MEDIDAS E ESTIMATIVAS DE CONSUMO HÍDRICO EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*)

VALTER BARBIERI

Orientador: NILSON AUGUSTO VILLA NOVA

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Agrometeorologia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Dezembro, 1981

A minha mãe MARIA, que me
ensina a todo instante que
o amor nos torna bastante
fortes, para superar o can
saço, vencer as incertezas
e confiar no futuro

DEDICO

A G R A D E C I M E N T O S

- Ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova pelos ensinamentos, orientação e amizade.
- Ao Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", por permitir a realização do Curso de Mestrado.
- Ao IAA-PLANALSUCAR pelas facilidades oferecidas na elaboração desta pesquisa.
- Aos professores do Departamento de Física e Meteorologia pelos ensinamentos e amizade.
- A Fundação Faculdade de Agronomia "Luiz Meneguel", Bandeirantes-PR por financiar parte de meus estudos.
- Aos Eng^ºs Agr^ºs Udo Rosenfeld, José Roberto Baptistella e Edson José de Arruda Leme pelas sugestões prestadas.
- Ao Técnico Agrícola Salassiel Apolonio Santos pela dedicação e responsabilidade na instalação e condução do experimento.
- Aos Técnicos Agrícolas Ernesto Vitório Favetta, Dirceu Antonio Gava, Israel Rosalim , Armando Roberto Candido, Divino R. Moreira e Rubens Olívio pela colaboração na condução do experimento e tabulação dos dados.
- À Marilda de Cassia Dezotti Beloto pelo zelo e dedicação no trabalho datilográfico, que teve a valiosa colaboração de Maria Elisa Natal.
- Ao Sr. Hermínio Hasnser pela construção e montagem do equipamento utilizado neste estudo.
- A todos que de uma forma ou de outra, contribuíram para realização deste trabalho.

Í N D I C E

	Página
1. RESUMO.....	01
2. INTRODUÇÃO.....	02
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
4.1. Materiais.....	15
4.1.1. Local.....	15
4.1.2. Solo.....	15
4.1.3. Características físicas e químicas do solo.....	16
4.1.4. Variedade de cana-de-açúcar, plantio e colheita..	17
4.1.5. Evapotranspirógrafo de nível freático constante..	17
4.1.6. Equipamentos complementares.....	18
4.1.6.1. Tanque Classe "A".....	18
4.1.6.2. Pluviômetro.....	19
4.1.6.3. Anemômetro.....	20
4.1.6.4. Heliógrafo.....	20
4.1.6.5. Termohigrógrafo.....	20
4.1.6.6. Tensiômetros.....	20
4.2. Métodos.....	21
4.2.1. Preparo do solo.....	21
4.2.2. Operação do evapotranspirógrafo.....	22
4.2.3. Operação dos tensiômetros.....	23
4.2.4. Variação do armazenamento de água no solo (ΔA ,mm)	23
4.2.4.1. Potencial matricial (ζ).....	24

	Página
4.2.4.2. Umidade do solo (θ).....	25
4.2.4.3. Armazenagem (A, mm).....	25
4.2.5. Biometria.....	26
4.2.5.1. Número de colmos e produtividade.....	26
4.2.5.2. Crescimento do colmo (E).....	26
4.2.6. Determinações tecnológicas.....	27
4.2.7. Considerações sobre ECA, K_p , ET_o , ET_m e K_c	27
4.2.8. Considerações sobre K_c , K_c , K_c e K_c	28
CA Pen Rad A	
4.2.9. Processos de estimativa de ET_o	29
4.2.9.1. Método de Penman.....	29
4.2.9.2. Método da radiação solar.....	31
4.2.9.3. Método do tanque Classe "A".....	31
4.2.9.4. Análises estatísticas.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1. Operação e desempenho do evapotranspirógrafo.....	33
5.1.1. Condições operacionais.....	33
5.1.2. Desempenho.....	33
5.1.2.1. Precisão.....	33
5.1.3. Reabastecimento da água do solo.....	35
5.1.4. Comportamento da cana-de-açúcar.....	36
5.2. Evapotranspiração (ET_m).....	38
5.2.1. Evapotranspiração no curso do dia.....	38
5.2.1.1. Dias claros.....	38
5.2.1.2. Dias nublados.....	40

