**MODELO AGROMETEOROLÓGICO PARA ESTIMATIVA DOS
EFEITOS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA PRODUTIVIDADE
AGRO-INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR**

JUAN SINFORIANO DELGADO ROJAS

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **VALTER BARBIERI**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
mestre em Agronomia, Área de Concentração:
Agrometeorologia.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Agosto - 1998

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Delgado Rojas, Juan Sinforiano

Modelo agrometeorológico para estimativa dos efeitos de deficiência hídrica na produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar / Juan Sinforiano Delgado Rojas. - - Piracicaba, 1998.

74 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.
Bibliografia.

1. Balanço hídrico 2. Cana-de-açúcar 3. Climatologia agrícola 4. Deficiência hídrica 5. Indústria agrícola 6. Produtividade agrícola I. Título

CDD 633.61

**MODELO AGROMETEOROLÓGICO PARA ESTIMATIVA DOS
EFEITOS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA PRODUTIVIDADE
AGRO-INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR**

JUAN SINFORIANO DELGADO ROJAS

Aprovada em: 17.09.1998

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Valter Barbieri

ESALQ/USP

Prof. Dr. Antonio Roberto Pereira

ESALQ/USP

Prof. Dra. Dalva Martinelli Cury

FCA/UNESP

Prof. Dr. VALTER BARBIERI

Orientador

"La Humanidad posee la capacidad de conseguir que el desarrollo sea sostenible, esto es, de garantizar que el desarrollo satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de atender a sus propias necesidades"

OMM

Aos meus queridos pais, Don Sinfioriano e Dona Francisca que me ensinaram através da suas vivências, os melhores exemplos para vencer as incertezas da vida e confiar no futuro.

Dedico

As minhas novas amizades ganhas durante o tempo de estudo em Piracicaba, pela convivência e estímulo para chegar à meta que me propus.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter-me dado boa saúde e liberdade para cumprir com minhas obrigações.

Ao Professor Valter Barbieri, pelos ensinamentos e constante orientação durante meu trabalho.

Ao Professor Paulo Sentelhas, pelo apoio e colaboração durante meu trabalho.

Aos demais Professores do Departamento de Física e Meteorologia, pelos ensinamentos e amizade.

À meus caros colegas de estudo, Rosa, Zilda, Lucy, Angélica, Adriana, Ricardo e Gabriel, pela amizade.

Sou especialmente grato a Valeria Modolo por ter-me oferecido todo o seu tempo e apoiado durante a realização do meu trabalho.

Aos funcionários do Departamento, Robinson, Ana, Edivaldo, Vanderlino, Francisco e Fernando, por todo o apoio brindado durante a realização do meu trabalho.

Ao Departamento de Física e Meteorologia por aceitar-me como aluno de pós-graduação.

Ao Instituto Agrônômico Nacional, por ter-me concedido afastamento durante todo este tempo.

Ao CNPq, por ter-me concedido bolsa de estudo para a realização do meu estudo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE TABELAS DE ANEXOS.....	x
RESUMO.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades sobre as características agroclimáticas da cana-de-açúcar.....	3
2.2 Conceitos gerais sobre produtividade da cana-de-açúcar.....	5
2.3 Modelos de estimativas de produtividade das culturas.....	6
2.4 Efeitos da deficiência hídrica sobre a produtividade da cana-de-açúcar.....	8
2.5 Balanço hídrico (<i>BH</i>)	10
2.5.1 Evapotranspiração (<i>ET</i>)	11
2.5.2 Coeficiente de cultura (<i>kc</i>)	13
2.5.3 Capacidade de água disponível no solo (<i>CAD</i>).....	14
2.5.4 Água prontamente disponível (<i>APD</i>).....	15
2.5.5 Precipitação efetiva (<i>P</i>).....	16
2.6 Conceitos gerais sobre o cálculo do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite & Mather (1955).....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Obtenção dos dados.....	20
3.2 Generalidades sobre o modelo de Jensen (1968).....	22
3.3 Cálculo do balanço hídrico (<i>BH</i>)	23
3.4 Ajuste do modelo.....	26
3.5 Tratamentos estatísticos.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31

4.1 Resultados Preliminares.....	31
4.2 Aperfeiçoamento do modelo.....	36
4.3 Simplificação do modelo.....	38
4.4 Modelo definitivo.....	41
4.5 Principais utilidades do modelo.....	44
4.6 Alguns exemplos de aplicação do modelo.....	45
5 CONCLUSÕES.....	47
ANEXOS.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	4
2	Relação entre <i>ARM/CAD</i> e <i>L/CAD</i>	18
3	Localização geográfica dos locais onde foram realizados os experimentos envolvidos no presente trabalho.....	20
4	Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para colmo eq. (20).....	34
5	Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para açúcar eq. (21).....	34
6	Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para colmo (eq. 24).....	37
7	Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para açúcar (eq. 25).....	38
8	Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para colmo (eq. 28).....	40
9	Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para açúcar (eq. 29).....	40
10	Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para colmo (eq. 32).....	43
11	Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para açúcar (eq. 33).....	43

LISTA DE TABELAS

		Página
1	Produtividade de colmo e de açúcar de cinco variedades de canas irrigadas (Y_m) e não irrigadas (Y_a), em t/ha, cultivadas em Araras, SP, no período de 1974 a 1985.....	21
2	Valores de Y_a/Y_m e ETr/ETm médios, por fase da cultura, observados na localidade de Araras.....	26
3	Produtividade de colmo e de açúcar de cinco variedades de canas, irrigadas (Y_m) e não irrigadas (Y_a), em t/ha, cultivadas em Araras e Pradópolis, SP, no período de 1975 a 1986.....	28
4	Valores de produtividade agro-industrial da cana e evapotranspiração relativa (ETr/ETm) média, de três fases da cultura, observados nas localidades de Araras e Pradópolis.....	29
5	Valores logarítmicos de Y_a/Y_m e ETr/ETm médios, por fase da cultura, na localidade de Araras.....	31
6	Valores comparativos entre produtividade agro-industrial estimados pelos modelos proposto (eq. 20 e 21) e os observados nas localidades de Araras e Pradópolis, em t/ha de colmo e de açúcar.....	33
7	Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar (eq. 20 e 21).....	35
8	Valores comparativos entre produtividade agro-industrial estimados pelos modelos propostos (eq. 24 e 25) e os observados nas localidades de Araras e Pradópolis, em t/ha de colmo e de açúcar.....	36
9	Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar, através das equações 24 e 25.....	38

10	Valores comparativos entre produtividade agro-industrial estimados pelos modelos proposto (eq.28 e 29) e os observados nas localidades de Araras e Pradópolis, em t/ha de colmo e de açúcar.....	39
11	Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar (eq.28 e 29).....	41
12	Valores comparativos entre produtividade agro-industrial estimados pelos modelos proposto (eq. 32 e 33) e os observados nas localidades de Araras e Pradópolis, em t/ha de colmo e de açúcar.....	42
13	Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar (eq. 32 e 33).....	44

LISTA DE TABELAS DE ANEXOS

		Pagina
1	Dados de temperatura e precipitação utilizados para calcular o balanço hídrico.....	49
2	Ciclo das variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Araras, cujos valores de produtividade, apresentados na pagina 21, foram utilizados para correlacionar com os valores do balanço hídrico.....	54
3	Ciclo das variedades de cana-de-açúcar, cujos valores de produtividade, apresentados na pagina 28, foram utilizados para o teste estatístico do modelo proposto.....	54
4	Balanço hídrico sequencial, método de Thornthwaite-Mather (1955), para cana de açúcar no período de setembro/1977 a julho/1978 na localidade de Araras.....	55
5 a	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana planta, variedade CB 41-76, período 1974 - 1975, em Araras.....	56
5 b	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade CB 41-76, período 1974 - 1975, em Araras.....	56
5 c	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade CB 41-76, período 1976 - 1977, em Araras.	57
5 d	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade CB 41-76, período 1977 - 1978, em Araras.....	57
5 e	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana planta, variedades NA 56-79; CB47-355 e CB41-76, período 1977 - 1978, em Araras.....	58
5 f	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedades NA 56-79; CB47-355 e CB41-76, período 1978 - 1979, em Araras.....	58

5 g	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo a cana soca, variedades NA 56-79; CB47-355 e CB41-76, período 1979 - 1980, em Araras.....	59
5 h	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana planta, variedades CP51-22, período 1979 - 1980, em Araras.....	59
5 i	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo a cana soca, variedades CB41-76; NA 56-79; CB47-355 e CP51-22, período 1980 - 1981, em Araras.....	60
5 j	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedades CB41-76; NA 56-79; CB47-355 e CP51-22, período 1981 - 1982, em Araras.....	60
5 k	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedades CB41-76; NA 56-79; CB47-355 e CP51-22, período 1982 - 1983, em Araras.....	61
5 l	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedades CB41-76; NA 56-79; CB47-355 e CP51-22, período 1983 - 1984, em Araras.....	61
5 g	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade CB41-76, período 1984 - 1985, em Araras.	62
6 a	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana planta, variedade IAC 51/205, período 1975-1976, em Araras.....	63
6 b	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade IAC 51/205, período 1976 - 1977, em Araras.....	63
6 c	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade IAC 51/205, período 1977 - 1978, em Araras.....	64
6 d	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana planta, variedade CB41-76, período 1978 - 1979, em Araras.....	64
6 e	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade NA56-79, período 1985-1986.....	65
6 f	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade CB41-76, período 1985-1986.....	65

6 g	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade CB41-76, período 1985-1986, em Araras.....	66
6 h	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana planta, variedade CB41-76, período 1978 - 1979, em Pradópolis.....	66
6 i	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade CB41-76, período 1979-1980, em Pradópolis.....	67
6 j	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana planta, variedade CO775, período 1979 - 1980, em Pradópolis.....	67
6 k	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana planta, variedade CO775, período 1979-1980, em Pradópolis.....	68
6 l	Dados de <i>ETr</i> e <i>ETm</i> durante o ciclo da cana soca, variedade RE-725828, período 1985-1986, em Pradópolis.....	68

MODELO AGROMETEOROLÓGICO PARA ESTIMATIVA DOS EFEITOS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA PRODUTIVIDADE AGRO-INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

Autor: JUAN SINFORIANO DELGADO ROJAS

Orientador: Prof. Dr. VALTER BARBIERI

RESUMO

Na elaboração do modelo de estimativa da produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar foram analisados resultados de ensaios experimentais de variedades de cana 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 períodos fenológicos críticos por modelo multiplicativo. Conforme essa metodologia, a relação entre os valores da Produtividade Real (Y_a), cana não irrigada, e da Produtividade Máxima (Y_m), cana irrigada, tanto do colmo como do açúcar, foram correlacionados com a Evapotranspiração Relativa (E_{Tr}/E_{Tm}) determinadas durante três fases do ciclo da cultura. Conclui-se que as condições hídricas do solo durante a terceira fase da cultura têm pouco peso na produtividade final, e, portanto o modelo pode ser simplificado. Segundo um teste de validação que foi realizado com doze ciclos independentes da cultura, o modelo teve bons ajustes entre os valores estimados e observados. Através destas equações pode-se estimar satisfatoriamente a produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar, tanto em condições irrigadas como de não irrigadas em função das condições hídricas do solo; podendo ser utilizada dados reais ou médias climáticas, com possibilidade de se estimar a produtividade, quatro meses antes das colheitas.

AGROMETEOROLOGICAL MODEL FOR ESTIMATING WATER DEFICIT EFFECTS ON THE AGROINDUSTRIAL YIELD OF SUGAR-CANE

Author: JUAN SINFORIANO DELGADO ROJAS

Adviser: Prof. Dr. VALTER BARBIERI

SUMMARY

Results from irrigated and non irrigated sugar cane experiments carried out at the Instituto do Açúcar e Alcool, Araras county, São Paulo state, Brazil, between 1974 and 1984 were analyzed in order to model the sugar cane agro-industrial productivity. Research was based on the penalization model proposed by Jensen (1968). He suggests that productivity may be related to hydric conditions, during critical phenological periods, by a multiplicative model. Following Jensen's model, the ratio actual/maximum productivity (Y_a/Y_m) of stalks and sugar was correlated with Relative Evapotranspiration (ET_a/ET_m), being a and m related to the non irrigated and irrigated conditions, respectively, determined during three phenological periods. It was observed that the soil water availability during the third phase of the crop had little effect on the final productivity, so, the model could be simplified. A validation test was accomplished with twelve independent cycles of the crop, showing that the model allows good fittings between the estimated and observed values. The model permitted good estimate of agro-industrial yield of sugar cane from soil water balance, in irrigated or not irrigated conditions, by the use of actual or mean climatical data, with the possibility to estimate the productivity four months before the harvest.

1 INTRODUÇÃO

Os elementos meteorológicos influem diretamente sobre a produtividade da cultura, especialmente aqueles relacionados ao aspecto hídrico, que caso não seja adequado à cultura, poderá afetar seu rendimento. A quantificação das interações entre os elementos meteorológicos e a produtividade é bastante complexa. No entanto, pode ser feita através de modelos agrometeorológicos, desenvolvidos a partir do estudo do efeito desses elementos sobre a produtividade da cultura, a medida que ocorrem nas diferentes fases do seu ciclo.

Conhecendo o grau de resposta da produtividade da cana-de-açúcar com relação às variáveis meteorológicas, é possível desenvolver modelos agrometeorológicos que sirvam para medir os efeitos dessas variações sobre a produção vegetal.

Sendo o fator hídrico um dos que mais influencia a produtividade das culturas, em especial da cana-de-açúcar, modelos matemáticos que expliquem a interrelação clima-produtividade podem ser elaborados, permitindo boa determinação do grau de importância desse fator, associados aos elementos chuva e evapotranspiração sobre a produtividade, para as fases fenológicas da cultura.

Este tipo de modelo pode ajudar na definição da época na qual a água é mais importante para a cultura, também pode ser utilizado para determinar a queda de produtividade, bem como estimar a produtividade potencial conhecendo-se a produtividade real. Através destas determinações, pode-se visualizar os parâmetros que servem como índice para estudar a viabilidade de aplicação de irrigação numa cultura. Isto é importante, pois tanto a aplicação excessiva ou insuficiente de água, além de afetar diretamente a produtividade, pode acarretar perdas econômicas. Portanto, para que a

irrigação apresente desempenho adequado, ela deve ser aplicada obedecendo a critérios econômicos e técnicos para garantir uma boa produção, respeitando ainda a sustentabilidade dos recursos naturais.

Entre os diferentes modelos agrometeorológicos, aquele proposto por Jensen (1968) é o que vem sendo mais empregado, tanto pelos bons resultados como pela sua racionalidade. Este modelo permite relacionar a produtividade em condições naturais de chuva com as condições hídricas do solo, que ocorrem nas diferentes fases do ciclo da cultura.

Considerando as observações expostas, este trabalho pretende oferecer uma ferramenta que ajude o produtor ligado ao setor canavieiro, na planificação de suas atividades rurais, bem como para qualquer decisão inerente à produção, como transporte e comercialização da cana-de-açúcar. Para tanto, pretende-se atingir os seguintes objetivos:

- 1) Ajustar e testar o modelo de Jensen (1968), para a estimativa da produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar.
- 2) Caracterizar os efeitos da deficiência hídrica sobre o rendimento do colmo e do açúcar, nas principais fases da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre as características agroclimáticas da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tem como origem a Ásia, provavelmente a Nova Guiné. A maior parte da cana-de-açúcar comercial é produzida entre as latitudes de 35° ao Norte e 35° ao Sul. A temperatura ótima para o brotamento das estacas do talo é de 32° a 38°C. O crescimento ótimo é obtido com médias diurnas de temperaturas entre 22° e 30°C. A temperatura mínima para um crescimento vigoroso é de aproximadamente 20°C; no entanto, para a maturação são convenientes temperaturas relativamente baixas, de 20° a 10°C, já que isto tem uma influência notória na redução do processo de crescimento vegetativo e no enriquecimento da sacarose da cana (Doorenbos & Kassam, 1979).

Segundo Irvine (1980), a cana-de-açúcar é uma gramínea tropical do tipo C4, que se caracteriza por apresentar elevada taxa fotossintética e alta produtividade biológica, sendo uma das mais eficientes e produtivas dentre todas as outras.

Para obter rendimento elevado é fundamental uma estação vegetativa alongada. A duração normal do período vegetativo total varia de 9 meses, com a colheita antes das geadas invernais, até 24 meses no Hawai. No entanto, geralmente é de 15 a 16 meses no Brasil, Cuba, África do Sul e Austrália, quando trata-se de cana planta. A cultura procedente da cana planta, normalmente vem seguida de 2 a 4 culturas de rebrota (cana soca), e em certos casos chegam até no máximo de 8 ciclos. A princípio, o crescimento do colmo é lento, aumentando gradualmente até alcançar o ritmo máximo, depois do qual diminui à medida que a cana começa a amadurecer devido a idade, frio e/ou seca (Doorenbos & Kassam, 1979). O acúmulo de matéria seca apresenta a forma

sigmóide, podendo ser dividido em três fases: 1) fase inicial, na qual o crescimento é lento; 2) fase de crescimento rápido, onde 70 a 80 % de toda massa seca é acumulada, e 3) fase final, em que o crescimento é novamente lento, acumulando cerca de 10 % de matéria seca (Machado, 1987). Segundo Kuyper (1952), citado por Doorenbos & Kassam (1979), para cana-de-açúcar, podem ser distinguidas 4 grandes fases de crescimento, conforme pode ser apreciado na figura 1.

Figura 1 - Períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar.
Fonte: Doorenbos & Kassam (1979).

No entanto, para fins práticos tem se adotado apenas 3 grandes fases: (i) período vegetativo total, (ii) formação da colheita e (iii) maturação.

Outras observações que podem ser ressaltadas referem-se ao sistema radicular, cuja característica é a seguinte: depois de completar seu ciclo produtivo com a colheita, as raízes começam a nascer a partir da base do talo principal, morrendo as raízes que tinham servido de sustento às plantas do ciclo anterior. Esta característica faz com que a cana seja tratada como uma cultura anual, quanto à disponibilidade de água no solo, em razão de que as raízes nascem e crescem gradualmente acompanhando o desenvolvimento da parte aérea da cultura. Outra característica que deve ser ressaltada é

o fato de que o sistema radicular das socas é mais superficial que o da cana planta. Isto está associado ao fato de que nas brotas da soca, as raízes nascem no solo a um nível mais alto daquelas que são originadas a partir das brotas da gema do colmo (Camargo, 1976).

Quanto à umidade do solo, pode-se dizer que um suprimento adequado de água é essencial para o crescimento da cultura. Segundo Doorenbos & Kassam (1979), dependendo do clima, as necessidades hídricas da cana-de-açúcar são de 1500 a 2500 mm, distribuídos de maneira uniforme durante a temporada de desenvolvimento; enquanto que Blackburn (1984), citado por Teruel (1996) observou que é necessário ao redor de 1200 mm/ano para a cultura durante todo o seu ciclo. No entanto, Barbieri (1981), trabalhando com evapotranspirógrafo de nível freático constante, na localidade de Araras, Estado de São Paulo, constatou que um consumo de 1300 mm de água durante todo seu ciclo (cana planta, 14,5 meses) é o requerimento mínimo para a cultura atingir seu máximo potencial.

2.2 Conceitos gerais sobre produtividade da cana-de-açúcar

Sabe-se que o efeito da deficiência hídrica sobre a produtividade da cana-de-açúcar depende da fase na qual a planta sofreu essa deficiência.

Em condições de ótima disponibilidade de água no solo, a planta evapotranspira na máxima taxa que permite a fase do seu desenvolvimento. Este conceito é conhecido como evapotranspiração máxima (ET_m) (Ometto, 1988). Na prática, a determinação da ET_m é por via indireta, utilizando a evapotranspiração de referência (ET_o) ajustada a um coeficiente de cultura (k_c) variável de acordo com a fase fenológica.

Se prevalecer disponibilidade ótima de água no solo durante todo o ciclo da cultura, uma produtividade máxima (Y_m) será obtida, considerando-se os demais fatores em condições ótimas (boa fertilidade do solo, ausência de pragas e doenças).

A partir do instante no qual a água é retida com maior força pelo solo, a planta sofrerá restrições à retirada e isso refletirá em seu crescimento, desenvolvimento e

finalmente na sua produtividade. Em condições naturais as plantas experimentam durante o ciclo vegetativo, tanto momentos de boa disponibilidade hídrica (depois de uma chuva), como de déficit hídrico. Neste último caso elas suportam uma evapotranspiração real em condições não irrigadas (E_{Tr}), chegando finalmente a atingir uma produtividade em condições naturais (Y_a).

