ET_r}{ET_m} \right)_1^{0,43} \cdot \left( \frac{ET_r}{ET_m} \right)_2^{0,39} \quad (11)$$

$$Y_{aa} = Y_{ma} \cdot \left( \frac{ET_r}{ET_m} \right)_1^{0,49} \cdot \left( \frac{ET_r}{ET_m} \right)_2^{0,27} \quad (12)$$

Novamente foram realizadas as estimativas com os dados da Tabela 4, sendo posteriormente avaliados os resultados, aplicando-se os testes estatísticos (Tabela 6). Com os valores obtidos foi comprovado que este novo modelo simplificado é melhor do que os modelos anteriores, demonstrando boa confiabilidade nas

Tabela 4. Valores de produtividade máxima da cana-de-açúcar e evapotranspiração relativa ( $E_{Tr}/E_{Tm}$ ) média, de cada subperíodo da cultura, observados nas localidades de Araras e Pradópolis, ano 1975-1986.

Variedade	Período		Produtividade máxima (t/ha)		E <sub>Tr</sub> /E <sub>Tm</sub>		
	Local	Ciclo	Colmo	Açúcar	1° Subperíodo	2° Subperíodo	3° Subperíodo
IAC51/205	Araras	75-76	164,3	23,3	0,73	0,92	0,92
IAC51/205	Araras	76-77	116,9	19,0	0,97	0,65	0,40
IAC51/205	Araras	77-78	110,8	17,9	0,96	0,80	0,62
CB 41-76	Pradópolis	78-79	146,5	20,6	0,94	0,72	0,92
CB 41-76	Araras	78-79	128,3	16,6	0,85	0,83	0,76
CB 41-76	Pradópolis	79-80	104,3	15,5	0,81	0,94	0,90
CB 41-76	Araras	85-86	86,8	14,3	0,71	0,88	0,60
CB 41-76	Araras	85-86	73,7	11,4	0,71	0,88	0,60
CO 775	Pradópolis	79-80	118,1	20,3	0,97	0,85	0,73
CO 775	Pradópolis	79-80	144,8	24,2	0,87	0,88	0,70
NA 56-79	Araras	85-86	89,9	14,0	0,56	0,93	0,64
RB-725828	Pradópolis	85-86	122,5	20,3	0,38	0,93	0,69

estimativas.

Apesar dos valores dos índices estatísticos não apresentarem uma diferença significativa quando comparados com o modelo original, este pode ser utilizado prioritariamente por ser mais simples e permitir uma estimativa da produtividade com meses de antecedência à colheita.

Os gráficos da Figura 1 demonstram bons ajustes dos modelos para produtividade de colmo e açúcar (equações 11 e 12), respectivamente.

Com base nos dados de balanço hídrico e, considerando a água como único fator limitante, este modelo poderá ser utilizado para: Estimar a produtividade potencial de colmo e açúcar da região e portanto, a viabilidade econômica do uso da irrigação; estudar os efeitos do clima sobre a safra, do ponto de vista da produtividade média da região; estudar as melhores

locais e épocas de plantio, em função da produtividade real; e estimar a produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar (colmo e açúcar), com quatro a seis meses de antecedência à colheita.

## CONCLUSÕES

- O modelo de JENSEN (1968) modificado ajustado para a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo pode ser empregado para estimativas de produtividade sob condições de cultivo irrigado e não irrigado.
- Como a influência do déficit hídrico no terceiro subperíodo (maturação), de acordo com o coeficiente de sensibilidade, é muito pequena, tanto para colmo como para açúcar, pode-se utilizar o modelo simplificado, baseado apenas nos dois primeiros subperíodos do crescimento da cana-de-açúcar para estimar a produtividade final de colmo e açúcar com, no mínimo, 4 meses de antecedência à colheita.
- A aplicação da irrigação no último subperíodo (maturação) de desenvolvimento da cana-de-açúcar não acarreta acréscimos na produtividade de colmo e açúcar.

Tabela 5. Valores dos índices estatísticos da avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar (equações 5 e 6).

	R <sup>2</sup>	d	EMA (t/ha)	ME (t/ha)	EF	Es	Ea
Colmo	0,98	0,99	3,74	6,77	0,97	7,00	10,13
Açúcar	0,96	0,99	0,70	2,02	0,95	0,28	0,50

$r^2$  = coeficiente de determinação;  $d$  = índice de concordância ou índice de Wilmott; EMA = erro médio absoluto; ME = erro máximo; EF = eficiência; Es = erro sistemático; Ea = erro aleatório.