2.3 Modelos de estimativas de produtividade das culturas

Uma prática comum na ciência é tentar explicar fenômenos naturais mediante modelos. Por exemplo, dizemos que a terra é redonda e gira sobre um eixo Norte - Sul. Isto nos permite explicar de um ponto de vista rudimentar, observações tais como o desaparecimento de um barco no horizonte, dia e noite, etc. Modelos mais aperfeiçoados dependem de equações matemáticas e nos permitem explicar, não somente fatos observáveis, mas também possíveis sucessos não observados. O aspecto mais importante de um modelo matemático é que possui as características intrínsecas do problema real da natureza estudada (Steel & Torrie, 1985).

Costa (1997), referindo-se à literatura científica mundial, que se ocupa desta ciência, alega que levando-se em consideração principalmente a arquitetura e a filosofia dos modelos, eles se classificam em dois tipos: empíricos e mecanísticos; sendo que para modelar, por exemplo a produtividade de culturas, se utiliza preferencialmente o primeiro.

Inúmeros estudos têm sido realizados com o objetivo de quantificar os efeitos do ambiente sobre o crescimento, desenvolvimento e rendimento de culturas. Entre os principais elementos do ambiente que têm maior efeito sobre a produtividade das plantas, pode-se destacar a radiação solar, umidade do solo e a temperatura do ar (Coelho & Dale, 1980).

Os modelos matemáticos empíricos, que estimam a produtividade de culturas específicas, são cada vez mais utilizados. Alguns deles utilizam só um elemento como fator independente para modelar a produtividade de uma cultura, como o exemplo

apresentado por Tubelis (1988), que utiliza somente dados de precipitações pluviométricas para modelos de produção de citros no Estado de São Paulo. Modelos estatísticos de regressão múltipla, tal como o de Thompson (1969), utiliza apenas duas variáveis (médias mensais de temperatura e precipitação acumulada) para estimar o rendimento de numerosas plantas cultivadas. Outros autores como De Wit (1965), descritos por Barbieri & Tuon (1992), utilizam três parâmetros de acordo com a sensibilidade da planta em resposta a esses elementos meteorológicos. Os mencionados autores utilizam radiação solar, temperatura e eficiência fotossintética para modelar a produtividade da cana-de-açúcar. Na maioria das vezes, os modelos que utilizam numerosas variáveis são tão complexos e pouco práticos que apenas são utilizados na experimentação científica.

Doorenbos & Kassam (1979), quantificaram empiricamente o efeito da água sobre a produção de diversas culturas encontrando um fator de correlação entre a produtividade relativa (Y_a/Y_m), e a evapotranspiração relativa (ET_r/ET_m), o qual chamaram de fator de efeito sobre o rendimento (k_y).

O valor de k_y para distintas culturas está baseado na avaliação de numerosos resultados de investigações, dados pela bibliografia, que abrangem uma ampla variedade de condições vegetativas e climáticas.

Os mencionados autores propõem um modelo aditivo para estimar a produtividade da cana-de-açúcar utilizando os seguintes valores de k_y : 0,75; 0,5 e 0,1, para a primeira (brotação e estabelecimento), segunda (crescimento vegetativo) e terceira fase (maturação) da cultura, respectivamente. Percebe-se que na primeira fase, o valor de k_y é superior quando comparada a última, indicando de que nessa primeira fase, a planta é muito mais sensível à deficiência hídrica que na última.

Soares (1996), utilizou igualmente este modelo para determinar o efeito do déficit e excesso hídrico sobre o rendimento da cultura do milho na localidade de Urussanga em Santa Catarina. Alfonsi (1996), determinou a época de semeadura para a cultura do milho no Estado de São Paulo, relacionando os fatores de efeitos da cultura

(k_y) sob as condições hídricas do solo nas fases críticas de desenvolvimento e os dados de precipitação pluvial, com o auxílio do mencionado modelo.

Jensen (1968) propôs um modelo multiplicativo que relaciona a evapotranspiração relativa (ET_r/ET_m) para estimar o rendimento relativo (Y_a/Y_m) de uma cultura. Este modelo permite estabelecer pesos diferentes para os diversos estádios de desenvolvimento dessa cultura.

Camargo (1992), estudando o efeito da água aplicada em diferentes fases fenológicas da cultura do sorgo no Estado de Nebraska, EUA, observou o melhor ajuste do modelo proposto por Jensen (1968) comparado ao modelo proposto por Doorenbos & Kassam (1979).

Barni *et al.* (1995) também utilizaram este modelo, correlacionando o rendimento relativo (Y_a/Y_m) do girassol e os índices hídricos (ET_r/ET_m), correspondentes a quatro períodos de desenvolvimento. Eles determinaram os índices de sensibilidade da cultura aos efeitos do déficit hídrico para distintas variedades de girassol, no Estado de Rio Grande do Sul. Matzenauer *et al.* (1995), utilizando o mesmo modelo, relacionaram o rendimento de grãos de milho com o consumo relativo de água, em diferentes períodos do ciclo da cultura, para determinar o índice de sensibilidade da cultura.

Camargo *et al.* (1995), testando 6 modelos agrometeorológicos de estimativa da produtividade de laranjas tardias, médias e precoces; observaram que o modelo de Jensen (1968) apresentou melhores resultados. Igualmente, Ortolani *et al.* (1996), utilizaram estes dois modelos para estimar a produção de látex em seringueira, observando bons ajustes em ambos os casos.

2.4 Efeitos da deficiência hídrica sobre a produtividade da cana-de-açúcar

Como visto anteriormente, o coeficiente de sensibilidade (k_y), proposto por Doorenbos & Kassam (1979) para cana-de-açúcar, correspondente à terceira fase, tem baixa influência sobre a produtividade; entretanto, a maior influência ocorre na primeira

fase. Nesse sentido, Doorenbos & Pruitt (1997), recomendaram, referente à cultura da cana soca com duração do período vegetativo de 12 meses, a suspensão da irrigação durante 4 a 6 semanas antes da colheita.

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 déficits hídricos nos primeiros oito meses do ciclo da cana planta.

Rosenfeld (1989), num experimento realizado em Araras, Estado de São Paulo, observou que a maior redução de produção, tanto de colmo quanto de açúcar, ocorreu com o período de seca compreendido entre 133 aos 246 dias de idade da cultura.

Scardua (1985) fazendo uma análise de correlação entre a queda de produtividade da cana-de-açúcar e as deficiências hídricas em três fases da cultura, revelou que na primeira fase, o coeficiente angular da regressão teve maior peso que na segunda; e que, na terceira fase, o efeito do déficit poderia ser considerado insignificante. O autor explica que, talvez, isso seja devido ao fato do estabelecimento da cultura (enraizamento e perfilhamento) ocorrer durante o 1º estágio de desenvolvimento, constituindo-se na fase mais sensível aos déficits hídricos, podendo acarretar, caso sofra deficiência hídrica, um mau desenvolvimento das raízes e baixo perfilhamento, e por consequência um baixo aproveitamento da água e nutrientes disponíveis nas fases posteriores.

Vazquez (1970), citado por Rosenfeld (1989), estudando épocas de irrigação de cana-de-açúcar em Porto Rico, já tinha observado a mesma tendência e recomendou que para diversas condições climáticas é possível economizar até 250 mm de água/ano suspendendo a irrigação cinco meses antes da colheita, sem que haja redução na produção.

Para desenvolver um modelo agrometeorológico de produtividade agro-industrial baseado no modelo proposto por Jensen (1968), em que a produtividade seja dependente da disponibilidade de água no solo, é necessário contar com dados de produtividade real (Y_a) e produtividade máxima (Y_m), assim como dados meteorológicos

com os quais poderá ser calculado o balanço hídrico. Além disso é preciso um bom conhecimento sobre os principais componentes utilizados neste cálculo, para que o resultado não tenha algum tipo de erro de procedimento. Isto é importante devido ao fato que esses dados serão correlacionados com a produtividade da cana e ajudarão na confiabilidade do modelo resultante.

2.5 Balanço hídrico (BH)

Na interação do sistema solo - planta - atmosfera está envolvida uma certa quantidade de água que entra e sai de cada um desses componentes, fazendo com que a água armazenada no solo esteja em constante variação. Esta variação representa o balanço de entrada e saída do sistema, sendo a intensidade dependente do meio. O estudo desse processo é chamado Balanço Hídrico (BH), sendo o seu conhecimento muito importante, tanto na determinação imediata da necessidade hídrica de uma cultura quanto na tomada de certas decisões num projeto agrícola. Também é caracterizado como indicador de potencial climático de um local, para uma cultura qualquer (Ometto, 1988).

Segundo Pereira *et al.* (1997), as principais fontes de entradas de água no volume de controle (solo) são basicamente seis: (i) chuva; (ii) orvalho; (iii) escoamento superficial; (iv) drenagem lateral; (v) ascensão capilar e (vi) irrigação. Enquanto que as principais possíveis saídas são: (i) evapotranspiração; (ii) escoamento superficial; (iii) drenagem lateral e (iv) drenagem profunda.

Considerando que o dinamismo desse processo depende das condições climáticas do local; para calcular as necessidades hídricas líquidas nos períodos sazonais, mensais ou inferiores a um mês, além de ter um conceito claro, deve-se determinar primeiro as variáveis que integram o balanço hídrico, sendo o número deles dependente da metodologia utilizada. Um dos métodos mais utilizados para calcular o BH, é o de Thornthwaite & Mather (1955), o qual requer basicamente dados de evapotranspiração de referência ET_o , coeficiente da cultura (kc), ao longo do período de desenvolvimento, precipitação (P) e a capacidade de água disponível (CAD) para o período considerado.

Devido à escolha acertada dos valores destas variáveis requerer conhecimentos bem claros, os conceitos sobre os mesmos serão apresentados a seguir.

2.5.1 Evapotranspiração (ET)

Evapotranspiração é o termo que foi utilizado por Thornthwaite, no início dos anos 40, para expressar a ocorrência simultânea da evaporação e da transpiração numa superfície vegetada; ela depende da disponibilidade de energia no ambiente, da demanda atmosférica, e do suprimento de água do solo às plantas (Pereira *et al.* 1997).

Diversos autores, utilizando métodos diferentes de estimativa, deram origem a outros termos como: evapotranspiração potencial, evapotranspiração de referência, evapotranspiração máxima, etc. Descrever com detalhes cada um deles mereceria um tratamento longo; portanto, sintetizando, pode-se dizer que a evapotranspiração de referência (*ET_o*), também chamada potencial pela FAO é a evapotranspiração que ocorre numa superfície vegetada com grama (*Paspalum notatum* L.) com disponibilidade suficiente de água no solo, em fase de crescimento ativo, cobrindo completamente a superfície do solo e com a bordadura adequada (Ometto, 1988). Outros autores como Jensen (1971), citado por Ometto (1988), definem *ET_o* como o limite superior ou a evapotranspiração máxima que ocorre numa cultura de alfafa (*Medicago sativa* L.), com altura de 0,3 a 0,5 m, numa dada condição climática, e com aproximadamente 100 m de área tampão.

Existem numerosos métodos desenvolvidos por diversos autores para estimar *ET_o*. Alguns deles utilizam como variáveis, numerosos elementos climáticos em complicadas equações, sendo que outros utilizam nada mais que uma ou duas variáveis tornando-se na maioria dos casos os mais utilizados devido a sua fácil aplicação. No entanto, a escolha entre uma e outra metodologia depende muito dos dados disponíveis para realizar a estimativa, assim como o grau de precisão que se pretende atingir.

Pereira *et al.* (1997), de acordo aos princípios envolvidos na sua estimativa, os agruparam em cinco categorias: (i) empíricos; (ii) aerodinâmicos; (iii)

balanço de energia; (iv) combinados e (v) correlação dos turbilhões. Para trabalhos de pesquisa de alta precisão, por convenção, os cientistas desta área aconselham que o mais adequado para estimar a evapotranspiração de uma cultura na escala diária é o método de Penman-Montheith. Doorenbos & Pruitt (1997), descreveram amplamente e recomendaram como os mais versáteis para sua utilização nos cálculos das necessidades hídricas os seguintes métodos: (a) Blaney & Criddle, (b) Radiação, (c) Penman modificado e (d) Tanque de evaporação (Classe A). Este último método, é um dos mais simples e práticos, podendo ser utilizado no cálculo de balanço hídrico, sendo recomendado seu emprego em projetos de irrigação. Ele se baseia na evaporação da água do tanque “Classe A”, que ocorre sobre um gramado com suficiente bordadura, em consequência de um efeito integrado da radiação solar, temperatura, vento e da umidade do ar. Essa evaporação é relacionada com a evapotranspiração da cultura de referência, que neste caso é o gramado; embora diversos fatores possam introduzir mudanças significativas nessa perda de água. Sendo assim, é aplicado um coeficiente K_p , que reduz ECA ao valor aproximado da evaporação de um lago, sendo ele igual ao valor da evapotranspiração da cultura de referência (gramado). É comum assumir um valor fixo para K_p igual a 0,66 sendo também frequentemente utilizado 0,7 (Pereira *et al.*, 1997). No entanto, Doorenbos & Pruitt (1997), recomendam utilizar uma tabela de valores de K_p para diferentes condições de umidade, vento e tamanho da bordadura. Essa fórmula é detalhada por Snyder (1992) citado por Pereira *et al.* (1997).

O método de estimativa de Thornthwaite, apesar de utilizar apenas a temperatura do ar como variável independente é considerado como um método adequado na determinação da evapotranspiração de referência, tanto a nível mensal como diário, para um clima como o do Estado de São Paulo (Camargo & Centelhas, 1997).

Thornthwaite & Matter (1955) utilizaram este método na determinação do balanço hídrico, embora seja possível a utilização de outro método de determinação de ET_o .

Com base nos numerosos métodos existentes, conclui-se que não existem dificuldades para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o).

A definição da ET_m é similar à de ET_o , com a diferença de que a primeira trata-se de plantas ou culturas de interesse particular em determinado estágio ou fase vegetativa. No entanto, utilizando um termo mais agrícola, pode-se dizer que a ET_m é a evapotranspiração que a planta deve conseguir para potencializar a produção e obter o máximo rendimento.

2.5.2 Coeficiente de cultura (k_c)

Para estimar evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) é preciso ajustar ET_o com a utilização de um coeficiente, denominado coeficiente de cultura (k_c).

Os fatores que influenciam o coeficiente de cultura (k_c) são principalmente as características da cultura, datas de plantio ou semeadura, desenvolvimento da cultura e da área foliar, a duração do período vegetativo, condições climáticas e, especialmente durante a primeira fase de crescimento, frequência das chuvas ou irrigações (Doorenbos & Pruitt, 1997). Segundo estes autores, as grandes variações existentes entre os principais grupos de culturas devem-se, principalmente, às diferenças existentes nos mecanismos das plantas à resistência à transpiração; como por exemplo, os estômatos fechados durante o dia (abacaxi) e as folhas cerosa (cítricos). As diferenças de altura, espessura das folhas, albedo e rugosidade da cobertura sombreada, também produzem as variações mencionadas.

Doorenbos & Pruitt (1997), para a cultura da cana-de-açúcar, encontraram valores de k_c com diferentes amplitudes conforme as condições de velocidade média de vento e de umidade.

No entanto, Barbieri (1981), realizando registro diário de evapotranspiração da cana-de-açúcar, variedade NA 56-79, através de um evapotranspirógrafo a nível freático constante, determinou o coeficiente de cultura (k_c) ao longo do ciclo, para a região de Araras/SP (Lat. 22° 18' S, Long. 47° 23'), em relação aos

diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o). O tempo total de registro foi de 18 meses e o resultado apresentou valores decendiais, com uma variação média entre 0,1 nos primeiros dias após o plantio e 1,5 na época de maior crescimento da cana, com pequenas variações entre os diferentes métodos utilizados. A estimativa de kc pelo método de tanque Classe “A”, deu como valor médio $kc = 0,91$ para o ciclo total da cultura.

2.5.3 Capacidade de água disponível no solo (CAD)

A capacidade de água disponível no solo (CAD) é definida, por Doorenbos & Kassam (1979), como a profundidade ou altura de água, em milímetros por metro de profundidade de solo, entre o conteúdo de água do solo na capacidade de campo (CC) (tensão da água no solo de 0,1 a 0,2 atm.) e o conteúdo de água no solo no ponto de murcha permanente (PMP) (tensão da água no solo de 15 atm.). A CAD para uma cultura seria a altura da água, em mm contido em aproximadamente 80% da profundidade onde as raízes estão fixadas.

Considera-se disponibilidade ótima de água no solo, quando a retenção está sob potencial matricial baixo, significando elevada quantidade de água nos capilares da camada do solo onde exploram as raízes das plantas. A quantidade máxima de milímetros de água retida nessa camada depende principalmente das propriedades físicas do solo e da profundidade do sistema radicular das plantas (Reichardt, 1996). Sousa (1976), citado por Scardua & Rosenfeld (1987), estudando a irrigação por sulcos de infiltração na cana-de-açúcar, em Araras, concluiu que nos primeiros 60 cm de solo encontram-se 82% das raízes da cana irrigada, e 75,2% das raízes da cana não irrigada. Segundo Doorenbos & Kassam (1979), em solo de textura pesada pode-se considerar CAD igual a 200 mm/m, em solo de textura média 140 mm/m e em solo de textura grossa 60 mm/m. Para um experimento, normalmente realizam-se análises de solo para determinar com maior precisão esse parâmetro.

2.5.4 Água prontamente disponível (APD)

Como foi mencionado anteriormente, as plantas evapotranspiram numa taxa máxima enquanto existe água abundante no solo. Se não há suprimento de água por meio de chuva, irrigação ou ascensão capilar, chegará um momento em que a planta terá restrições para absorver a água; a partir desse instante a evapotranspiração real (ET_r) será menor que a evapotranspiração máxima (ET_m). A porção da CAD que o solo perde por evapotranspiração sem que ET_r seja menor que ET_m é conhecido como água prontamente disponível (APD), sendo p uma relação entre APD e CAD , ou seja $p = \frac{APD}{CAD}$. Admite-se que até que essa fração p da CAD seja utilizada não há redução significativa na produtividade da cultura. Nesse contexto, define-se deficiência hídrica quando o armazenamento está abaixo da APD (Pereira *et al.*, 1997).

Segundo Doorenbos & Kassam (1979), o valor da fração p depende da: (i) cultura; (ii) magnitude de ET_m e (iii) tipo de solo.

(i) - Algumas culturas como as hortaliças, precisam continuamente de solos relativamente úmidos para manter $ET_r = ET_m$; enquanto que outras como o algodão e o sorgo, podem retirar muito mais água do solo antes que ET_r caia abaixo de ET_m . A margem tolerável da fração p é estreita para culturas cuja parte coletada é tenra ou fresca, como as frutas, hortaliças ou forragem; no entanto, é mais ampla para culturas cuja parte coletada é seca, como os cereais para grão seco, algodão e sementes oleaginosas.

(ii) - O valor de p , também pode variar com a fase de desenvolvimento e, em geral, será maior durante o período de maturação devido ao baixo nível de evapotranspiração (ET_m) e ao valor reduzido de kc . Em condições em que ET_m é elevada, p é menor; em consequência, a fração p para a qual ET_r é igual a ET_m varia com o nível de ET_m ou seja a intensidade da demanda hídrica ideal.

(iii) - A água infiltrada no solo é absorvida pelas raízes das plantas com maior facilidade nos solos de textura grossa que naqueles de textura fina. Aparentemente o valor de p é

maior para solos de textura grossa em relação aos de textura fina. Para cana-de-açúcar o valor médio da fração p é de 68% da CAD num solo de textura média (Ometto, 1988).

Conforme os conceitos mencionados, Doorenbos & Kassam (1979), agrupam as culturas em 4 categorias de acordo à fração de esgotamento da água do solo (p). Nesta classificação a cana-de-açúcar encontra-se no 4º grupo, sendo uma das culturas com maior valor da fração p .

2.5.5 Precipitação efetiva (P)

A precipitação efetiva é apenas uma parte da chuva total. Parte da chuva pode perder-se por escoamento superficial, por percolação profunda além da rizosfera e ainda por evaporação da água interceptada pelas folhas das plantas. Isto se acentua ainda mais quando a precipitação é pequena. Em regiões de chuvas fortes e intensas, somente uma pequena parte pode infiltrar e permanecer armazenada no substrato das plantas e, com isso, a eficiência da chuva será baixa. No caso de chuvas frequentes e leves a interceptação de águas pelas folhas das plantas pode ser muito importante. Neste caso, as plantas molhadas transpiram menos e contrabalançam o aumento da evaporação da água da chuva interceptada pelas folhas. Na prática, em condições de cobertura vegetal completa, pode-se supor seguramente que as chuvas leves são totalmente interceptadas.

Na estimativa da precipitação efetiva, empregam-se diferentes critérios. Por exemplo, na Índia, utilizando uma metodologia desenvolvida localmente, consideram 60% das chuvas médias como sendo efetiva; em outro equipara-se a precipitação efetiva à chuva média, porém não levando em consideração as chuvas diárias inferiores a 5 mm e nem as superiores a 75 mm/dia e 125 mm no período de 10 dias, no entanto consideram-se efetivas as chuvas caídas após 5 dias da última irrigação (Doorenbos & Pruitt, 1997).

Cabral *et al.* (1997), realizando um experimento sobre balanço de água no solo, no município de Sertãozinho (SP), observou que durante a época de maior crescimento da cana-de-açúcar, a evapotranspiração real (E_{Tr}) desse cultivo, representa apenas 30% da precipitação acumulada.

Considerando todos os fatores que participam na perda da água de chuva observa-se a dificuldade de realizar um cálculo eficiente de determinação da precipitação efetiva para uma região ou lugar específico, o que seria um elemento importante para o cálculo do balanço hídrico (*BH*). No entanto, as metodologias utilizadas para o mencionado cálculo, como por exemplo o método de Thornthwaite & Mather (1955), não se preocupam com boa estimativa dessa variável. Porém, num cálculo de *BH* climático ou mesmo sequencial, os desvios acabam-se equilibrando, obtendo-se no final uma boa estimativa.

2.6 Conceitos gerais sobre o cálculo do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite & Mather (1955)

O balanço hídrico climático, descrito por Thornthwaite & Mather (1955), é uma das diversas maneiras de monitorar o armazenamento de água no solo. A seguir se apresenta um conceito geral sobre o mesmo.

Partindo-se do suprimento natural de água ao solo, simbolizado pelas chuvas (*P*), e da demanda atmosférica, simbolizada pela evapotranspiração de referência (*ET_o*), e considerando uma *CAD* apropriada ao tipo de planta cultivada, o balanço hídrico climático fornece estimativas da evapotranspiração real (*ET_r*), da deficiência hídrica (*DEF*), do excedente hídrico (*EXC*), e do armazenamento de água no solo (*ARM*), tanto na escala diária como mensal.

Para que não haja nem excesso nem deficiência hídrica, a chuva deveria ser igual à *ET_o*. Portanto, *ET_o* representa a chuva ideal. Essa situação só acontece esporadicamente em alguns períodos. Em algumas regiões há excesso praticamente o ano todo, enquanto que em regiões áridas e semi-áridas isso nunca acontece. Em regiões tropicais, é mais comum o excesso numa época e deficiência em outra. A magnitude dos excessos e deficiências depende do conjunto solo - planta - clima.

Embora Thornthwaite (1948) tenha desenvolvido um modo de estimar *ET_o* de um local em função apenas da temperatura do ar, o balanço hídrico de

Thornthwaite & Mather (1955) funciona com qualquer método de estimativa de ET_o . Outro aspecto pouco conhecido é que este método, parte da premissa básica que a taxa de perda real da água do solo ocorre em função do volume de água armazenado no solo (ARM).

Isto significa que à medida que o solo seca, a perda real diminui proporcionalmente. Thornthwaite & Mather (1955) apresentam uma tabela que serve para calcular ARM para qualquer valor de CAD . Ela foi decifrada por Mendonça (1958), o qual permitiu desenvolver programas computacionais para facilitar o cálculo. A Figura 2 mostra a relação entre ARM/CAD ($=Y$) e L/CAD ($=X$).

Figura 2 - Relação entre ARM/CAD e L/CAD . Fonte: Pereira et al. (1997)

Verifica-se que ARM/CAD desvia substancialmente da linearidade à medida que L/CAD aumenta. Por exemplo, para $L/CAD = 0,4$ há um desvio de 11% com respeito a linearidade. Para $L/CAD = 0,5$ o desvio aumenta para 22%. Isso significa que ETr vai se afastando rapidamente de ET_o , com conseqüente prejuízo no crescimento e desenvolvimento das plantas, visto que o solo retém mais firmemente a água à medida que ele se seca. É por esse motivo que se define a fração p da água disponível entre 0,5 e 0,6. Se a cultura for muito sensível ao estresse hídrico, $p = 0,6$ é mais recomendado (Pereira et al., 1997). Nesse intervalo de variação do armazenamento (água prontamente disponível, APD), o modelo linear pode ser adotado para controlar necessidades de

irrigação, pois facilita os cálculos e não introduz diferenças significativas, visto que há uma certa variabilidade espacial na estimativa de *CAD* para um terreno.

O método de Thornthwaite & Mather (1955), detalhado por Pereira *et al.* (1997) e exposto com maior detalhe no seguinte capítulo, permite realizar balanço hídrico climático ou sequencial a qualquer escala (mensal, decendial, semanal, etc.). Este método serviu de base para a criação do programa computacional desenvolvido por Barbieri *et al.* (1991) para escala decendial, o qual foi utilizado no presente trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção dos dados

Os dados utilizados neste trabalho, tanto meteorológicos como de produtividade da cana-de-açúcar, foram extraídos dos relatórios anuais da PLANALSUCAR-IAA. Os experimentos comparativos durante onze anos (1974-1984) pela Seção de Irrigação e Climatologia, com cana irrigada e não irrigada, foram realizados na Estação Experimental de Cana-de-açúcar, no município de Araras, SP, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 22° 18' S; Longitude: 47° 23' W e altitude média: 620 m; cuja localização pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 - Localização geográfica dos locais onde foram realizados os experimentos envolvidos no presente trabalho.

Os experimentos que originaram esses dados não foram instalados para caracterizar exclusivamente a relação das condições hídricas do solo sobre a produtividade da cultura. Por exemplo, o experimento com a variedade CB 41-76, que corresponde à primeira coluna da Tabela 1, foi instalado em 4 tratamentos e 5 blocos para observar o nível de água no solo utilizando distintas dosagem de água através de irrigação por infiltração. Ele foi observado durante 11 ciclos, entre 1974 até 1985.

Tabela 1. Produtividade de colmo e de açúcar de cinco variedades de canas irrigadas (*Ym*) e não irrigadas (*Ya*), em t/ha, cultivadas em Araras, SP, no período de 1974 a 1985.

VAR.	CB 41-76				NA 56-79				CB 47-355				CB 41-76				CP 51-22			
ANO	Irigada (<i>Ym</i>)		Ñ Irrigada (<i>Ya</i>)		Irigada (<i>Ym</i>)		Ñ Irrigada (<i>Ya</i>)		Irigada (<i>Ym</i>)		Ñ Irrigada (<i>Ya</i>)		Irigada (<i>Ym</i>)		Ñ Irrigada (<i>Ya</i>)		Irigada (<i>Ym</i>)		Ñ Irrigada (<i>Ya</i>)	
	* C	A**	C	A	C	A	C	A	C	A	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	91,4	15,0	66,4	10,7	139,9	23,2	107,8	18,0	140,1	22,3	115,3	19,4	137,5	22,2	123,2	19,4				
78-79	110,1	15,8	89,0	13,4	105,1	17,9	93,6	15,9	109,4	17,2	96,0	13,8	91,8	14,8	88,3	13,8				
79-80	93,3	14,8	82,9	12,9	99,4	15,4	98,6	15,0	101,0	15,5	93,4	15,0	97,2	15,6	91,8	15,0	133,5	22,9	123,4	20,4
80-81	82,4	12,3	64,7	9,9	100,8	15,6	92,7	15,0	92,3	13,4	74,1	12,2	92,2	14,1	76,3	12,2	79,3	11,8	69,5	10,5
81-82	85,6	13,6	75,6	12,6	99,5	15,6	85,7	13,7	98,1	14,7	87,6	13,4	91,2	14,2	88,1	13,4	91,6	13,4	76,0	11,5
82-83	73,6	11,2	68,5	10,7	105,4	17,1	101,1	16,2	95,7	13,8	91,8	13,1	89,1	13,6	87,4	13,1	85,1	12,9	77,7	12,0
83-84	90,0	13,3	65,0	9,9	105,4	18,0	90,3	15,6	97,8	14,6	68,4	11,2	94,6	13,6	72,5	11,2	100,6	14,4	74,6	12,7
84-85	88,6	10,0	83,1	9,3																

* Colmo; ** Açúcar

O experimento com as variedades NA 56-79, CB 47-355 e CB 41-76, que correspondem à segunda, terça e quarta colunas da Tabela 1, foi instalado em blocos casualizados subdivididos, com níveis mínimos de água no solo, correspondendo ao consumo de 58, 69 e 86% da CAD, aplicado através de irrigação por aspersão, para caracterizar o comportamento da produtividade dessas variedades com relação às dosagens. Foram extraídos dados correspondente a 7 ciclos da cultura (1977 até 1984).

Finalmente, o experimento com a variedade CP 51-22, que corresponde à última coluna da Tabela 1, foi instalado também em blocos casualizados com parcelas subdivididas com 5 tratamentos e 5 blocos para determinar a aspersão mais barata entre

os distintos distanciamentos dos aspersores. Foram extraídos dados correspondente a 5 ciclos da cultura (1979 até 1984).

Os dados de produtividades, utilizados neste trabalho, foram selecionados arbitrariamente levando em consideração o histórico de cada um desses experimentos. Com foi visto anteriormente, eles foram montados com diferentes sistemas de irrigação, utilizando distintas variedades de cana. Para evitar erros nas escolhas dos dados, foram selecionados aqueles com melhores resultados quanto a produtividade, sem importar a diferença existente entre a produtividade real e a máxima.

3.2 Generalidades sobre o modelo de Jensen (1968)

O procedimento seguinte foi ordenar os dados de produtividade e correlacionar com a deficiência hídrica, utilizando o modelo proposto por Jensen (1968), modificado por Meyer *et al.* (1992) e Camargo (1992).

$$\frac{Ya}{Ym} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_i^{\lambda_i} \quad (1)$$

em que: Π simboliza a multiplicação entre a evapotranspiração relativa $\left(\frac{ETr}{ETm} \right)$ para cada fase de desenvolvimento da cultura (i); λ_i é o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico para cada uma das fases (i) consideradas.

Ele considera que a produtividade pode ser relacionada às condições hídricas dos períodos fenológicos, por meio de um modelo multiplicativo.

$$\frac{Ya}{Ym} = \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{\lambda_1} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{\lambda_2} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_3^{\lambda_3} \quad (2)$$

em que: ETr e ETm correspondem a evapotranspiração real e máxima a nível decendial, cuja relação no modelo representa a medida do suprimento hídrico (Ortolani *et al.* 1996); Ya e Ym são a produtividade real e a potencial. O coeficiente de sensibilidade da cultura,

representado por λ , correspondem às seguintes fases: (1) brotação e estabelecimento, (2) crescimento vegetativo e (3) maturação, respectivamente.

Para ajustar o modelo, foi necessário realizar o balanço hídrico, a partir dos dados meteorológicos que foram registrados durante o experimento, para correlacionar com os dados de produtividade.

3.3 Cálculo do balanço hídrico (BH)

Na obtenção de dados de deficiência hídrica para ajustar o modelo foi necessário calcular o balanço hídrico sequencial decendial, com coeficiente da cultura (kc) e capacidade de água disponível (CAD) variáveis. Para isso foi utilizado o programa elaborado por Barbieri *et al.* (1991), com o devido cuidado de levar em consideração o ciclo de cada um dos experimentos, tal como se apresentam nas Tabelas 2 e 3 de Anexos. O conceito utilizado foi idealizado por Thornthwaite & Mather (1955), introduzindo-se algumas alterações, como a variação de CAD e do kc durante o ciclo da cultura, (Barbieri *et al.* 1997).

É importante esclarecer que o cálculo do BH foi decendial, representando com maior precisão as condições hídricas para cultura, que o BH mensal, que ocasionalmente mascara a deficiência hídrica no solo (DEF), podendo influenciar na precisão do modelo.

O roteiro para o cálculo do balanço hídrico de acordo com a mencionada metodologia é detalhado a seguir:

O primeiro passo é calcular a ET_o segundo método de Thornthwaite (1948):

A Evapotranspiração Média padrão (ET_{op} em mm) para um mês com 30 dias e 12 horas de fotoperíodo médio diário, é representada pelo seguinte conjunto de equações:

$$ETop = 16 \left(10 \frac{Ti}{I} \right)^a \quad Ti > 0^\circ \text{ C} \quad (3)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (4)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2Ti)^{1,514} \quad Ti > 0^\circ \text{ C} \quad (5)$$

em que: Ti é a temperatura média mensal ($^\circ\text{C}$) e I o índice da região, que deve ser calculado com valores normais (média climatológica). O subscrito i representa o mês do ano ($i = 1$, jan.; $i = 2$, fev.; etc). Como esta fórmula está condicionada para padrão de 12 horas de brilho solar e mês com 30 dias, para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o), foi necessário que $ETop$ seja ajustada por um fator de correção, isto é:

$$ET_o = ETop \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \quad (6)$$

sendo N a duração máxima em horas da insolação diária de acordo com o mês e a latitude local, e ND o número de dias do período (dez neste caso).

Posteriormente, segundo os conceitos exposto no item 2.5.2, aplicando os valores de kc determinado por Barbieri (1981) para cana de açúcar, com o auxílio da eq. (7), se obtém a ET_m da cultura.

$$ET_m = kc \cdot ET_o \quad (7)$$

A seguir se calcula a diferença entre a precipitação (P) (cujos dados se encontram na Tabela 1 de anexos), e a evapotranspiração máxima decendial ($P-ET_m$), para depois calcular concomitantemente os valores de Negativo Acumulado ($NegAc$) e Armazenamento (ARM), levando em consideração os valores de CAD para cada período de desenvolvimento da cultura; que no caso do presente trabalho, esses valores variam entre 30 mm no começo e 100 mm no máximo desenvolvimento da cana. Inicia-se quando aparece o primeiro valor negativo de $P-ET_m$. Neste decendio, o valor de $NegAc$ é igual ao valor negativo de $P-ET_m$. Nos decendios seguintes se somam os valores de $P-ET_m$ dos decendios anteriores. De acordo com o valor de $NegAc$, se obtém o valor

correspondente do *ARM* com auxílio da eq. (8). Se depois de um valor ou uma série de valores de *NegAc* sobrevier um valor positivo de $(P-ETm)$ procede-se da seguinte maneira: soma-se $(P-ETm)$ positivo ao armazenamento (*ARM*) do decendio anterior e obtém-se o *ARM* do decendio em questão. Com este valor entra-se na eq. (9) obtendo assim o valor do *NegAc* do decendio em questão.

$$ARM = CAD \cdot \exp\left[-\frac{L}{CAD}\right] \quad (8)$$

$$L = CAD \cdot \ln\left[\frac{ARM}{CAD}\right] \quad (9)$$

sendo *L* a perda potencial, chamado também de negativo acumulado (*NegAc.*) por Camargo, (1978), citado por Pereira *et al.*, (1997).

Conhecendo-se o *ARM* de cada decendio calcula-se a evapotranspiração real (*ETr*), a deficiência (*DEF*), e o excedente (*EXC*) hídrico para uma determinada *CAD*. No entanto, antes é necessário conhecer a alteração (*ALT*). Ela é a variação no *ARM* entre decendios consecutivos; isto é, a *ALT* do decendio é igual ao *ARM* do decendio em questão menos o *ARM* do decendio anterior. Portanto, *ALT* assume valores tanto positivos como negativos. *ETr* é igual ao valor de *ETm* quando $(P-ETm)$ é igual ou maior que zero. Nos casos onde $(P-ETm)$ é negativo o valor *ETr* é igual à soma dos valores de $(P + |ALT|)$, sem considerar o sinal de *ALT*. A *DEF* é obtida com a diferença entre *ETm* e *ETr*. O *EXC* é sempre zero no decendio onde não ocorre *ARM* máximo ($ARM=CAD$). Quando o armazenamento é máximo o *EXC* será igual a diferença entre $(P-ETm)$ e *ALT*.

É bom esclarecer que para calcular o balanço hídrico, rodando o programa descrito, foi necessário fazê-lo desde o primeiro decendio do ano, alguns meses antes de começar a primeira fase da cana-de-açúcar. Ele serve para definir principalmente a condição de *ARM* no solo no momento em que começa a primeira fase da cultura considerada.

Para facilitar a interpretação acima descrita, um exemplo de cálculo de balanço hídrico é apresentada na Tabela 4 do Anexos.

3.4 Ajuste do modelo

Uma vez contando com os dados de balanço hídrico, calculado pela metodologia acima descrita, são calculadas as médias das três fases correspondentes ao ciclo da cultura em questão (Tabela 2), tal como aparece nas Tabelas 5a até 5g de Anexos, de forma a atender o modelo de Jensen (1968).

Tabela 2. Valores de Y_a/Y_m e E_{Tr}/E_{Tm} médios, por fase da cultura, observados na localidade de Araras.

Variedade	Ciclo	Y_a/Y_m		E_{Ta}/E_{Tm}		
		Colmo	Açúcar	1º fase	2º fase	3º fase
CB 41-76	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	0,49
	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
CB 41-76	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
CB 47-355	82-83	0,98	0,96	1,00	0,96	0,80
	83-84	0,77	0,82	0,96	0,55	0,53
	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
NA 56-79	81-82	0,89	0,91	0,98	0,85	0,78
	82-83	0,96	0,95	1,00	0,96	0,80
	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
CP 51-22	80-81	0,92	0,96	0,99	0,73	0,58
	81-82	0,86	0,88	0,98	0,85	0,78
	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
CP 51-22	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

O ajuste dos coeficientes de sensibilidade é feito através do método da regressão linear múltipla (Camargo, 1992). Para tal determinação, aplica-se a regra dos logaritmos.

Tendo-se o modelo de Jensen (1968):

$$\frac{Ya}{Ym} = \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{\lambda_1} \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{\lambda_2} \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_3^{\lambda_3} \quad (10)$$

e aplicando a ele o logaritmo neperiano, tem-se:

$$\ln\left(\frac{Ya}{Ym}\right) = \lambda_1 \ln\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1 + \lambda_2 \ln\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2 + \lambda_3 \ln\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_3 \quad (11)$$

de onde λ_1 , λ_2 e λ_3 podem ser determinados pelo método dos mínimos quadrados. Esse tipo de determinação dos valores de λ impõe a necessidade de um coeficiente linear (a); ficando as estimativas de produtividade dependentes desse coeficiente.

A primeira regressão consiste na plotagem da coluna correspondente ao $\ln(Ya/Ym)$ de colmo com as três colunas de $\ln(ETr/ETm)_{1,2,3}$. A segunda regressão é realizada de maneira similar com a diferença de que no lugar da coluna do colmo, utiliza-se a coluna correspondente ao açúcar.

Após a determinação dos valores de λ , volta-se à equação original; porém, desta vez sendo o modelo dependente de um coeficiente linear (a):

$$\left(\frac{Ya}{Ym} \right) = a \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{\lambda_1} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{\lambda_2} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_3^{\lambda_3} \quad (12)$$

sendo este modelo multiplicativo, o resultante para estimativa da produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar.

3.5 Tratamentos estatísticos

Para o teste do modelo resultante foram utilizados conjuntos de dados independentes, extraídos igualmente dos informes anuais de PLANALSUCAR. Os experimentos foram realizados em Araras e Pradópolis, sendo 12 o total (Tabela 3).

Pradópolis tem a seguinte coordenada geográfica: Latitude: 21° 22' S, Longitude: 48° 04' W e Altitude média: 517 m (ver na figura 3).

Tabela 3. Produtividade de colmo e de açúcar de cinco variedades de canas, irrigadas (Ym) e não irrigadas (Ya), em t/ha, cultivadas em Araras e Pradópolis, SP, no período de 1975 a 1986.

ANO	IAC 51/205				CB41-76				CO775				NA 56-79				RB-725828			
	Irrigada (Ym)		Não Irrigada (Ya)		Irrigada (Ym)		Não Irrigada (Ya)		Irrigada (Ym)		Não Irrigada (Ya)		Irrigada (Ym)		Não Irrigada (Ya)		Irrigada (Ym)		Não Irrigada (Ya)	
	C*	A**	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	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	16,7												
78-79					128,3	16,6	111,6	14,7												
79-80					104,3	15,5	93,7	13,4	118,1	20,3	105,7	17,5								
79-80									144,8	24,2	130,4	22,9								
85-86					86,8	14,3	65,1	10,5					89,9	14,0	70,2	10,3	122,5	20,3	81,9	13,3
85-86					73,7	11,4	51,4	8,3												

* C= colmo; ** A= açúcar

Assim como foram calculados o balanço hídrico (BH) de cada um dos ciclos das culturas para a realização das regressões múltiplas e criação do modelo, também foram calculados o BH para testar os modelos resultantes (Anexo 6a até 6l de Anexos). Neste processo foi levado em consideração o período de cada um dos ciclos, tal como foi apresentado na Tabela 3 do Anexos.