Tabela 6. Valores dos índices estatísticos da avaliação do modelo de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar (equações 11 e 12).

	R <sup>2</sup>	d	EMA (t/ha)	ME (t/ha)	EF	Es	Ea
Colmo	0,98	0,99	3,03	9,09	0,98	4,66	11,56
Açúcar	0,96	0,99	0,76	1,40	0,95	0,23	0,57

$r^2$  = coeficiente de determinação;  $d$  = índice de concordância ou índice de Wilmott; EMA = erro médio absoluto; ME = erro máximo; EF = eficiência; Es = erro sistemático; Ea = erro aleatório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar**



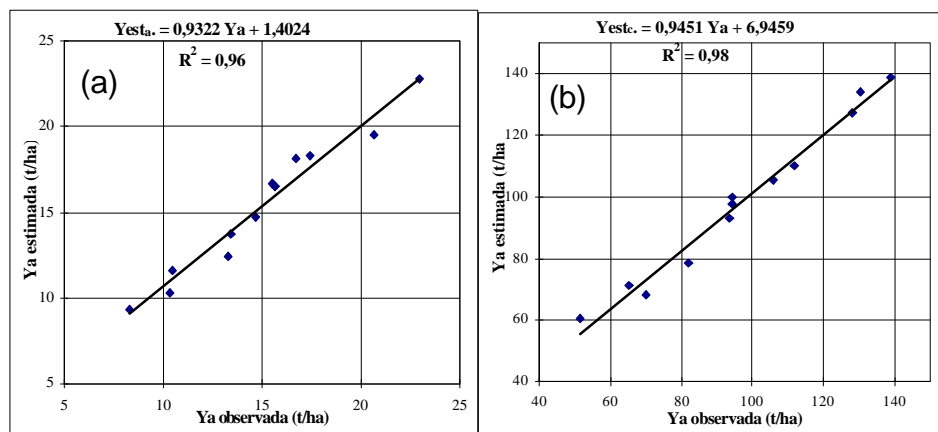


Figura 1. Análise de regressão entre produtividade observada (a) e produtividade estimada (b) pelo método proposto para colmo (equação 11) e para açúcar (equação 12), respectivamente.

- (*Saccharum spp.*)**. Piracicaba : ESALQ, 1981. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia, )Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1981
- BARBIERI, V., TERUEL, D.A., SILVA, J.G. *et al.* Balanço hídrico de Thornthwaite e Mather modificado para estimativa de deficiência nas culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais...**, Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ ESALQ, 1997. 759 p. p. 587-589.
- CABRAL, O., ROCHA, H., DIAS, M.A. *et al.* Balanço de água no solo em plantação de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais...**, Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ ESALQ, 1997. 759 p. p. 593-295.
- CAMARGO, M.B.P. **Determination of the water balance components and drought sensivity indices for a sorghum crop**. Lincoln, 1992. 131 p. Thesis (Phd) - University of Nebraska. 1992.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma : FAO, 1979. 212 p. (Riego y Drenaje, 33).
- JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.) **Water deficits and plant growth**. New York : Academic Press, 1968. v. 2, p. 1-22.
- MEYER, S.J., HUBBARD, K G., WILHITE, D.A. A crop specific drought index for corn. I. Model development and validation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 1, p. 388-395, 1992.
- OMETTO, J.C. **Freqüência de irrigação em cana-de-açúcar**. Piracicaba : FEALQ, 1988. 77 p.
- ORTOLANI, A.A., SENTELHAS, P.C., CAMARGO, M.B.P. *et al.* Modelos agrometeorológicos para estimativa da produção anual e sazonal de látex em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 147-150, 1996.
- PEREIRA, A.R., ARRUDA, H.V. **Ajuste prático de curvas na pesquisa biológica**. Campinas : Fundação Cargill, 1987. 50 p.
- RELATORIO ANUAL. Araras : Planalsucar, 1974-1986.
- ROSENFELD, U. **Período crítico de deficiência hídrica para a cana planta em cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Piracicaba, 1989. 89 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1989.
- ROSENFELD, U., LEME, F.J.A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão. Estudo de épocas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., São Paulo, 1984. **Anais...**, São Paulo : STAB, 1984. p.18-24.
- SCARDUA, R. **Clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar**. Piracicaba : ESALQ, 1985. 122 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1985.
- THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. **The water balance**. Philadelphia : Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1).
- WILLMOTT, J.C. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.