Posteriormente são calculadas as médias dos valores de ETr e ETm para as três fases de cada um dos ciclos. A seguir eles são ordenados em forma de evapotranspiração relativa (ETr/ETm) e colocados junto com a produtividade máxima (Ym) e produtividade real (Ya) correspondentes, tal como aparece na Tabela 4.

Com estes dados independentes são testados os modelos resultante, e através de tratamentos estatísticos os resultados são avaliados utilizando índices apropriados para este tipo de trabalho.

Tabela 4. Valores de produtividade agro-industrial da cana e evapotranspiração relativa (ETr/ETm) média, de três fases da cultura, observados nas localidades de Araras e Pradópolis.

PERÍODO	COLMO		AÇÚCAR		ETr/ETm		
	Ym	Ya	Ym	Ya	1°. Período	2°. Período	3°. Período
Ciclo , Local Variedade							
75-76, Araras IAC51/205	164,3	138,8	23,3	20,7	0,73	0,92	0,92
76-77, Araras IAC51/205	116,9	94,2	19,0	15,5	0,97	0,65	0,40
77-78, Araras IAC51/205	110,8	94,3	17,9	15,6	0,96	0,80	0,62
78-79, Pradopolis CB 41-76	146,5	127,9	20,6	16,7	0,94	0,72	0,92
78-79, Araras, CB 41-76	128,3	111,6	16,6	14,7	0,85	0,83	0,76
79-80, Pradopolis CB 41-76	104,3	93,7	15,5	13,4	0,81	0,94	0,90
85-86 Araras CB 41-76	86,8	65,1	14,3	10,5	0,71	0,88	0,60
85-86, Araras CB 41-76	73,7	51,4	11,4	8,3	0,71	0,88	0,60
79-80, Pradopolis CO 775	118,1	105,7	20,3	17,5	0,97	0,85	0,73
79-80, Pradopolis CO 775	144,8	130,4	24,2	22,9	0,87	0,88	0,70
85-86, Araras NA 56-79	89,9	70,2	14,0	10,3	0,56	0,93	0,64
85-86, Pradopolis RB-725828	122,5	81,9	20,3	13,3	0,38	0,93	0,69

Os índices estatísticos utilizados para avaliar a relação entre valores de produtividade de colmo e de açúcar observados e estimados, foram os seguintes:

a) coeficiente de determinação (r^2), (Pereira & Arruda, 1987):

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (O_i - P_i)^2}{\sum O_i^2 - \frac{(\sum O_i)^2}{n}} \quad (13)$$

em que: P_i é o valor estimado pelo modelo proposto, O_i o valor observado e n o número de observações.

b) índice de concordância (d), (Willmott, 1981):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n \left(|Pi - \bar{O}| + |Oi - \bar{O}| \right)^2} \right] \quad (14)$$

sendo $\bar{O}$ o valor médio dos dados observados.

Ainda para melhor avaliação dos ajustes, Loague & Green (1991), citado por Zacharias *et al.* (1996) sugerem para este tipo de avaliação a utilização dos seguintes índices:

c) erro médio absoluto (EMA)

$$EMA = \frac{1}{n} \sum |Pi - Oi| \quad (15)$$

d) erro máximo (ME)

$$ME = \text{Max}(|Oi - Pi|) \quad (16)$$

e) eficiência do modelo proposto (EF)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (Oi - Pi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2} \quad (17)$$

Willmott (1981), sugere ainda o cálculo dos seguintes erros:

f) erro sistemático (Es)

$$Es = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\hat{Pi} - Oi \right)^2 \quad (18)$$

g) erro aleatório (Ea),

$$Ea = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(Pi - \hat{Pi} \right)^2 \quad (19)$$

em que: $\hat{Pi}$ é o valor da produtividade estimada pela equação resultante do ajuste linear, conforme são explicados no item correspondente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados preliminares

Para realizar as regressões, segundo metodologia consultada, foi necessário converter os valores apresentados na Tabela 2 em valores logarítmicos.

Tabela 5. Valores logarítmicos de Y_a/Y_m e E_{Tr}/E_{Tm} médios por fase da cultura na localidade de Araras.

	Ciclo	<u>Ln de Y_a/Y_m</u>		<u>Ln de E_{Tr}/E_{Tm}</u>		
		Colmo	Açúcar	1º fase	2º fase	3º fase
CB 41-76	74-75	-0,2731	-0,2744	-0,3191	-0,1353	-1,1849
	75-76	-0,1900	-0,2433	-0,0609	-0,0567	-0,1100
	76-77	-0,2144	-0,2282	-0,0337	-0,4275	-0,7219
	77-78	-0,3188	-0,3341	-0,0244	-0,3200	-0,4599
	78-79	-0,2132	-0,1672	-0,0450	-0,2282	-0,3227
	79-80	-0,1177	-0,1370	-0,0141	-0,2004	-0,2836
	80-81	-0,2421	-0,2157	-0,0124	-0,3189	-0,5494
	81-82	-0,1244	-0,0715	-0,0166	-0,1617	-0,2510
	82-83	-0,0715	-0,0440	0,0000	-0,0406	-0,2222
CB 41-76	83-84	-0,3257	-0,2917	-0,0419	-0,5960	-0,6311
	84-85	-0,0651	-0,0726	-0,0311	-0,0943	-0,8615
CB 41-76	77-78	-0,1098	-0,1347	-0,2337	-0,1604	-0,4317
	78-79	-0,0387	-0,0704	-0,0450	-0,2282	-0,3227
	79-80	-0,0576	-0,0387	-0,0141	-0,2004	-0,2836
	80-81	-0,1887	-0,1450	-0,0124	-0,3189	-0,5494
	81-82	-0,0346	-0,0576	-0,0166	-0,1617	-0,2510
	82-83	-0,0192	-0,0377	0,0000	-0,0406	-0,2222
	83-84	-0,2666	-0,1936	-0,0419	-0,5960	-0,6311
CB 47-35	77-78	-0,1948	-0,1393	-0,2337	-0,1604	-0,4317
	78-79	-0,1301	-0,2206	-0,0450	-0,2282	-0,3227
	79-80	-0,0780	-0,0325	-0,0141	-0,2004	-0,2836
	80-81	-0,2194	-0,0943	-0,0124	-0,3189	-0,5494
	81-82	-0,1132	-0,0921	-0,0166	-0,1617	-0,2510
	82-83	-0,0419	-0,0523	0,0000	-0,0406	-0,2222
NA 56-7	83-84	-0,3581	-0,2653	-0,0419	-0,5960	-0,6311
	77-78	-0,2601	-0,2536	-0,2337	-0,1604	-0,4317
	78-79	-0,1154	-0,1188	-0,0450	-0,2282	-0,3227
	79-80	-0,0080	-0,0263	-0,0141	-0,2004	-0,2836
	80-81	-0,0834	-0,0387	-0,0124	-0,3189	-0,5494
	81-82	-0,1497	-0,1301	-0,0166	-0,1617	-0,2510
CP 51-22	82-83	-0,0419	-0,0545	0,0000	-0,0406	-0,2222
	83-84	-0,1543	-0,1427	-0,0419	-0,5960	-0,6311
	79-80	-0,0790	-0,1154	-0,1179	-0,0598	-0,2731
	80-81	-0,1324	-0,1165	-0,0124	-0,3189	-0,5494
	81-82	-0,1863	-0,1532	-0,0166	-0,1617	-0,2510
	82-83	-0,0910	-0,0726	0,0000	-0,0406	-0,2222
	83-84	-0,2984	-0,1256	-0,0419	-0,5960	-0,6311

Posteriormente, com estes valores foram realizadas as regressões lineares múltiplas. A seguir, voltando ao modelo multiplicativo, tem-se como resultado os seguintes modelos de estimativa de produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar:

$$Ya_c = 0,97Ym_c \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,43} \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,37} \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_3^{0,02} \quad (20)$$

$$Ya_a = 0,95Ym_a \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,48} \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,23} \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_3^{0,01} \quad (21)$$

em que: Ya_c é a produtividade estimada de colmo; Ya_a a produtividade estimada de açúcar; Ym_c a produtividade máxima de colmo; Ym_a a produtividade máxima de açúcar. O coeficiente de sensibilidade da cultura (λ) são representados pelos valores que eleva à potência a evapotranspiração relativa $\left(\frac{ETr}{ETm} \right)_i^{\lambda_i}$ para cada fase de desenvolvimento da cultura (i).

Os valores do coeficiente de sensibilidade (λ_i), observados nos modelos obtidos, permitem verificar que a deficiência hídrica ocorrida na primeira fase da cultura tem maior influência sobre a produtividade que nas duas últimas fases, tal como fora observado por alguns autores (Vazquez, 1970, citado por Rosenfeld, 1989; Doorenbos & Kassam, 1979; Rosenfeld & Leme, 1984; Scardua, 1985 e Rosenfeld, 1989).

Ainda analisando os valores dos coeficientes de sensibilidade, verifica-se que na terceira fase da cultura, tanto para colmo como para açúcar, houve pouca influência das condições hídricas do solo sobre a produtividade final.

Para testar o modelo, foram utilizados valores independentes de produtividade máxima e evapotranspiração relativa, apresentados na Tabela 4. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores comparativos entre produtividade agro-industrial estimados pelos modelos proposto (eq. 20 e 21) e os observados nas localidades de Araras e Pradópolis, em t/ha de colmo e de açúcar.

Nº observações	<u>Produtividade de Colmo</u>		<u>Produtividade de Açúcar</u>	
	<i>Estimada (Ya_c)</i>	<i>Observada (Ya)</i>	<i>Estimada (Ya_a)</i>	<i>Observada (Ya)</i>
1	134,74	138,83	18,66	20,68
2	93,53	94,21	16,00	15,53
3	96,28	94,29	15,79	15,64
4	107,29	111,57	14,18	14,67
5	123,10	127,89	17,34	16,73
6	90,19	93,67	13,14	13,42
7	58,21	51,44	8,90	8,28
8	68,51	65,14	11,12	10,48
9	129,59	130,41	21,72	22,94
10	101,86	105,71	17,44	17,45
11	65,56	70,15	9,86	10,30
12	75,79	81,90	11,91	13,30
média	95,83	97,10	14,78	14,95

Posteriormente, estes valores foram avaliados com relação aos observados, conforme o explicado no item 3.5, utilizando os seguintes índices estatísticos: coeficiente de determinação (r^2); índice de concordância (d); erro médio absoluto (EMA); erro máximo (ME); eficiência (EF); erro sistemático (Es) e erro aleatório (Ea).

Para o cálculo do erro sistemático Es e do erro aleatório Ea , (eq.18 e 19), foram estimadas a produtividade do colmo e do açúcar através das eq.(22 e 23), as quais são equações lineares das respectivas linhas de tendência dos ajustes dos valores estimados, apresentados nas Figuras 4 e 5.

$$\hat{Pi}_c = 0,9227.Ya + 5,7949 \quad (22)$$

$$\hat{Pi}_a = 0,8893.Ya + 1,3755 \quad (23)$$

em que: $\hat{Pi}_c$ e $\hat{Pi}_a$ são os valores de produtividade de colmo e de açúcar, respectivamente, e Ya a produtividade observada.

As Figuras 4 e 5 mostram graficamente a baixa dispersão entre os valores observados e estimados. Assim, o r^2 foi elevado para ambos os modelos, o que indica estatisticamente, um bom ajuste dos valores estimados com relação aos valores observados.

Figura 4 - Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para colmo (eq. 20).

Figura 5 - Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para açúcar (eq. 21).

Analisando os valores dos índices estatísticos da Tabela 7, observa-se que, em geral, os resultados obtidos proporcionaram alto grau de confiabilidade nas estimativas.

Tabela 7. Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar (eq. 20 e 21).

	r^2	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.

Assim, o valor do índice de concordância (d) foi elevado, alcançando valores próximos a 1 para ambos os casos, o que também indica igualmente, alto grau de ajustes.

Analisando ainda a Tabela 7, pode-se dizer que o erro médio absoluto (EMA) foi baixo, tanto para colmo como para açúcar, representando apenas 3,8% da produtividade média observada de colmo e 4,7% da produtividade média observada de açúcar. Por outro lado, os valores proporcionais dos erros máximo (ME) com relação às suas correspondentes produtividades observadas, revelaram que nas estimativas os modelos tiveram um erro de 13% para colmo e 9,8% para açúcar, que podem ser considerados relativamente baixos.

Os modelos também apresentam uma eficiência (EF) elevada nas estimativas, permitindo uma ótima confiança. Os valores do erro sistemático (Es) e o erro aleatório (Ea), permitem concluir que para os dois casos em questão, o primeiro foi sempre maior que o segundo, não demonstrando assim uma tendência de super ou sub-estimativa.

4.2 Aperfeiçoamento do modelo

Na tentativa de melhorar o modelo, foi realizada uma segunda regressão linear múltipla, desta vez com intercepção da linha de tendência passando pela origem ($a = 0$). Os resultados desta regressão são as equações seguintes:

$$Y_{ac} = Y_{mc} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,43} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,39} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_3^{0,07} \quad (24)$$

$$Y_{aa} = Y_{ma} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,49} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,27} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_3^{0,08} \quad (25)$$

Posteriormente, para comparar a confiabilidade com relação aos modelos anteriores, os modelos resultantes foram testados novamente utilizando os dados da Tabela 4. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores comparativos entre produtividade agro-industrial estimados pelos modelos propostos (eq. 24 e 25) e os observados nas localidades de Araras e Pradópolis, em t/ha de colmo e de açúcar.

Nº de observações	Produtividade de Colmo		Produtividade de Açúcar	
	Estimada (Y_{ac})	Observada (Y_a)	Estimada (Y_{aa})	Observada (Y_a)
1	138,10	138,83	19,39	20,68
2	91,55	94,21	15,51	15,53
3	96,63	94,29	15,92	15,64
4	109,33	111,57	14,63	14,67
5	124,71	127,89	17,74	16,73
6	92,35	93,67	13,66	13,42
7	58,40	51,44	8,95	8,28
8	68,74	65,14	11,18	10,48
9	131,18	130,41	22,20	22,94
10	102,97	105,71	17,78	17,45
11	66,00	70,15	9,94	10,30
12	76,54	81,90	12,03	13,30
média	96,38	97,10	14,91	14,95

Com a finalidade de avaliar os resultados da nova estimativa utilizou-se similares indicadores aos utilizados nos modelos anteriores, conforme foram detalhados no item 3.5. Observa-se nas Figuras 6 e 7, que os ajustes dos valores estimados pelo novo modelo, revelado pelo r^2 , proporcionaram uma dispersão ligeiramente menor que nas estimativas anteriores.

Para calcular o erro sistemático Es (eq.18) e o erro aleatório Ea (eq.19), como parte da avaliação do novo modelo, foram utilizadas as equações resultantes das regressões de ajustes lineares (Fig. 6 e 7), dando as seguintes equações:

$$\hat{P}i_c = 0,9519.Ya + 3,9412 \quad (26)$$

$$\hat{P}i_a = 0,9259.Ya + 1,0659 \quad (27)$$

em que: $\hat{P}i_c$ e $\hat{P}i_a$ são os valores de produtividade de colmo e açúcar, respectivamente e Ya , a produtividade observada.

Figura 6 - Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para colmo (eq.24).

Figura 7 - Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para açúcar (eq.25).

O resumo dos resultados da avaliação dos novos modelos, apresentado na Tabela 9, permite visualizar que, em geral, foram obtidos melhores ajustes que os modelos originais, o que justifica sua utilização além da sua maior simplicidade.

Tabela 9. Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar, através das equações 24 e 25.

	R^2	d	EMA (t/ha)	ME (t/ha)	EF	Es	Ea
COLMO	0,98	1,0	3,01	6,96	0,98	2,11	10,02
AÇÚCAR	0,97	0,99	0,58	1,29	0,97	0,09	0,42

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.

4.3 Simplificação do modelo

Considerando o pouco peso da deficiência hídrica, na terceira fase, sobre a produtividade final do colmo e do açúcar; e, com a finalidade de simplificar mais ainda,

em busca de maior utilidade aos modelos propostos, foi realizada uma terceira regressão. Desta vez correlacionando a produtividade máxima observada somente com as duas primeiras fases da cultura, descartando-se assim, o terceiro termo. Os resultados são as seguintes equações:

$$Ya_c = Ym_c \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,57} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,47} \quad (28)$$

$$Ya_a = Ym_a \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,65} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,37} \quad (29)$$

Para avaliar, estes modelos foram testados utilizando os mesmos dados independentes apresentados na Tabela 4. Os resultados são observados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores comparativos entre produtividade agro-industrial estimados pelos modelos proposto (eq.28 e 29) e os observados nas localidades de Araras e Pradópolis, em t/ha de colmo e de açúcar.

Nº de observações	Produtividade de Colmo		Produtividade de Açúcar	
	Estimada (Ya_c)	Observada (Ya)	Estimada (Ya_a)	Observada (Ya)
1	132,03	138,83	18,40	20,68
2	93,87	94,21	15,90	15,53
3	97,55	94,29	16,06	15,64
4	106,22	111,57	14,11	14,67
5	122,53	127,89	17,35	16,73
6	89,90	93,67	13,23	13,42
7	57,11	51,44	8,71	8,28
8	67,21	65,14	10,89	10,48
9	131,79	130,41	22,29	22,94
10	102,39	105,71	17,64	17,45
11	62,45	70,15	9,33	10,30
12	68,20	81,90	10,54	13,30
média	94,27	97,10	14,54	14,95

Considerando que para calcular o erro sistemático Es e o erro aleatório Ea , requer-se valores estimados da produtividade de colmo ($\hat{Pi}_c$) e açúcar ($\hat{Pi}_a$), conforme

já foi explicado anteriormente, foram calculadas as seguintes equações, resultantes das regressões de ajustes lineares e apresentadas nas Fig. 8 e 9.

$$\hat{Pi}_c = 0,9495.Ya + 2,0803 \quad (30)$$

$$\hat{Pi}_a = 0,9429.Ya + 0,4402 \quad (31)$$

Figura 8 - Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para colmo (eq.28).

Figura 9 - Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para açúcar (eq.29).

Para avaliar os resultados das estimativas, foram realizados tratamentos estatísticos, utilizando índices semelhantes àqueles modelos anteriores. Os resultados se observam na Tabela 11.

Tabela 11. Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar (eq. 28 e 29).

	R^2	d	EMA (t/ha)	ME (t/ha)	EF	Es	Ea
COLMO	0,96	0,99	4,89	13,70	0,95	9,71	25,65
AÇÚCAR	0,93	0,98	0,82	2,76	0,92	0,22	1,08

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.

Analisando os valores dos índices estatísticos, pode-se constatar que a precisão da estimativa dos modelos simplificados são ligeiramente inferiores que aquelas obtidas nos modelos anteriores.

4.4 Modelo definitivo

Com intuito de melhorar o grau de confiabilidade do modelo simplificado, foram testados os modelos representados pelas equações 24 e 25. Desta vez descartou-se o último termo, considerando-se que o valor do coeficiente de sensibilidade à deficiência hídrica na última fase da cultura, tem pouca influência no resultado final. Estes novos modelos simplificados são representadas pelas seguintes equações:

$$Y_{ac} = Y_{mc} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,43} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,39} \quad (32)$$

$$Y_{aa} = Y_{ma} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_1^{0,49} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_2^{0,27} \quad (33)$$

Neste caso, a eliminação do terceiro termo do modelo se justifica, pois na fase de maturação, a eficiência de assimilação das plantas é muito baixa devido a diversos fatores como: idade das folhas, total de área foliar útil, baixa temperatura nessa

época e, principalmente, amadurecimento da sacarose assimilada no colmo, a qual requer pouca absorção de água (Camargo, 1976). Portanto, caso ocorra pouca chuva durante essa fase, a evapotranspiração relativa sempre terá um valor alto, e em consequência não comprometerá a confiabilidade das estimativas.

Da mesma forma que os anteriores, estes novos modelos simplificados (modelos definitivo) foram testados, tendo como resultado os valores apresentados na Tabela 12. Posteriormente, estes valores foram avaliados utilizando-se os mesmos índices estatísticos com que foram avaliados os modelos anteriores.

Tabela 12. Valores comparativos entre produtividade agro-industrial estimados pelos modelos proposto (eq.32 e 33) e os observados nas localidades de Araras e Pradópolis, em t/ha de colmo e de açúcar.

Nº de observações	Produtividade de Colmo		Produtividade de Açúcar	
	<i>Estimada (Ya_c)</i>	<i>Observada (Ya)</i>	<i>Estimada (Ya_a)</i>	<i>Observada (Ya)</i>
1	138,90	138,83	18,40	19,52
2	97,58	94,21	15,90	16,68
3	99,88	94,29	16,06	16,53
4	109,98	111,57	14,11	14,73
5	127,17	127,89	17,35	18,13
6	93,02	93,67	13,23	13,77
7	60,53	51,44	8,71	9,32
8	71,24	65,14	10,89	11,65
9	134,09	130,41	22,29	22,78
10	105,55	105,71	17,64	18,29
11	68,13	70,15	9,33	10,31
12	78,55	81,90	10,54	12,39
média	98,72	97,10	14,54	15,34

Para calcular o erro sistemático E_s (eq.18) e o erro aleatório E_a (19), como parte do teste de validação do modelo definitivo, foram estimadas produtividade do colmo ($\hat{P}_{i_c}$) e de açúcar ($\hat{P}_{i_a}$) através das equações 34 e 35, as quais são equações lineares dos ajustes dos valores estimados pelos novos modelos, segundo as Figuras 10 e 11.

$$\hat{Pi}_c = 0,9451.Ya + 6,9459 \quad (34)$$

$$\hat{Pi}_a = 0,9322.Ya + 1,4024 \quad (35)$$

Figura 10 - Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para colmo (eq.32).

Figura 11 - Análise de regressão entre produtividade observada e produtividade estimada pelo método proposto para açúcar (eq.33).

Após o cálculo de todos os índices estatísticos (Tabela 13), estes foram comparados com os valores obtidos na avaliação dos modelos anteriores (Tabela 11).

Os resultados revelaram que, as estimativas através destes últimos modelos proporcionaram melhores ajustes que os anteriores modelos simplificados (eq.28 e 29), sendo observado menor dispersão dos valores da reta 1:1, tal como são demonstrados nas Figuras 10 e 11.

Tabela 13. Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar (eq.32 e 33).

	R^2	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.

Em geral, os valores de todos os índices estatísticos (Tabela 13), foram melhores que os anteriores modelos simplificados, revelando ter maior confiabilidade nas estimativas.

Levando em consideração os valores destas análises pode-se, finalmente, aceitar como o resultado principal deste trabalho os modelos de estimativas de produtividade de colmo e de açúcar, representados pelas equações 32 e 33.

Tendo-se em vista que na validação do modelo foram utilizados dados de outra região, acredita-se que, apesar de empírico, o modelo possa ser empregado em outras regiões do Estado de São Paulo, ou até em outros Estados situados nas mesmas latitudes.

4.5 Principais utilidades do modelo

Com base nos dados de balanço hídrico e considerando como único fator restrito a água, estes modelos poderiam ser aproveitados para:

- 1- Estimar a produtividade potencial (irrigada) da região e portanto a viabilidade de aplicação de sistema de irrigação.
- 2- Estudar os efeitos do clima sobre a safra em questão com relação à produtividade média da região.
- 3- Comparar a produtividade real para duas diferentes épocas de cultivo.
- 4- Comparar a produtividade real para dois locais diferentes.
- 5- Estimar a produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar (colmo e açúcar), com 4 a 6 meses de antecedência, dependendo da época da colheita.

4.6 Alguns exemplos de aplicação do modelo

- 1) - Numa estação experimental da EMBRAPA, no Mato Grosso do Sul, aplicando-se um sistema de irrigação no cultivo de cana-de-açúcar, pesquisadores obtiveram a produtividade de 120 t/ha de colmo e 15 t/ha de açúcar. Um agricultor da região pretende implantar a mesma cultura, mas sem sistema de irrigação e deseja saber qual produtividade poderá obter. De uma estação meteorológica local foi obtida a média do balanço hídrico climático: para os primeiros 4 meses (primeira fase) $\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1 = 0,62$ e para os seguintes 4 meses (segunda fase) $\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2 = 0,68$.

Aplicando os modelos de estimativa de produtividade de colmo e de açúcar, eq.32 e 33 respectivamente, obtém-se:

$$Ya_c = Ym_c \cdot \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1^{0,43} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2^{0,39} \rightarrow Ya_c = 120 \cdot (0,62)^{0,43} \cdot (0,68)^{0,39} = 84,06 \text{ t/ha (colmo)}$$

$$Ya_a = Ym_a \cdot \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1^{0,49} \cdot \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2^{0,27} \rightarrow Ya_a = 15 \cdot (0,62)^{0,49} \cdot (0,68)^{0,27} = 10,69 \text{ t/ha (açúcar)}$$

- Tem-se então que este agricultor pode produzir 84,06 t/ha de colmo e 10,69 t/ha de açúcar.

- 2) - Um produtor de cana-de-açúcar do norte do Paraná obteve uma produtividade média de 70 tn/ha. Ele deseja saber qual será sua produtividade no caso de aplicar irrigação em seu cultivo, pois com esse dado, ele poderá estudar a viabilidade econômica da instalação do sistema. Segundo o agrometeorologista do local, a evapotranspiração relativa climática para a primeira e segunda fase de desenvolvimento da cultura são 0,5 e 0,9 respectivamente.

Aplicando o modelo de estimativa de produtividade de colmo (eq. 32), se obtém o seguinte:

$$Ym_c = \frac{Ya_c}{\left(\frac{ETr}{ETm}\right)_1^{0,43} \left(\frac{ETr}{ETm}\right)_2^{0,39}} \rightarrow Ym_c = \frac{70}{(0,5)^{0,43} (0,9)^{0,39}} = 98,26 \text{ t/ha}$$

- Desta forma, a produtividade a ser obtida com a irrigação será de 98,26 t de colmo/ha, com um acréscimo de 28,26 t/ha.

- 3) - Pela experiência de campo, um produtor de cana-de-açúcar sem sistema de irrigação, sabe que num ano chuvoso, em que $\left(\frac{ETr}{ETm}\right) = 1$, a produtividade média atinge normalmente 110 t/ha de colmo. Porém, no presente ano, ele observou uma evapotranspiração relativa de 0,75 e 0,50 na primeira e segunda fase, respectivamente. A dúvida do produtor é de qual será sua produtividade média, pois precisa tomar certas decisões sobre o contrato de transporte e acerto de compromissos da venda com uma usina local, faltando ainda 4 meses para a colheita.

Aplicando o modelo de estimativa de produtividade de colmo (eq.32), se obtém o seguinte:

$$Ym_c = 110 \cdot (0,75)^{0,43} \cdot (0,5)^{0,39} = 74,18 \text{ t/ha}$$

- Então, o produtor obterá uma produtividade média de 74,18 t de colmo/ha na próxima safra.

5 CONCLUSÕES

- O modelo de Jensen (1968) modificado, ajustado para a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, permitiu bons ajustes entre os valores estimados e observados de produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar, recomendando-se a utilização destes modelos com boa transferibilidade.
- Os modelos propostos podem ser empregados para estimativas de produtividade sob condições de cultivo irrigado e não irrigado.
- O coeficiente de sensibilidade (λ), correspondente à primeira fase da cultura, cujos valores são 0,43 para colmo e 0,48 para açúcar, demonstraram que nessa primeira fase o déficit hídrico influencia muito mais sobre a produtividade final que nas duas últimas.
- Como a influência da deficiência hídrica na fase de maturação da cana, demonstrado pelo coeficiente de sensibilidade, é muito pequena, pode-se desprezar o último termo dos modelos aperfeiçoados (eq.24 e 25), podendo-se utilizar o modelo simplificado (eq.32 e 33) para estimar a produtividade de colmo e de açúcar com no mínimo 4 meses antes da colheita.
- As possibilidades de irrigação estão limitadas pelos níveis do coeficiente de sensibilidade da cultura; sendo assim, no último ciclo ou fase de desenvolvimento, mesmo havendo deficiência hídrica, com a aplicação da irrigação nesse período, os acréscimos na produtividade seriam nulos.

ANEXOS

Tabela 1. Dados de temperatura e precipitação utilizados para calcular o balanço hídrico.

Decendio	ARARAS 1974		ARARAS 1975		ARARAS 1976		ARARAS 1977	
	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.
1	23,5	106,0	22,0	50,0	22,7	66,0	23,4	81,0
2	22,1	74,0	23,2	95,0	25,1	65,0	23,9	141,0
3	23,1	124,0	24,1	8,0	23,2	80,0	25,2	206,1
4	24,8	19,0	23,2	159,0	22,3	123,0	25,1	4,0
5	24,9	16,0	25,0	43,0	22,3	99,0	24,1	0,0
6	23,7	15,0	23,9	87,0	22,8	138,0	24,6	18,0
7	23,5	24,0	24,5	0,0	24,4	48,0	24,0	33,1
8	22,3	236,0	22,4	0,0	24,1	143,0	24,1	37,0
9	22,4	13,0	22,2	17,0	24,0	16,0	23,7	64,1
10	22,0	16,0	21,0	28,0	22,0	11,0	20,7	55,0
11	20,5	13,0	21,0	18,0	21,0	61,0	22,2	17,1
12	19,1	2,0	21,3	0,0	19,6	5,0	19,5	0,0
13	17,7	0,0	20,3	17,0	18,6	11,0	20,3	10,0
14	19,5	4,0	19,9	0,0	22,1	52,0	16,3	1,0
15	18,0	0,0	18,3	0,0	22,1	113,0	17,5	0,0
16	18,1	3,0	18,5	2,0	16,9	49,0	17,2	32,0
17	17,6	60,0	17,5	0,0	17,7	3,0	18,9	0,0
18	15,1	76,0	19,2	0,0	17,3	0,0	18,5	7,0
19	15,8	0,0	15,9	27,0	14,3	106,0	17,7	0,0
20	18,3	0,0	16,3	0,0	16,4	0,0	18,9	1,0
21	19,0	0,0	17,0	0,0	18,8	0,0	20,0	7,0
22	18,7	0,0	22,1	0,0	19,5	15,0	20,6	0,0
23	17,4	4,0	17,7	0,0	18,6	49,0	20,3	0,0
24	21,8	0,0	22,7	0,0	19,5	12,0	19,8	30,0
25	21,2	1,0	20,9	35,0	16,7	30,0	18,8	55,0
26	22,7	3,0	20,2	0,0	16,9	47,0	22,8	7,0
27	23,6	53,0	20,0	53,0	18,0	26,0	21,0	24,0
28	21,3	38,0	21,9	48,0	19,6	67,0	21,6	30,0
29	23,5	29,0	20,6	25,0	21,6	12,1	23,1	6,0
30	25,0	88,0	21,5	18,0	24,3	44,0	23,0	18,0
31	21,3	4,0	21,0	24,0	22,2	18,0	23,6	16,0
32	24,3	49,0	21,1	14,0	23,0	90,1	21,8	84,0
33	24,1	28,0	21,7	21,0	23,0	11,0	23,4	72,0
34	21,6	95,8	23,8	16,2	23,4	7,0	22,4	89,0
35	22,0	152,0	21,8	63,0	22,3	39,0	21,5	18,0
36	23,1	141,0	22,5	94,0	23,1	128,1	21,4	56,0

Continuação da Tabela 1.

Decendio	ARARAS 1978		ARARAS 1979		ARARAS 1980		ARARAS 1981	
	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.
1	21,9	141,0	21,8	25,0	22,2	23,0	20,7	80,0
2	24,0	56,0	22,4	10,0	23,0	93,0	21,4	156,0
3	25,7	14,0	22,5	41,0	23,6	110,0	23,2	49,0
4	23,9	88,0	24,1	38,0	24,6	47,0	23,1	35,0
5	24,7	43,0	23,3	101,0	22,5	94,0	21,9	19,0
6	22,7	25,0	24,0	3,0	22,5	106,0	22,5	24,0
7	22,5	81,0	23,7	1,0	24,5	43,0	24,3	34,0
8	24,0	0,0	22,6	14,0	24,2	81,0	20,8	10,0
9	25,6	2,0	23,4	12,0	24,1	0,0	19,7	14,0
10	21,3	8,0	20,9	60,0	21,5	109,0	20,2	5,0
11	21,2	0,0	21,1	1,0	22,1	42,0	19,3	24,0
12	20,6	48,0	18,3	34,0	20,4	0,0	19,9	13,0
13	17,6	0,0	20,9	144,0	18,8	5,0	19,4	27,0
14	19,2	49,0	20,4	0,0	20,6	18,0	19,9	0,0
15	16,0	2,0	17,2	25,0	21,4	0,0	18,6	4,0
16	15,1	25,0	15,6	0,0	17,6	19,0	15,2	54,0
17	17,2	0,0	17,4	0,0	15,4	3,0	15,4	46,0
18	18,3	0,0	16,9	0,0	12,9	107,0	16,0	0,0
19	17,9	0,0	18,7	7,0	16,0	0,0	15,1	10,0
20	16,5	52,0	13,2	15,0	18,2	0,0	15,7	0,0
21	20,9	22,0	17,4	5,0	18,4	0,0	16,1	0,0
22	18,2	0,0	19,4	0,0	18,3	0,0	17,5	0,0
23	15,6	0,0	19,8	37,0	20,4	1,0	18,5	4,0
24	18,7	0,0	19,5	18,0	19,7	16,0	19,5	0,0
25	18,9	28,0	18,1	22,2	21,3	20,0	21,4	0,0
26	19,1	41,0	18,3	63,0	19,0	54,0	23,2	0,0
27	20,8	0,0	22,6	36,0	16,3	29,0	22,7	6,0
28	22,4	3,0	22,8	51,0	20,1	36,0	19,0	74,0
29	23,1	37,0	20,9	21,0	21,5	58,0	20,2	114,0
30	25,9	54,0	24,8	16,0	24,5	5,0	22,1	121,0
31	23,5	110,0	22,7	92,0	20,7	90,0	23,4	73,0
32	21,4	67,0	22,8	0,0	20,7	25,0	23,2	40,0
33	23,6	32,0	21,4	32,0	23,1	98,0	24,2	36,0
34	23,9	113,0	24,6	50,0	21,7	171,0	22,0	108,0
35	21,7	34,0	23,5	65,0	22,5	43,0	23,9	29,0
36	22,6	104,0	22,7	61,0	24,3	21,0	23,5	60,0

Continuação da Tabela 1.

Decendio	ARARAS 1982		ARARAS 1983		ARARAS 1984		ARARAS 1985	
	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.
1	22,5	45,0	22,7	96,0	25,0	35,0	22,8	144,0
2	23,6	64,0	25,0	122,0	26,5	4,0	23,4	30,0
3	21,7	74,0	23,9	82,0	23,8	63,0	23,1	156,0
4	23,1	36,0	22,5	154,0	26,0	24,0	24,6	59,0
5	24,6	8,0	24,8	96,0	26,0	5,0	25,0	54,0
6	24,8	82,0	24,7	104,0	26,6	5,0	23,6	32,0
7	22,9	105,0	24,3	303,0	24,6	48,0	22,7	32,0
8	23,5	113,0	23,4	45,0	23,6	0,0	23,2	81,0
9	22,6	60,4	23,0	28,0	23,1	22,0	25,5	0,0
10	21,1	0,0	22,2	45,0	21,9	49,0	24,1	44,0
11	20,4	29,0	22,3	7,0	22,2	17,0	22,6	113,0
12	19,6	0,0	21,4	52,0	22,1	26,0	21,1	18,0
13	16,8	0,0	21,9	10,0	22,0	7,0	19,0	0,0
14	19,6	8,0	20,8	39,0	21,3	19,0	18,6	0,0
15	17,4	28,0	18,1	144,0	20,2	0,0	19,2	35,0
16	17,9	18,4	17,5	84,1	19,3	0,0	14,1	21,0
17	18,8	30,0	18,4	0,0	19,9	0,0	14,0	0,0
18	17,5	65,0	19,7	20,0	18,4	0,0	18,6	0,0
19	17,6	0,0	20,8	0,0	20,4	0,0	17,2	0,0
20	17,2	14,0	19,0	36,0	20,4	0,0	15,5	0,0
21	18,4	4,0	18,9	20,0	17,3	3,0	16,4	0,0
22	18,6	7,0	15,6	0,0	21,7	47,0	20,3	0,0
23	18,5	18,0	20,5	0,0	18,9	23,0	18,9	0,0
24	21,5	45,0	19,9	0,0	17,1	114,0	19,3	9,0
25	19,6	0,0	16,2	94,0	19,3	19,0	18,4	28,0
26	21,8	0,0	17,5	113,0	21,9	28,0	23,7	0,0
27	19,5	23,0	21,1	49,0	19,8	30,0	21,3	5,0
28	20,6	199,2	22,4	0,0	23,4	0,0	22,1	0,0
29	20,0	86,0	21,8	52,0	22,4	24,0	24,9	0,0
30	23,2	40,0	20,3	52,0	24,4	0,0	24,5	4,0
31	25,0	34,0	22,8	164,0	26,2	32,0	22,3	45,0
32	22,6	38,0	23,2	70,0	21,8	34,0	26,5	19,0
33	24,3	117,0	22,7	32,0	22,0	87,0	22,4	120,0
34	21,6	61,0	23,0	46,0	23,1	31,0	23,0	68,0
35	22,9	86,0	23,5	164,0	22,6	77,0	25,7	9,0
36	22,5	73,0	22,3	120,0	23,0	69,0	23,9	85,0

Continuação da Tabela 1.

Decendio	ARARAS 1986		PRADOPOLIS 1978		PRADOPOLIS 1979		PRADOPOLIS 1980	
	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.
1	24,0	64,0	21,9	135,0	21,8	70,0	22,2	18,0
2	24,8	75,0	24,0	15,0	22,4	10,0	23,0	59,0
3	24,9	137,0	25,7	10,0	22,5	128,0	23,6	83,0
4	24,4	66,0	23,9	132,0	24,1	41,0	24,6	94,0
5	24,2	137,0	24,7	55,0	23,3	124,0	22,5	116,0
6	24,4	41,0	22,5	25,0	24,0	25,0	22,5	49,0
7	23,2	160,0	24,0	180,0	23,7	8,0	24,5	0,0
8	24,8	2,0	25,6	5,0	22,6	42,0	24,2	78,0
9	22,7	65,0	21,3	30,0	23,4	10,0	24,1	0,0
10	24,3	0,0	21,3	5,0	20,9	55,0	21,5	45,0
11	22,2	16,0	20,6	0,0	21,1	2,0	22,1	24,0
12	21,2	9,0	17,6	32,0	18,3	25,0	20,4	0,0
13	19,6	38,0	19,2	10,0	20,9	69,0	20,9	0,0
14	21,3	49,0	16,0	80,0	20,4	0,0	20,4	2,0
15	20,0	3,0	15,1	10,0	17,2	28,0	17,2	0,0
16	15,5	0,0	17,2	30,0	15,6	0,0	15,6	0,0
17	19,1	0,0	18,3	5,0	17,4	0,0	17,4	5,0
18	17,8	0,0	17,9	0,0	16,9	0,0	16,9	85,0
19	16,5	0,0	16,5	5,0	18,7	0,0	18,7	0,0
20	17,0	0,0	20,9	70,0	13,2	15,0	13,2	0,0
21	17,1	28,0	18,2	10,0	17,4	25,0	17,4	0,0
22	19,2	0,0	15,6	0,0	19,4	0,0	19,4	0,0
23	18,6	75,0	18,7	0,0	19,8	25,0	19,8	15,0
24	19,5	35,0	18,9	0,0	19,5	10,0	19,5	3,0
25	19,0	0,0	19,1	10,0	18,1	5,0	19,4	0,0
26	22,0	0,0	20,8	23,0	18,3	133,0	19,8	30,0
27	20,7	28,0	22,4	0,0	22,6	15,0	19,5	43,0
28			23,1	31,0	22,7	28,0		
29			25,9	40,0	22,8	57,0		
30			23,5	29,0	21,4	6,0		
31			21,4	100,0	24,6	123,0		
32			23,6	10,0	23,5	34,0		
33			23,9	40,0	22,7	50,0		
34			21,7	98,0	24,6	80,0		
35			22,6	97,0	22,7	130,0		
36			21,8	102,0	23,5	191,0		

Continuação da Tabela 1.

Decendio	PRADOPOLIS 1985		PRADOPOLIS 1986	
	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.
1	22,8	132,0	24,0	16,0
2	23,4	118,0	24,8	135,0
3	23,1	115,0	24,9	30,0
4	24,6	23,0	24,4	34,0
5	25,0	4,0	24,2	127,0
6	23,6	58,0	24,4	32,0
7	22,7	45,0	23,2	100,0
8	23,2	125,0	24,8	58,0
9	25,5	16,0	22,7	66,0
10	24,1	15,0	24,3	0,0
11	22,6	59,0	22,2	21,0
12	21,1	11,0	21,2	0,0
13	19,0	0,0	19,6	32,0
14	18,6	0,0	21,3	58,0
15	19,2	6,0	20,0	4,0
16	14,1	0,0	15,5	0,0
17	14,0	0,0	19,1	0,0
18	18,6	0,0	17,8	0,0
19	17,2	0,0	16,5	0,0
20	15,5	0,0	17,0	0,0
21	16,4	0,0	17,1	34,0
22	20,3	0,0		
23	18,9	0,0		
24	19,3	0,0		
25	18,4	0,0		
26	23,7	0,0		
27	21,3	0,0		
28	22,1	2,0		
29	24,9	0,0		
30	24,5	48,0		
31	22,3	76,0		
32	26,5	8,0		
33	22,4	69,0		
34	23,0	57,0		
35	25,7	22,0		
36	23,9	112,0		

Tabela 2 Ciclo das variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Araras, cujos valores de produtividade, apresentados na pagina 21, foram utilizados para correlacionar com os valores do balanço hídrico.

Ano	CB 41-76	NA 56-79	CB 47-355	CB 41-76	CP 5122
74-75	Abril - Agosto				
75-76	Setembro - Agosto				
76-77	Outubro - Setembro				
77-78	Outubro - Setembro	Abril - Setembro	Abril - Setembro	Abril - Setembro	
78-79	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	
79-80	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Abril - Agosto
80-81	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro
81-82	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro	Novembro - Outubro
82-83	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro
83-84	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro	Outubro - Setembro
84-85	Outubro - Setembro				

Tabela 3 Ciclo das variedades de cana-de-açúcar, cujos valores de produtividade, apresentados na pagina 28, foram utilizados para o teste estatístico do modelo proposto.

Ano	IAC 51/205	CB 41-76	CO 775	NA 56-79	RB 725828
75-76	Junho - Setembro Araras				
76-77	Outubro - Agosto Araras				
78-78	Setembro - Setembro Araras				
78-79		Fevereiro - Agosto Araras			
78-79		Março - Maio Pradópolis			
79-80		Junho - Julho Pradópolis	Março - Setembro Pradópolis		
79-80			Fevereiro - Agosto Pradópolis		
85-86		Setembro - Setembro Araras		Julho - Julho Araras	Julho - Julho Pradópolis
85-86		Setembro - Setembro Araras			

Tabela 4 Balanço hídrico sequencial, método de Thornthwaite-Mather (1955), para cana-de-açúcar no período de setembro/1977 a julho/1978 na localidade de Araras.

ANO	DEC	T°	P	kc	CAD	ETo	ETm	P-ETm	NegAc	ARM	ALT	ETr	DEF	EXC
1977	1	23,4	81	1	30	37,9	37,9	43,1	0,0	30,0	0,0	37,9	0,0	43,1
1977	2	23,9	141	1	30	39,5	39,5	101,6	0,0	30,0	0,0	39,5	0,0	101,6
1977	3	25,2	206	1	30	48,2	48,2	157,8	0,0	30,0	0,0	48,2	0,0	157,8
1977	4	25,1	4	1	30	42,8	42,8	-38,8	-38,8	8,2	-21,8	25,8	17,1	0,0
1977	5	24,1	0	1	30	38,7	38,7	-38,7	-77,5	2,3	-6,0	6,0	32,7	0,0
1977	6	24,6	18	1	30	31,8	31,8	-13,8	-91,3	1,4	-0,8	18,8	13,0	0,0
1977	7	24	33	1	30	37,2	37,2	-4,2	-95,5	1,2	-0,2	33,2	4,0	0,0
1977	8	24,1	37	1	30	36,8	36,8	0,2	-91,6	1,4	0,2	36,8	0,0	0,0
1977	9	23,7	64	1	30	38,4	38,4	25,6	-3,2	27,0	25,6	38,4	0,0	0,0
1977	10	20,7	55	1	30	25,5	25,5	29,5	0,0	30,0	3,0	25,5	0,0	26,5
1977	11	22,2	17	1	30	29,2	29,2	-12,2	-12,2	20,0	-10,0	27,0	2,2	0,0
1977	12	19,5	0	1	30	21,7	21,7	-21,7	-33,8	9,7	-10,3	10,3	11,4	0,0
1977	13	20,3	10	1	30	23,3	23,3	-13,3	-47,1	6,3	-3,5	13,5	9,8	0,0
1977	14	16,3	1	1	30	14,1	14,1	-13,1	-60,2	4,0	-2,2	3,2	10,9	0,0
1977	15	17,5	0	1	30	18,1	18,1	-18,1	-78,3	2,2	-1,8	1,8	16,2	0,0
1977	16	17,2	32	1	30	15,7	15,7	16,4	-14,4	18,6	16,4	15,7	0,0	0,0
1977	17	18,9	0	1	30	19,1	19,1	-19,1	-33,5	9,8	-8,7	8,7	10,4	0,0
1977	18	18,5	7	1	30	18,2	18,2	-11,2	-44,7	6,8	-3,1	10,1	8,2	0,0
1977	19	17,7	0	1	30	16,6	16,6	-16,6	-61,3	3,9	-2,9	2,9	13,7	0,0
1977	20	18,9	1	1	30	19,3	19,3	-18,3	-79,6	2,1	-1,8	2,8	16,5	0,0
1977	21	20	7	1	30	24,2	24,2	-17,2	-96,9	1,2	-0,9	7,9	16,3	0,0
1977	22	20,6	0	1	30	23,9	23,9	-23,9	-120,7	0,5	-0,7	0,7	23,2	0,0
1977	23	20,3	0	1	30	23,5	23,5	-23,5	-144,2	0,3	-0,3	0,3	23,2	0,0
1977	24	19,8	30	1	30	24,9	24,9	5,2	-51,5	5,4	5,2	24,9	0,0	0,0
1977	25	18,8	55	0,18	30	20,6	3,7	51,3	0,0	30,0	24,6	3,7	0,0	26,7
1977	26	22,8	7	0,3	30	31,9	9,6	-2,6	-2,6	27,5	-2,5	9,5	0,1	0,0
1977	27	21	24	0,42	30	27,1	11,4	12,6	0,0	30,0	2,5	11,4	0,0	10,2
1977	28	21,6	30	0,52	40	29,3	15,3	14,8	0,0	40,0	0,0	15,3	0,0	14,8
1977	29	23,1	6	0,61	40	34,5	21,1	-15,1	-15,1	27,4	-12,6	18,6	2,5	0,0
1977	30	23	18	0,71	40	38,2	27,1	-9,1	-24,2	21,8	-5,6	23,6	3,5	0,0
1977	31	23,6	16	0,8	50	37,3	29,9	-13,9	-36,4	24,1	-7,7	23,7	6,2	0,0
1977	32	21,8	84	0,87	50	31,9	27,7	56,3	0,0	50,0	25,9	27,7	0,0	30,4
1977	33	23,4	72	0,94	50	37,6	35,3	36,7	0,0	50,0	0,0	35,3	0,0	36,7
1977	34	22,4	89	1,01	60	34,4	34,8	54,2	0,0	60,0	0,0	34,8	0,0	54,2
1977	35	21,5	18	1,06	60	31,7	33,6	-15,6	-15,6	46,3	-13,7	31,7	1,9	0,0
1977	36	21,4	56	1,12	60	34,5	38,6	17,4	0,0	60,0	13,7	38,6	0,0	3,7
1978	1	21,9	141	1,16	70	32,9	38,1	102,9	0,0	70,0	0,0	38,1	0,0	102,9
1978	2	24	56	1,2	70	39,8	47,8	8,2	0,0	70,0	0,0	47,8	0,0	8,2
1978	3	25,7	14	1,23	70	50,3	61,9	-47,9	-47,9	35,3	-34,7	48,7	13,2	0,0
1978	4	23,9	88	1,26	80	38,5	48,5	39,5	0,0	80,0	34,7	48,5	0,0	4,8
1978	5	24,7	43	1,29	80	40,8	52,6	-9,6	-9,6	71,0	-9,1	52,1	0,6	0,0
1978	6	22,7	25	1,31	80	26,7	35,0	-10,0	-19,6	62,6	-8,3	33,3	1,7	0,0
1978	7	22,5	81	1,33	90	32,3	43,0	38,0	0,0	90,0	17,4	43,0	0,0	20,6
1978	8	24	0	1,34	90	36,5	48,9	-48,9	-48,9	52,3	-37,7	37,7	11,2	0,0
1978	9	25,6	2	1,35	90	45,4	61,3	-59,3	-108,2	27,0	-25,2	27,2	34,1	0,0
1978	10	21,3	8	1,35	100	27,2	36,7	-28,7	-128,0	27,8	-9,2	17,2	19,4	0,0
1978	11	21,2	0	1,35	100	26,4	35,6	-35,6	-163,6	19,5	-8,3	8,3	27,3	0,0
1978	12	20,6	48	1,35	100	24,4	32,9	15,1	-106,3	34,5	15,1	32,9	0,0	0,0
1978	13	17,6	0	1,35	100	17,1	23,0	-23,0	-129,3	27,4	-7,1	7,1	15,9	0,0
1978	14	19,2	49	1,34	100	20,2	27,0	22,0	-70,5	49,4	22,0	27,0	0,0	0,0
1978	15	16	2	1,33	100	14,9	19,8	-17,8	-88,3	41,4	-8,0	10,0	9,7	0,0
1978	16	15,1	25	1,32	100	11,8	15,6	9,4	-67,7	50,8	9,4	15,6	0,0	0,0
1978	17	17,2	0	1,32	100	15,6	20,6	-20,6	-88,3	41,4	-9,4	9,4	11,1	0,0
1978	18	18,3	0	1,31	100	17,8	23,3	-23,3	-111,6	32,8	-8,6	8,6	14,7	0,0
1978	19	17,9	0	1,29	100	17,0	22,0	-22,0	-133,6	26,3	-6,5	6,5	15,5	0,0
1978	20	16,5	52	1,28	100	14,4	18,4	33,6	-51,2	59,9	33,6	18,4	0,0	0,0
1978	21	20,9	22	1,26	100	26,7	33,6	-11,6	-62,9	53,3	-6,6	28,6	5,0	0,0

Tabela 5 a. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana planta, variedade CB 41-76, período 1974 - 1975, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1974	10	1,22	1,22	1,00	
1974	11	1,03	1,03	1,00	
1974	12	0,87	0,87	1,00	
1974	13	3,11	2,95	0,95	
1974	14	6,26	5,96	0,95	
1974	15	8,06	5,91	0,73	
1974	16	9,09	7,12	0,78	
1974	17	9,98	9,98	1,00	
1974	18	8,33	8,33	1,00	
1974	19	10,39	9,38	0,90	
1974	20	15,66	10,92	0,70	
1974	21	20,39	9,95	0,49	
1974	22	19,52	8,27	0,42	
1974	23	17,82	8,42	0,47	
1974	24	34,30	7,43	0,22	
1974	25	30,98	7,84	0,25	
1974	26	37,89	8,02	0,21	
1974	27	42,95	42,95	1,00	0,73
1974	28	35,84	35,84	1,00	
1974	29	46,25	34,82	0,75	
1974	30	59,98	59,98	1,00	
1974	31	39,75	24,39	0,61	
1974	32	54,06	51,29	0,95	
1974	33	54,04	37,93	0,70	
1974	34	42,95	42,95	1,00	
1974	35	44,92	44,92	1,00	
1974	36	54,97	54,97	1,00	
1975	1	44,80	44,80	1,00	
1975	2	49,56	49,56	1,00	
1975	3	58,17	47,45	0,82	
1975	4	47,66	47,66	1,00	
1975	5	55,26	54,54	0,99	
1975	6	39,14	39,14	1,00	
1975	7	50,16	39,45	0,79	
1975	8	40,22	20,05	0,50	
1975	9	42,01	25,96	0,62	0,87
1975	10	32,92	29,52	0,90	
1975	11	32,04	21,93	0,68	
1975	12	32,26	7,19	0,22	
1975	13	28,14	18,99	0,67	
1975	14	26,16	3,89	0,15	
1975	15	23,66	2,74	0,12	
1975	16	21,63	3,83	0,18	
1975	17	19,07	1,47	0,08	
1975	18	23,11	1,44	0,06	
1975	19	15,40	15,40	1,00	
1975	20	16,38	2,59	0,16	
1975	21	19,94	2,63	0,13	
1975	22	32,78	3,33	0,10	
1975	23	20,76	1,61	0,08	
1975	24	40,12	2,31	0,06	0,31

Tabela 5 b. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade CB 41-76, período 1974 - 1975, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1975	25	7,77	7,77	1,00	
1975	26	7,35	6,15	0,84	
1975	27	7,32	7,32	1,00	
1975	28	18,43	18,43	1,00	
1975	29	17,51	17,51	1,00	
1975	30	23,10	22,83	0,99	
1975	31	25,22	25,08	0,99	
1975	32	26,73	23,91	0,89	
1975	33	31,88	28,03	0,88	
1975	34	41,63	29,03	0,70	
1975	35	35,23	35,23	1,00	
1975	36	44,23	44,23	1,00	0,94
1976	1	42,62	42,62	1,00	
1976	2	53,97	53,97	1,00	
1976	3	49,53	49,53	1,00	
1976	4	42,74	42,74	1,00	
1976	5	42,14	42,14	1,00	
1976	6	34,80	34,80	1,00	
1976	7	51,65	51,57	1,00	
1976	8	49,35	49,35	1,00	
1976	9	52,91	46,28	0,87	
1976	10	39,33	28,20	0,72	
1976	11	34,89	34,89	1,00	
1976	12	29,56	22,12	0,75	0,94
1976	13	25,77	19,45	0,75	
1976	14	36,68	36,68	1,00	
1976	15	40,13	40,13	1,00	
1976	16	19,88	19,88	1,00	
1976	17	21,87	20,19	0,92	
1976	18	20,79	15,55	0,75	
1976	19	13,38	13,38	1,00	
1976	20	18,16	16,61	0,91	
1976	21	27,13	19,82	0,73	
1976	22	26,25	21,77	0,83	
1976	23	24,09	24,09	1,00	
1976	24	29,81	25,34	0,85	0,90

Tabela 5 c. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade CB 41-76, período 1976 - 1977, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1976	28	4,27	4,27	1,00	
1976	29	8,96	8,96	1,00	
1976	30	18,08	18,08	1,00	
1976	31	17,00	17,00	1,00	
1976	32	21,84	21,84	1,00	
1976	33	25,68	23,29	0,91	
1976	34	30,28	21,04	0,69	
1976	35	29,81	29,81	1,00	
1976	36	38,28	38,28	1,00	
1977	1	38,32	38,32	1,00	
1977	2	41,82	41,82	1,00	
1977	3	53,97	53,97	1,00	0,97
1977	4	49,68	37,55	0,76	
1977	5	46,39	17,66	0,38	
1977	6	39,13	22,89	0,58	
1977	7	46,85	36,87	0,79	
1977	8	47,50	39,48	0,83	
1977	9	50,33	50,33	1,00	
1977	10	33,95	33,95	1,00	
1977	11	39,07	30,63	0,78	
1977	12	29,24	13,57	0,46	
1977	13	31,39	18,74	0,60	
1977	14	19,09	7,06	0,37	
1977	15	24,36	6,61	0,27	0,65
1977	16	21,12	21,12	1,00	
1977	17	25,59	7,86	0,31	
1977	18	24,23	11,27	0,47	
1977	19	21,92	4,47	0,20	
1977	20	25,48	4,96	0,19	
1977	21	31,76	10,13	0,32	
1977	22	30,76	2,95	0,10	
1977	23	30,06	2,13	0,07	
1977	24	31,32	30,08	0,96	
1977	25	25,72	25,72	1,00	
1977	26	39,53	16,79	0,42	
1977	27	33,34	26,27	0,79	0,49

Tabela 5 d. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade CB 41-76, período 1977 - 1978, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1977	28	5,28	5,28	1,00	
1977	29	10,36	10,06	0,97	
1977	30	16,05	16,05	1,00	
1977	31	19,42	19,10	0,98	
1977	32	19,45	19,45	1,00	
1977	33	26,66	26,66	1,00	
1977	34	27,54	27,54	1,00	
1977	35	27,54	26,68	0,97	
1977	36	32,43	32,43	1,00	
1978	1	33,18	33,18	1,00	
1978	2	42,20	42,20	1,00	
1978	3	56,32	44,36	0,79	0,98
1978	4	44,67	44,67	1,00	
1978	5	48,94	48,69	0,99	
1978	6	32,87	31,83	0,97	
1978	7	40,73	40,73	1,00	
1978	8	47,08	35,59	0,76	
1978	9	59,50	24,77	0,42	
1978	10	36,13	16,49	0,46	
1978	11	35,35	7,52	0,21	
1978	12	32,93	32,93	1,00	
1978	13	23,03	8,37	0,36	
1978	14	27,23	27,23	1,00	
1978	15	20,06	10,94	0,55	0,73
1978	16	15,92	15,92	1,00	
1978	17	20,86	10,21	0,49	
1978	18	23,67	9,28	0,39	
1978	19	22,47	6,99	0,31	
1978	20	18,97	18,97	1,00	
1978	21	34,94	29,38	0,84	
1978	22	23,51	11,19	0,48	
1978	23	16,97	6,59	0,39	
1978	24	27,66	8,61	0,31	
1978	25	26,02	26,02	1,00	
1978	26	26,92	26,92	1,00	
1978	27	32,66	12,00	0,37	0,63

Tabela 5 e. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana planta, variedades NA 56-79; CB47-355 e CB41-76, período 1977 - 1978, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1977	10	1,07	1,07	1,00	
1977	11	1,22	1,22	1,00	
1977	12	0,91	0,90	0,99	
1977	13	4,19	4,19	1,00	
1977	14	4,24	4,07	0,96	
1977	15	7,58	6,01	0,79	
1977	16	8,14	8,14	1,00	
1977	17	11,65	10,11	0,87	
1977	18	12,94	11,12	0,86	
1977	19	13,29	8,35	0,63	
1977	20	16,79	8,43	0,50	
1977	21	22,79	12,41	0,54	
1977	22	24,09	8,13	0,34	
1977	23	24,89	5,59	0,22	
1977	24	27,84	27,84	1,00	
1977	25	23,87	23,87	1,00	
1977	26	38,25	26,50	0,69	
1977	27	33,34	28,33	0,85	0,79
1977	28	36,95	33,35	0,90	
1977	29	44,56	20,14	0,45	
1977	30	50,05	25,54	0,51	
1977	31	49,66	23,89	0,48	
1977	32	42,72	42,72	1,00	
1977	33	50,69	50,69	1,00	
1977	34	46,48	46,48	1,00	
1977	35	42,73	39,91	0,93	
1977	36	46,57	46,57	1,00	
1978	1	44,36	44,36	1,00	
1978	2	53,35	53,35	1,00	
1978	3	66,88	55,07	0,82	
1978	4	50,84	50,84	1,00	
1978	5	53,83	52,86	0,98	
1978	6	35,00	33,21	0,95	
1978	7	41,70	41,70	1,00	
1978	8	46,71	37,32	0,80	
1978	9	57,23	28,60	0,50	0,85
1978	10	33,95	16,25	0,48	
1978	11	32,71	7,77	0,24	
1978	12	30,01	30,01	1,00	
1978	13	20,64	7,10	0,34	
1978	14	24,21	24,21	1,00	
1978	15	17,68	10,09	0,57	
1978	16	13,92	13,92	1,00	
1978	17	18,37	9,86	0,54	
1978	18	20,82	9,19	0,44	
1978	19	19,91	7,17	0,36	
1978	20	16,82	16,82	1,00	
1978	21	31,21	27,96	0,90	
1978	22	21,51	11,95	0,56	
1978	23	15,78	7,27	0,46	

Continuação da Tabela 5 e.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1978	24	26,35	9,85	0,37	
1978	25	24,98	24,98	1,00	
1978	26	26,05	26,05	1,00	
1978	27	31,86	13,82	0,43	0,65

Tabela 5 f. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedades NA 56-79; CB47-355 e CB41-76, período 1978 - 1979, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1978	28	5,71	4,07	0,71	
1978	29	10,36	10,36	1,00	
1978	30	20,76	20,76	1,00	
1978	31	19,24	19,24	1,00	
1978	32	18,68	18,68	1,00	
1978	33	27,16	27,16	1,00	
1978	34	31,70	31,70	1,00	
1978	35	28,10	28,10	1,00	
1978	36	36,50	36,50	1,00	
1979	1	32,86	32,36	0,98	
1979	2	36,33	28,70	0,79	
1979	3	42,20	41,67	0,99	0,96
1979	4	45,49	42,39	0,93	
1979	5	43,12	43,12	1,00	
1979	6	37,09	29,99	0,81	
1979	7	45,59	23,65	0,52	
1979	8	41,32	22,78	0,55	
1979	9	48,96	19,98	0,41	
1979	10	34,67	34,67	1,00	
1979	11	34,99	16,39	0,47	
1979	12	25,47	25,47	1,00	
1979	13	33,44	33,44	1,00	
1979	14	31,06	26,70	0,86	
1979	15	23,47	23,47	1,00	0,80
1979	16	17,09	11,76	0,69	
1979	17	21,39	12,15	0,57	
1979	18	19,91	9,20	0,46	
1979	19	24,70	13,77	0,56	
1979	20	11,69	11,69	1,00	
1979	21	23,48	11,46	0,49	
1979	22	27,01	7,53	0,28	
1979	23	28,48	28,48	1,00	
1979	24	30,29	21,80	0,72	
1979	25	23,69	22,63	0,96	
1979	26	24,53	24,53	1,00	
1979	27	39,10	38,05	0,97	0,72

Tabela 5 g. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo a cana soca, variedades NA 56-79; CB47-355 e CB41-76, período 1979 - 1980, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1979	31	6,18	6,18	1,00	
1979	32	10,54	8,89	0,84	
1979	33	12,99	12,99	1,00	
1979	34	21,94	21,94	1,00	
1979	35	23,42	23,42	1,00	
1979	36	27,83	27,83	1,00	
1980	1	27,07	26,91	0,99	
1980	2	31,58	31,58	1,00	
1980	3	39,29	39,29	1,00	
1980	4	41,41	41,41	1,00	
1980	5	35,31	35,31	1,00	
1980	6	29,36	29,36	1,00	0,99
1980	7	45,11	45,08	1,00	
1980	8	44,59	44,59	1,00	
1980	9	49,00	35,24	0,72	
1980	10	34,93	34,93	1,00	
1980	11	37,24	37,24	1,00	
1980	12	31,29	25,89	0,83	
1980	13	26,18	18,44	0,70	
1980	14	31,49	25,05	0,80	
1980	15	37,70	14,92	0,40	
1980	16	22,20	20,22	0,91	
1980	17	16,53	7,74	0,47	
1980	18	11,25	11,25	1,00	0,82
1980	19	18,01	16,48	0,92	
1980	20	23,83	17,71	0,74	
1980	21	26,91	15,53	0,58	
1980	22	24,35	10,87	0,45	
1980	23	31,33	11,31	0,36	
1980	24	32,20	20,35	0,63	
1980	25	34,81	23,41	0,67	
1980	26	27,47	27,47	1,00	
1980	27	19,71	19,71	1,00	
1980	28	31,35	31,35	1,00	
1980	29	36,66	36,66	1,00	
1980	30	53,90	37,16	0,69	0,75

Tabela 5 h. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana planta, variedades CP51-22, período 1979 - 1980, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1979	10	1,09	1,09	1,00	
1979	11	1,10	1,10	1,00	
1979	12	0,79	0,79	1,00	
1979	13	4,46	4,46	1,00	
1979	14	6,90	6,17	0,89	
1979	15	7,30	7,30	1,00	
1979	16	6,58	6,07	0,92	
1979	17	9,74	7,33	0,75	
1979	18	10,63	6,21	0,58	
1979	19	14,97	11,48	0,77	
1979	20	7,71	7,71	1,00	
1979	21	16,85	12,00	0,71	
1979	22	21,15	10,75	0,51	
1979	23	23,58	23,58	1,00	
1979	24	26,93	23,37	0,87	
1979	25	21,98	21,98	1,00	
1979	26	23,74	23,74	1,00	
1979	27	39,10	39,03	1,00	0,89
1979	28	41,55	41,55	1,00	
1979	29	35,12	33,95	0,97	
1979	30	58,94	43,85	0,74	
1979	31	45,64	45,64	1,00	
1979	32	47,08	36,66	0,78	
1979	33	41,76	37,48	0,90	
1979	34	56,96	53,89	0,95	
1979	35	51,83	51,83	1,00	
1980	36	52,93	52,93	1,00	
1980	1	45,69	38,27	0,84	
1980	2	48,64	48,64	1,00	
1980	3	55,59	55,59	1,00	
1980	4	54,12	53,87	1,00	
1980	5	43,97	43,97	1,00	
1980	6	34,34	34,34	1,00	
1980	7	50,16	49,91	1,00	
1980	8	47,56	47,56	1,00	
1980	9	50,20	39,47	0,79	0,94
1980	10	34,65	34,65	1,00	
1980	11	35,80	35,80	1,00	
1980	12	29,38	25,46	0,87	
1980	13	23,82	17,79	0,75	
1980	14	28,20	23,99	0,85	
1980	15	33,23	15,77	0,47	
1980	16	19,41	19,16	0,99	
1980	17	14,45	7,31	0,51	
1980	18	9,75	9,75	1,00	
1980	19	15,61	14,45	0,93	
1980	20	20,81	16,07	0,77	
1980	21	23,67	14,64	0,62	
1980	22	21,77	10,73	0,49	
1980	23	28,25	11,52	0,41	0,76

Tabela 5 i. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo a cana soca, variedades CB41-76; NA 56-79; CB47-355 e CP51-22, período 1980 - 1981, em Araras.

NO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1980	31	5,06	5,06	1,00	
1980	32	8,55	8,55	1,00	
1980	33	15,34	15,34	1,00	
1980	34	16,71	16,71	1,00	
1980	35	21,31	21,31	1,00	
1980	36	32,27	30,82	0,96	
1981	1	23,26	23,26	1,00	
1981	2	27,01	27,01	1,00	
1981	3	37,86	37,86	1,00	
1981	4	36,13	36,12	1,00	
1981	5	33,30	31,48	0,95	
1981	6	29,36	27,96	0,95	0,99
1981	7	44,31	41,18	0,93	
1981	8	32,10	22,25	0,69	
1981	9	31,64	21,35	0,67	
1981	10	30,50	14,73	0,48	
1981	11	27,76	25,19	0,91	
1981	12	29,65	17,65	0,60	
1981	13	28,03	27,34	0,98	
1981	14	29,22	8,24	0,28	
1981	15	27,81	9,00	0,32	
1981	16	16,15	16,15	1,00	
1981	17	16,53	16,53	1,00	
1981	18	17,95	15,42	0,86	0,73
1981	19	15,88	14,48	0,91	
1981	20	17,29	11,74	0,68	
1981	21	20,14	11,34	0,56	
1981	22	22,10	10,08	0,46	
1981	23	25,34	11,83	0,47	
1981	24	31,50	8,90	0,28	
1981	25	35,16	7,12	0,20	
1981	26	42,37	5,84	0,14	
1981	27	40,44	9,22	0,23	
1981	28	27,75	27,75	1,00	
1981	29	32,02	32,02	1,00	
1981	30	43,10	43,10	1,00	0,58

Tabela 5 j. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedades CB41-76; NA 56-79; CB47-355 e CP51-22, período 1981 - 1982, em Araras.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1981	31	6,60	6,60	1,00	
1981	32	10,95	10,95	1,00	
1981	33	16,96	16,96	1,00	
1981	34	17,22	17,22	1,00	
1981	35	24,29	24,29	1,00	
1981	36	30,01	30,01	1,00	
1982	1	27,87	27,87	1,00	
1982	2	33,40	33,40	1,00	
1982	3	32,74	32,74	1,00	
1982	4	36,13	36,13	1,00	
1982	5	42,85	34,38	0,80	
1982	6	36,26	36,26	1,00	0,98
1982	7	38,96	38,96	1,00	
1982	8	41,84	41,84	1,00	
1982	9	42,63	42,63	1,00	
1982	10	33,53	27,39	0,82	
1982	11	31,30	30,49	0,97	
1982	12	28,69	15,40	0,54	
1982	13	20,51	9,32	0,45	
1982	14	28,27	15,34	0,54	
1982	15	24,06	24,06	1,00	
1982	16	23,03	20,35	0,88	
1982	17	25,49	25,49	1,00	
1982	18	21,80	21,80	1,00	0,85
1982	19	22,15	17,63	0,80	
1982	20	21,08	18,86	0,89	
1982	21	26,91	17,57	0,65	
1982	22	25,22	15,78	0,63	
1982	23	25,34	21,11	0,83	
1982	24	38,93	38,93	1,00	
1982	25	29,06	11,82	0,41	
1982	26	37,02	10,85	0,29	
1982	27	29,08	24,43	0,84	
1982	28	33,07	33,07	1,00	
1982	29	31,33	31,33	1,00	
1982	30	47,89	47,59	0,99	0,78

Tabela 5 k. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedades CB41-76; NA 56-79; CB47-355 e CP51-22, período 1982 - 1983, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1982	28	4,76	4,76	1,00	
1982	29	7,58	7,58	1,00	
1982	30	16,35	16,35	1,00	
1982	31	22,00	22,00	1,00	
1982	32	21,03	21,03	1,00	
1982	33	28,94	28,94	1,00	
1982	34	25,45	25,45	1,00	
1982	35	31,58	31,58	1,00	
1982	36	36,15	36,15	1,00	
1983	1	35,87	35,87	1,00	
1983	2	46,11	46,11	1,00	
1983	3	48,11	48,11	1,00	1,00
1983	4	39,19	39,19	1,00	
1983	5	49,37	49,37	1,00	
1983	6	39,47	39,47	1,00	
1983	7	48,13	48,13	1,00	
1983	8	44,56	44,56	1,00	
1983	9	47,16	45,04	0,96	
1983	10	39,52	39,52	1,00	
1983	11	39,45	30,75	0,78	
1983	12	35,77	35,77	1,00	
1983	13	37,01	29,15	0,79	
1983	14	32,40	32,40	1,00	
1983	15	26,21	26,21	1,00	0,96
1983	16	21,93	21,93	1,00	
1983	17	24,15	21,45	0,89	
1983	18	27,77	25,88	0,93	
1983	19	31,12	19,43	0,62	
1983	20	25,77	25,77	1,00	
1983	21	28,09	24,93	0,89	
1983	22	16,83	9,07	0,54	
1983	23	30,71	13,08	0,43	
1983	24	31,66	9,88	0,31	
1983	25	18,62	18,62	1,00	
1983	26	22,26	22,26	1,00	
1983	27	33,69	33,69	1,00	0,80

Tabela 5 l. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedades CB41-76; NA 56-79; CB47-355 e CP51-22, período 1983 - 1984, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1983	28	5,71	5,20	0,91	
1983	29	9,14	9,14	1,00	
1983	30	12,24	12,24	1,00	
1983	31	18,02	18,02	1,00	
1983	32	22,26	22,26	1,00	
1983	33	24,96	24,96	1,00	
1983	34	29,17	29,17	1,00	
1983	35	33,40	33,40	1,00	
1983	36	35,46	35,46	1,00	
1984	1	44,23	43,55	0,98	
1984	2	52,85	32,65	0,62	
1984	3	47,67	47,67	1,00	0,96
1984	4	53,63	40,61	0,76	
1984	5	54,70	21,02	0,38	
1984	6	46,72	11,96	0,26	
1984	7	49,43	48,33	0,98	
1984	8	45,39	7,88	0,17	
1984	9	47,61	24,83	0,52	
1984	10	38,37	38,37	1,00	
1984	11	39,07	23,12	0,59	
1984	12	38,36	28,82	0,75	
1984	13	37,38	14,65	0,39	
1984	14	34,11	22,02	0,65	
1984	15	33,26	5,24	0,16	0,55
1984	16	27,12	3,15	0,12	
1984	17	28,62	2,52	0,09	
1984	18	23,95	1,62	0,07	
1984	19	29,83	1,54	0,05	
1984	20	30,07	1,15	0,04	
1984	21	23,18	3,60	0,16	
1984	22	34,44	34,44	1,00	
1984	23	25,74	23,41	0,91	
1984	24	22,78	22,78	1,00	
1984	25	27,23	26,90	0,99	
1984	26	36,22	35,27	0,97	
1984	27	29,34	29,34	1,00	0,53

Tabela 5 g. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade CB41-76, período 1984 - 1985, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1984	28	6,28	5,67	0,90	
1984	29	9,69	9,69	1,00	
1984	30	18,24	13,67	0,75	
1984	31	24,36	24,36	1,00	
1984	32	19,45	19,45	1,00	
1984	33	23,32	23,32	1,00	
1984	34	29,45	29,45	1,00	
1984	35	30,69	30,69	1,00	
1984	36	37,92	37,92	1,00	
1985	1	36,22	36,22	1,00	
1985	2	39,94	39,16	0,98	
1985	3	44,68	44,68	1,00	0,97
1985	4	47,56	47,56	1,00	
1985	5	50,24	50,24	1,00	
1985	6	35,76	35,66	1,00	
1985	7	41,52	40,56	0,98	
1985	8	43,74	43,74	1,00	
1985	9	59,00	41,73	0,71	
1985	10	47,23	45,70	0,97	
1985	11	40,61	40,61	1,00	
1985	12	34,69	33,24	0,96	
1985	13	27,19	20,18	0,74	
1985	14	25,42	14,50	0,57	
1985	15	29,79	29,79	1,00	0,91
1985	16	13,72	13,72	1,00	
1985	17	13,34	7,82	0,59	
1985	18	24,52	11,91	0,49	
1985	19	20,60	7,98	0,39	
1985	20	16,57	5,32	0,32	
1985	21	20,65	5,51	0,27	
1985	22	29,80	6,19	0,21	
1985	23	25,74	4,05	0,16	
1985	24	29,62	11,57	0,39	0,42

Tabela 6 a. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana planta, variedade IAC 51/205, período 1975-1976, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1975	16	0,77	0,77	1,00	
1975	17	0,68	0,04	0,06	
1975	18	0,83	0,31	0,37	
1975	19	2,37	2,37	1,00	
1975	20	4,20	3,92	0,93	
1975	21	7,16	5,54	0,77	
1975	22	14,44	9,26	0,64	
1975	23	10,64	4,97	0,47	
1975	24	23,74	7,30	0,31	
1975	25	20,72	20,72	1,00	
1975	26	21,32	10,68	0,50	
1975	27	22,92	22,92	1,00	
1975	28	30,52	30,52	1,00	
1975	29	28,56	28,43	1,00	
1975	30	36,97	32,70	0,88	
1975	31	33,62	29,58	0,88	
1975	32	35,64	23,23	0,65	
1975	33	39,21	27,22	0,69	0,73
1975	34	49,48	25,07	0,51	
1975	35	42,08	42,08	1,00	
1975	36	50,38	50,38	1,00	
1976	1	47,24	47,24	1,00	
1976	2	58,80	58,80	1,00	
1976	3	54,37	54,37	1,00	
1976	4	44,73	44,73	1,00	
1976	5	44,10	44,10	1,00	
1976	6	36,42	36,42	1,00	
1976	7	52,03	51,94	1,00	
1976	8	49,35	49,35	1,00	
1976	9	52,91	46,28	0,87	
1976	10	39,33	28,20	0,72	
1976	11	34,89	34,89	1,00	
1976	12	29,56	22,12	0,75	
1976	13	25,77	19,45	0,75	
1976	14	36,68	36,68	1,00	
1976	15	40,13	40,13	1,00	0,92
1976	16	19,88	19,88	1,00	
1976	17	21,87	20,19	0,92	
1976	18	20,79	15,55	0,75	
1976	19	13,38	13,38	1,00	
1976	20	18,16	16,61	0,91	
1976	21	27,13	19,82	0,73	
1976	22	26,25	21,77	0,83	
1976	23	24,09	24,09	1,00	
1976	24	29,81	25,34	0,85	
1976	25	19,73	19,73	1,00	
1976	26	20,64	20,64	1,00	
1976	27	24,06	24,06	1,00	0,92

Tabela 6 b. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade IAC 51/205, período 1976 - 1977, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1976	28	4,27	4,27	1,00	
1976	29	8,96	8,96	1,00	
1976	30	18,08	18,08	1,00	
1976	31	17,00	17,00	1,00	
1976	32	21,84	21,84	1,00	
1976	33	25,68	23,29	0,91	
1976	34	30,28	21,04	0,69	
1976	35	29,81	29,81	1,00	
1976	36	38,28	38,28	1,00	
1977	1	38,32	38,32	1,00	
1977	2	41,82	41,82	1,00	
1977	3	53,97	53,97	1,00	0,97
1977	4	49,68	37,55	0,76	
1977	5	46,39	17,66	0,38	
1977	6	39,13	22,89	0,58	
1977	7	46,85	36,80	0,79	
1977	8	47,50	39,47	0,83	
1977	9	50,33	50,33	1,00	
1977	10	33,95	33,95	1,00	
1977	11	39,07	30,55	0,78	
1977	12	29,24	13,53	0,46	
1977	13	31,39	18,71	0,60	
1977	14	19,09	7,05	0,37	
1977	15	24,36	6,59	0,27	0,65
1977	16	21,12	21,12	1,00	
1977	17	25,59	7,85	0,31	
1977	18	24,23	11,26	0,46	
1977	19	21,92	4,46	0,20	
1977	20	25,48	4,95	0,19	
1977	21	31,76	10,12	0,32	
1977	22	30,76	2,95	0,10	
1977	23	30,06	2,12	0,07	
1977	24	31,32	30,08	0,96	0,40

Tabela 6 c. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade IAC 51/205, período 1977 - 1978, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1977	25	3,70	3,70	1,00	
1977	26	9,56	9,46	0,99	
1977	27	11,38	11,38	1,00	
1977	28	15,25	15,25	1,00	
1977	29	21,07	18,56	0,88	
1977	30	27,13	23,60	0,87	
1977	31	29,87	23,71	0,79	
1977	32	27,73	27,73	1,00	
1977	33	35,30	35,30	1,00	
1977	34	34,77	34,77	1,00	
1977	35	33,55	31,70	0,94	
1977	36	38,63	38,63	1,00	0,96
1978	1	38,11	38,11	1,00	
1978	2	47,77	47,77	1,00	
1978	3	61,85	48,66	0,79	
1978	4	48,52	48,52	1,00	
1978	5	52,61	52,05	0,99	
1978	6	35,00	33,34	0,95	
1978	7	42,99	42,99	1,00	
1978	8	48,90	37,73	0,77	
1978	9	61,32	27,23	0,44	
1978	10	36,67	17,23	0,47	
1978	11	35,61	8,33	0,23	
1978	12	32,93	32,93	1,00	0,80
1978	13	23,03	7,11	0,31	
1978	14	27,03	27,03	1,00	
1978	15	19,76	10,04	0,51	
1978	16	15,57	15,57	1,00	
1978	17	20,55	9,43	0,46	
1978	18	23,31	8,60	0,37	
1978	19	21,95	6,46	0,29	
1978	20	18,40	18,40	1,00	
1978	21	33,61	28,57	0,85	
1978	22	22,78	10,87	0,48	
1978	23	16,44	6,44	0,39	
1978	24	27,00	8,53	0,32	
1978	25	25,61	25,61	1,00	
1978	26	26,70	26,70	1,00	
1978	27	32,66	12,31	0,38	0,62

Tabela 6 d. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana planta, variedade CB41-76, período 1978 - 1979, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> médio
1978	4	1,62	1,62	1,00	
1978	5	1,71	1,71	1,00	
1978	6	1,12	1,12	1,00	
1978	7	5,82	5,82	1,00	
1978	8	10,95	9,17	0,84	
1978	9	19,08	11,04	0,58	
1978	10	14,12	11,09	0,79	
1978	11	16,09	6,19	0,38	
1978	12	17,32	17,32	1,00	
1978	13	13,65	11,94	0,87	
1978	14	17,55	17,55	1,00	
1978	15	13,97	12,64	0,90	
1978	16	11,91	11,91	1,00	
1978	17	16,50	14,43	0,87	
1978	18	19,93	12,88	0,65	
1978	19	19,74	10,49	0,53	
1978	20	17,25	17,25	1,00	
1978	21	32,81	31,58	0,96	0,85
1978	22	22,97	16,81	0,73	
1978	23	17,11	9,73	0,57	
1978	24	28,76	12,33	0,43	
1978	25	27,69	27,69	1,00	
1978	26	29,09	29,09	1,00	
1978	27	35,84	16,66	0,46	
1978	28	42,84	17,48	0,41	
1978	29	46,63	39,72	0,85	
1978	30	66,74	57,21	0,86	
1978	31	49,94	49,94	1,00	
1978	32	41,34	41,34	1,00	
1978	33	51,64	49,83	0,96	
1978	34	53,50	53,50	1,00	
1978	35	43,60	43,15	0,99	
1978	36	52,42	52,42	1,00	
1979	1	43,92	42,24	0,96	
1979	2	45,93	34,98	0,76	
1979	3	50,12	46,03	0,92	0,83
1979	4	51,76	44,78	0,87	
1979	5	47,43	47,43	1,00	
1979	6	39,50	33,44	0,85	
1979	7	46,68	26,34	0,56	
1979	8	41,00	24,36	0,59	
1979	9	47,09	21,89	0,46	
1979	10	32,58	32,58	1,00	
1979	11	32,38	14,72	0,45	
1979	12	23,21	23,21	1,00	
1979	13	29,97	29,97	1,00	
1979	14	27,61	24,13	0,87	
1979	15	20,69	20,69	1,00	
1979	16	14,94	11,13	0,74	
1979	17	18,83	11,86	0,63	
1979	18	17,52	9,19	0,52	
1979	19	21,89	13,64	0,62	
1979	20	10,36	10,36	1,00	
1979	21	20,97	11,79	0,56	

Continuação da Tabela 6 d.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1979	22	24,70	8,58	0,35	
1979	23	26,47	26,47	1,00	
1979	24	28,85	22,23	0,77	0,76

Tabela 6 e. Dados da *ETr* e *ETm* durante o ciclo de cana soca, variedade NA56-79, período 1985-1986, em Araras.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1985	19	4,68	1,01	0,22	
1985	20	3,77	0,66	0,18	
1985	21	4,73	1,92	0,41	
1985	22	14,09	6,31	0,45	
1985	23	13,07	10,16	0,78	
1985	24	16,46	11,41	0,69	
1985	25	17,09	17,09	1,00	
1985	26	31,20	13,59	0,44	
1985	27	27,95	12,06	0,43	
1985	28	32,66	27,82	0,85	
1985	29	43,90	35,61	0,81	
1985	30	50,40	19,20	0,38	0,56
1985	31	39,62	39,62	1,00	
1985	32	60,49	25,87	0,43	
1985	33	42,01	42,01	1,00	
1985	34	47,04	47,04	1,00	
1985	35	60,14	46,79	0,78	
1985	36	56,55	56,55	1,00	
1986	1	53,71	53,71	1,00	
1986	2	57,28	57,28	1,00	
1986	3	62,91	62,91	1,00	
1986	4	54,38	54,38	1,00	
1986	5	52,67	52,67	1,00	
1986	6	42,19	42,18	1,00	0,93
1986	7	46,29	46,29	1,00	
1986	8	52,51	41,66	0,79	
1986	9	46,89	46,89	1,00	
1986	10	47,72	29,78	0,62	
1986	11	38,48	25,80	0,67	
1986	12	34,27	17,68	0,52	
1986	13	27,58	27,58	1,00	
1986	14	32,35	32,35	1,00	
1986	15	30,86	16,93	0,55	
1986	16	15,48	6,22	0,40	
1986	17	24,23	7,99	0,33	
1986	18	20,78	5,47	0,26	
1986	19	17,69	3,84	0,22	
1986	20	19,02	3,44	0,18	
1986	21	21,40	21,40	1,00	0,64

Tabela 6 f. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo de cana soca, variedade CB41-76, período 1985-1986, em Araras.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1985	25	5,89	5,89	1,00	
1985	26	10,40	8,11	0,78	
1985	27	8,39	7,34	0,87	
1985	28	18,80	11,08	0,59	
1985	29	26,42	8,93	0,34	
1985	30	30,68	10,50	0,34	
1985	31	28,73	28,73	1,00	
1985	32	44,26	30,63	0,69	
1985	33	34,15	34,15	1,00	
1985	34	38,65	38,65	1,00	
1985	35	50,35	38,88	0,77	
1985	36	50,42	50,42	1,00	0,71
1986	1	48,09	48,09	1,00	
1986	2	52,58	52,58	1,00	
1986	3	57,75	57,75	1,00	
1986	4	51,96	51,96	1,00	
1986	5	50,32	50,32	1,00	
1986	6	40,32	40,32	1,00	
1986	7	46,29	46,29	1,00	
1986	8	52,51	40,65	0,77	
1986	9	46,89	46,89	1,00	
1986	10	48,81	30,69	0,63	
1986	11	39,36	26,16	0,66	
1986	12	35,05	17,86	0,51	0,88
1986	13	28,87	28,87	1,00	
1986	14	33,86	33,86	1,00	
1986	15	32,31	16,73	0,52	
1986	16	16,48	6,12	0,37	
1986	17	25,79	7,77	0,30	
1986	18	22,12	5,24	0,24	
1986	19	18,26	3,53	0,19	
1986	20	19,63	3,14	0,16	
1986	21	22,09	22,09	1,00	
1986	22	25,38	4,57	0,18	
1986	23	24,09	24,09	1,00	
1986	24	29,81	29,81	1,00	
1986	25	26,11	16,53	0,63	
1986	26	36,58	16,97	0,46	
1986	27	32,58	29,72	0,91	0,60

Tabela 6 g. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade CB41-76, período 1985-1986, em Araras.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> medio
1985	25	5,89	5,89	1,00	
1985	26	10,40	8,11	0,78	
1985	27	8,39	7,34	0,87	
1985	28	18,80	11,08	0,59	
1985	29	26,42	8,93	0,34	
1985	30	30,68	10,50	0,34	
1985	31	28,73	28,73	1,00	
1985	32	44,26	30,63	0,69	
1985	33	34,15	34,15	1,00	
1985	34	38,65	38,65	1,00	
1985	35	50,35	38,88	0,77	
1985	36	50,42	50,42	1,00	0,71
1986	1	48,09	48,09	1,00	
1986	2	52,58	52,58	1,00	
1986	3	57,75	57,75	1,00	
1986	4	51,96	51,96	1,00	
1986	5	50,32	50,32	1,00	
1986	6	40,32	40,32	1,00	
1986	7	46,29	46,29	1,00	
1986	8	52,51	40,65	0,77	
1986	9	46,89	46,89	1,00	
1986	10	48,81	30,69	0,63	
1986	11	39,36	26,16	0,66	
1986	12	35,05	17,86	0,51	0,88
1986	13	28,87	28,87	1,00	
1986	14	33,86	33,86	1,00	
1986	15	32,31	16,73	0,52	
1986	16	16,48	6,12	0,37	
1986	17	25,79	7,77	0,30	
1986	18	22,12	5,24	0,24	
1986	19	18,26	3,53	0,19	
1986	20	19,63	3,14	0,16	
1986	21	22,09	22,09	1,00	
1986	22	25,38	4,57	0,18	
1986	23	24,09	24,09	1,00	
1986	24	29,81	29,81	1,00	
1986	25	26,11	16,53	0,63	
1986	26	36,58	16,97	0,46	
1986	27	32,58	29,72	0,91	0,60

Tabela 6 h. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana planta, variedade CB41-76, período 1978 - 1979, em Pradópolis.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> medio
1978	7	1,56	1,56	1,00	
1978	8	1,76	1,76	1,00	
1978	9	5,49	5,49	1,00	
1978	10	8,16	8,00	0,98	
1978	11	10,43	7,93	0,76	
1978	12	9,04	9,04	1,00	
1978	13	12,62	12,53	0,99	
1978	14	9,69	9,69	1,00	
1978	15	10,54	10,53	1,00	
1978	16	13,69	13,69	1,00	
1978	17	16,84	15,41	0,92	
1978	18	17,24	11,01	0,64	0,94
1978	19	15,21	10,28	0,68	
1978	20	27,04	27,04	1,00	
1978	21	23,03	21,47	0,93	
1978	22	15,72	10,39	0,66	
1978	23	24,25	11,81	0,49	
1978	24	28,38	9,92	0,35	
1978	25	27,52	14,15	0,51	
1978	26	34,24	25,74	0,75	
1978	27	41,47	8,72	0,21	
1978	28	45,41	33,01	0,73	
1978	29	59,67	42,15	0,71	
1978	30	53,91	33,45	0,62	
1978	31	40,63	40,63	1,00	
1978	32	50,92	38,65	0,76	
1978	33	52,84	47,04	0,89	
1978	34	42,87	42,87	1,00	
1978	35	47,04	47,04	1,00	0,72
1978	36	48,24	48,24	1,00	
1979	1	46,36	46,36	1,00	
1979	2	46,52	40,28	0,87	
1979	3	58,38	58,38	1,00	
1979	4	48,67	48,38	0,99	
1979	5	51,20	51,20	1,00	
1979	6	38,65	37,76	0,98	
1979	7	43,02	33,78	0,79	
1979	8	45,58	44,16	0,97	
1979	9	37,45	24,23	0,65	
1979	10	34,11	34,11	1,00	
1979	11	27,60	17,60	0,64	
1979	12	31,31	28,20	0,90	
1979	13	20,20	20,20	1,00	
1979	14	28,07	23,97	0,85	
1979	15	21,67	21,67	1,00	0,92

Tabela 6 i. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade CB41-76, período 1979-1980, em Pradópolis.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> medio
1979	16	2,29	1,80	0,79	
1979	17	4,82	3,35	0,70	
1979	18	6,33	3,66	0,58	
1979	19	9,79	5,56	0,57	
1979	20	5,43	5,43	1,00	
1979	21	12,79	12,79	1,00	
1979	22	16,82	14,28	0,85	
1979	23	19,42	19,42	1,00	
1979	24	22,66	19,24	0,85	0,81
1979	25	19,17	13,85	0,72	
1979	26	20,98	20,98	1,00	
1979	27	35,60	32,44	0,91	
1979	28	37,85	34,90	0,92	
1979	29	40,22	40,22	1,00	
1979	30	40,09	30,07	0,75	
1979	31	51,31	51,31	1,00	
1979	32	48,21	47,02	0,98	
1979	33	45,86	45,86	1,00	
1979	34	55,86	55,86	1,00	
1979	35	47,49	47,49	1,00	
1979	36	56,78	56,78	1,00	0,94
1980	1	45,47	42,02	0,92	
1980	2	48,79	48,79	1,00	
1980	3	56,20	56,20	1,00	
1980	4	55,17	55,17	1,00	
1980	5	44,51	44,51	1,00	
1980	6	34,79	34,79	1,00	
1980	7	51,26	40,11	0,78	
1980	8	49,03	49,03	1,00	
1980	9	52,21	36,14	0,69	
1980	10	35,80	35,80	1,00	
1980	11	37,04	31,57	0,85	
1980	12	30,18	14,16	0,47	0,90

Tabela 6 j. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana planta, variedade CO775, período 1979 - 1980, em Pradópolis.

ANO	DEC	<i>ETm</i> mm	<i>ETr</i> mm	<i>ETr/ETm</i>	<i>ETr/ETm</i> medio
1979	4	1,64	1,64	1,00	
1979	5	1,51	1,51	1,00	
1979	6	1,26	1,26	1,00	
1979	7	6,50	6,50	1,00	
1979	8	9,61	9,61	1,00	
1979	9	15,70	15,19	0,97	
1979	10	13,57	13,57	1,00	
1979	11	15,96	13,79	0,86	
1979	12	13,44	13,44	1,00	
1979	13	19,89	19,89	1,00	
1979	14	20,12	16,56	0,82	
1979	15	16,43	16,43	1,00	
1979	16	12,86	10,61	0,83	
1979	17	17,02	10,97	0,64	
1979	18	16,87	8,20	0,49	0,97
1979	19	21,84	9,44	0,43	
1979	20	10,69	10,69	1,00	
1979	21	22,15	22,15	1,00	
1979	22	26,49	12,11	0,46	
1979	23	28,79	26,43	0,92	
1979	24	31,58	16,95	0,54	
1979	25	25,25	11,54	0,46	
1979	26	26,52	26,52	1,00	
1979	27	42,91	39,00	0,91	
1979	28	44,05	39,27	0,89	
1979	29	45,25	45,25	1,00	
1979	30	44,00	30,18	0,69	
1979	31	54,98	54,98	1,00	
1979	32	50,46	49,17	0,97	
1979	33	47,26	47,26	1,00	
1979	34	56,70	56,70	1,00	
1979	35	47,85	47,85	1,00	
1979	36	56,78	56,78	1,00	0,85
1980	1	45,47	42,02	0,92	
1980	2	48,43	48,43	1,00	
1980	3	55,36	55,36	1,00	
1980	4	53,94	53,94	1,00	
1980	5	43,85	43,85	1,00	
1980	6	34,27	34,27	1,00	
1980	7	50,10	39,41	0,79	
1980	8	47,54	47,54	1,00	
1980	9	50,22	35,95	0,72	
1980	10	34,69	34,69	1,00	

Continuação da Tabela 6 j.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1980	11	35,88	31,33	0,87	
1980	12	29,47	14,83	0,50	
1980	13	30,09	11,24	0,37	
1980	14	27,75	9,27	0,33	
1980	15	20,79	4,65	0,22	
1980	16	15,03	2,81	0,19	
1980	17	18,95	7,25	0,38	
1980	18	17,63	17,63	1,00	
1980	19	22,02	16,29	0,74	
1980	20	10,42	6,54	0,63	
1980	21	21,07	11,32	0,54	
1980	22	24,81	10,60	0,43	
1980	23	26,56	19,11	0,72	
1980	24	28,93	10,66	0,37	0,73

Tabela 6 k. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana planta, variedade CO775, período 1979-1980, em Pradópolis.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1979	7	6,50	6,50	1,00	
1979	8	9,61	9,61	1,00	
1979	9	15,70	15,19	0,97	
1979	10	13,57	13,57	1,00	
1979	11	15,96	13,79	0,86	
1979	12	13,44	13,44	1,00	
1979	13	19,89	19,89	1,00	
1979	14	20,12	16,56	0,82	
1979	15	16,43	16,43	1,00	
1979	16	12,86	10,61	0,83	
1979	17	17,02	10,97	0,64	
1979	18	16,87	8,20	0,49	
1979	19	21,84	9,44	0,43	
1979	20	10,69	10,69	1,00	
1979	21	22,15	22,15	1,00	
1979	22	26,49	12,11	0,46	
1979	23	28,79	26,43	0,92	
1979	24	31,58	16,95	0,54	0,87
1979	25	25,25	11,54	0,46	
1979	26	26,52	26,52	1,00	
1979	27	42,91	39,00	0,91	
1979	28	44,05	39,27	0,89	
1979	29	45,25	45,25	1,00	
1979	30	44,00	30,18	0,69	
1979	31	54,98	54,98	1,00	
1979	32	50,46	49,17	0,97	
1979	33	47,26	47,26	1,00	

Tabela 6 l. Dados de *ETr* e *ETm* durante o ciclo da cana soca, variedade RE-725828, período 1985-1986, em Pradópolis.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1985	19	4,71	0,02	0,00	
1985	20	3,79	0,01	0,00	
1985	21	4,75	1,47	0,31	
1985	22	14,15	5,54	0,39	
1985	23	13,12	3,65	0,28	
1985	24	16,50	4,42	0,27	
1985	25	17,11	4,34	0,25	
1985	26	31,22	4,94	0,16	
1985	27	27,95	4,26	0,15	
1985	28	32,63	6,57	0,20	
1985	29	43,83	3,56	0,08	
1985	30	50,27	48,29	0,96	0,38
1985	31	39,50	39,50	1,00	
1985	32	60,26	34,05	0,57	
1985	33	41,83	41,83	1,00	
1985	34	46,82	46,82	1,00	
1985	35	59,85	48,70	0,81	
1985	36	56,28	56,28	1,00	
1986	1	53,45	46,64	0,87	
1986	2	57,03	57,03	1,00	
1986	3	62,66	57,39	0,92	
1986	4	54,20	47,28	0,87	
1986	5	52,52	52,52	1,00	
1986	6	42,11	41,61	0,99	0,93
1986	7	46,23	46,23	1,00	
1986	8	52,48	52,48	1,00	
1986	9	46,90	46,90	1,00	

Continuação da Tabela 6 k.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1979	34	56,70	56,70	1,00	
1979	35	47,85	47,85	1,00	
1979	36	56,78	56,78	1,00	
1980	1	45,47	42,02	0,92	
1980	2	48,43	48,43	1,00	
1980	3	55,36	55,36	1,00	
1980	4	53,94	53,94	1,00	
1980	5	43,85	43,85	1,00	
1980	6	34,27	34,27	1,00	0,88
1980	7	50,10	39,41	0,79	
1980	8	47,54	47,54	1,00	
1980	9	50,22	35,95	0,72	
1980	10	34,69	34,69	1,00	
1980	11	35,88	31,33	0,87	
1980	12	29,47	14,83	0,50	
1980	13	30,09	11,24	0,37	
1980	14	27,75	9,27	0,33	
1980	15	20,79	4,65	0,22	
1980	16	15,03	2,81	0,19	
1980	17	18,95	7,25	0,38	
1980	18	17,63	17,63	1,00	
1980	19	22,02	16,29	0,74	
1980	20	10,42	6,54	0,63	
1980	21	21,07	11,32	0,54	
1980	22	24,81	10,60	0,43	
1980	23	26,56	19,11	0,72	
1980	24	28,93	10,66	0,37	
1980	25	26,04	5,93	0,23	
1980	26	27,95	27,95	1,00	
1980	27	27,69	27,69	1,00	0,70

Continuação da Tabela 6 l.

ANO	DEC	ETm mm	ETr mm	ETr/ETm	ETr/ETm médio
1986	10	47,78	37,99	0,80	
1986	11	38,57	30,99	0,80	
1986	12	34,37	15,13	0,44	
1986	13	27,69	27,69	1,00	
1986	14	32,51	32,51	1,00	
1986	15	31,03	19,80	0,64	
1986	16	15,57	7,34	0,47	
1986	17	24,38	9,42	0,39	
1986	18	20,91	6,44	0,31	
1986	19	17,79	4,51	0,25	
1986	20	19,12	4,04	0,21	
1986	21	21,51	21,51	1,00	0,69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALFONSI, R. R. Época de semeadura para a cultura do milho (*Zea mays* L.) baseada na probabilidade do atendimento hídrico em fases fenológicas críticas para o Estado de São Paulo. Piracicaba, 1996. 137p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba, 1981. 82p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BARBIERI, V.; TUON, R. L. **Metodologia para estimativa da produção potencial de algumas culturas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 1992. 17p.
- BARBIERI, V.; TUON, R. L.; ANGELOCCI, L. R. Programa para microcomputador do balanço hídrico (Thornthwaite e Mather - 1955) para dados mensais e decendiais, normais e seqüências. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, 1991. **Resumos**. Viçosa, MG., Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa, 1991. p297-299.
- BARBIERI, V.; TERUEL, D. A.; SILVA, J. G.; SANTOS, R. M. N. dos. 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. p.587-589.

- BARNI, N. A.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, n.1, p. 7-31, 1995.
- CABRAL, O.; ROCHA, H.; DIAS, M. A.; BRUNINI, O.; CARVALHO, R. 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. p.593-295.
- CAMARGO, M. B. P. Determination of the water balance components and drought sensivity indices for a sorghum crop. Lincoln, 1992. 131p. Thesis (Phd) - University of Nebraska.
- CAMARGO, M. B. P. de; JÚNIOR, M. J. P.; ORTOLANI, A. A.; ROSA, S. M. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade de laranjais no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, Campina Grande, 1995. **Resumos**. Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; Universidade Federal da Paraíba, 1995. p. 412-414.
- CAMARGO, P. N. Fisiologia de la caña de azúcar. **Serie Divulgación Técnica**, v. 1, n. 6, p.1-60, 1976.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5 (1), p.89-97, 1997.
- COELHO, D. T.; DALE, R. F. An enegy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development. Planting to silking. **Agronomy Journal**, v.72, p.503-510, 1980.

- COSTA, L. C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, 1997. **Suplemento dos anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; ESALQ, 1997. p.3-6.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 24).
- IRVINE, J. E. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugar cane yield. **Crop Science**, v.15, p.671-676, 1980.
- 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.
- MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. Crescimento. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. V.1, cap. 1, p.56-87.
- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.1, n.2, p.141-274, 1995.
- MENDONÇA, P. de V. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, 24, Madrid, 1958. **Anais**. Madrid: Instituto Superior de Agronomia. 1958. p.271-282.

- MEYER, S. J.; HUBBARD, K. G.; WILHITE, D. A. A crop specific drought index for corn. I. Model development and validation. **Agronomy Journal**, v.86, p.388-395, 1992.
- OMETTO, J. C. **Frequência de irrigação em cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1988. 77p.
- ORTOLANI, A. A.; SENTELHAS, P. C.; CAMARGO, M. B. P.; PEZZOPANE, J. E. M.; GONÇALVES, P. S. Modelos agrometeorológicos para estimativa da produção anual e sazonal de látex em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 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. 50p.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- REICHARDT, C. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, Depto. Física e Meteorologia, 1996. 513 p.
- ROSENFELD, U. Período crítico de deficiência hídrica para a cana planta em cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Piracicaba, 1989. 89p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 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, 1985. 122p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana. Sistema radicular. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap. 3, 373-431.
- SOARES, A. S. Modelo para avaliação do efeito do déficit e do excesso hídrico sobre o rendimento do milho na localidade de Urussanga, Santa Catarina. Piracicaba, 1996. 88p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Bioestadística: principios y procedimientos**. México: Mc Graw-Hill, 1985. cap.10, p 231-262 : Regresion lineal.
- TERUEL, D. A. Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. Piracicaba, 1996. 93p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- THOMPSON, L. M. Wather and technology in the prediction of corn in the corn Belt. **Agronomy Journal**, v.61, p.453-456, 1969.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev.**, 38:55 - 94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Climatology**, v.8, n.1, p.104, 1955.
- TUBELIS, A. **A chuva e a produção agrícola**. São Paulo: Nobel, 1988. 85 p.
- WILLMOTT, J. C. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.
- ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C. D.; COAKLEY, C. W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.1, p.47-54, 1996.