	Página
5.2.2. Evapotranspiração durante todo o ciclo da cultura e relação consumo x produção.....	41
5.2.3. Relações entre ET _m e ET _o obtidos pelos métodos de estimativa proposta.....	42
5.2.3.1. Considerações gerais.....	42
5.2.3.2. Relações de ET _m e ET _o - Método do $\frac{\tan}{CA}$ que Classe "A" (K _c).....	43
5.2.3.3. Relações de ET _m e ET _o - Método da $\frac{ra}{Rad}$ diação.....	47
5.2.3.4. Relações entre ET _m e ET _o - Método de Penman.....	51
5.2.3.5. Relações entre ET _m e ECA não corrigida com K _p	51
5.2.4. Relações entre K _c e K _c , K _c e K _c A CA Pen Rad	58
5.2.4.1. Análises estatísticas.....	62
6. CONCLUSÕES.....	64
6.1. Relativas ao evapotranspirógrafo.....	64
6.2. Relativas as medidas do valor de ET _m	64
6.3. Relativas aos valores de K _c determinados.....	65
7. SUMMARY.....	66
8. LITERATURA CITADA.....	67
9. APÊNDICE.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Valores de K_c segundo DOORENBOS e PRUITT (1975).....	9
2. Características físicas do solo.....	16
3. Características químicas do solo.....	17
4. Potencial matricial (ζ) e variação do armazenamento (ΔA) da água do solo do evapotranspirógrafo.....	36
5. Análises tecnológicas da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) na da ta da colheita do experimento.....	37
6. Taxa de evapotranspiração da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) <u>me</u> dida no evapotranspirógrafo em dias claros.....	39
7. Taxa de evapotranspiração da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) <u>me</u> dida no evapotranspirógrafo em dias nublados.....	40
8. Relações de ET_m e ET_o em função da idade e do comprimento do CA colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).....	44
9. Relações de ET_m e ET_o em função da idade e do comprimento Rad do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).....	48
10. Relações de ET_m e ET_o em função da idade e do comprimento Pen do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).....	52
11. Relações de ET_m e ECA não corrigida em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79)....	55
12. Valores de K_c , K_c , K_c e K_c para a cana-de-açúcar (Var. A CA Pen Rad NA56-79) em função da idade e do comprimento do colmo (E)....	59
13. Valores de Δ/γ entre 1 e 40°C.....	74

Tabela	Página
14. Radiação solar recebida no limite mais externo da atmosfera no 15º dia de cada mês, entre latitudes 10°N - Equador e 40°S (Valores de Q_0 , em cal/cm ² .dia).....	75
15. Valores do fator de ajuste (W) para estimativa de ETo ^(*) em relação à temperatura e altitude.....	76
16. Coeficiente angular de ajuste para estimativa de ETo em relação à velocidade do vento (u) e umidade relativa (UR).....	77
17. Valores do coeficiente de conversão do Tanque Classe "A" (Kp) para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP).....	78
18. Duração máxima da insolação diária em horas, nos vários meses do ano e latitudes de 10 graus norte e 40 graus sul. Os valores correspondem ao 15º dia de cada mês.....	79
19. Dados climáticos médios obtidos durante a pesquisa.....	80
20. Dados climáticos obtidos em dias claros.....	82
21. Dados climáticos obtidos em dias nublados.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema do evapotranspirômetro de Thornthwaite.....	6
2. Valores de Kc obtidos por COX <i>et alii</i> (1960).....	7
3. Taxa de absorção de água por uma planta de cana-de-açúcar em um dia claro.....	13
4. Taxa de absorção de água por uma planta de cana-de-açúcar em um dia nublado.....	14
5. Esquema do evapotranspirógrafo.....	19
6. Localização das baterias de tensiômetros na caixa principal do evapotranspirógrafo.....	21
7. Esquema do sistema de registro do evapotranspirógrafo.....	23
8. Corte longitudinal de um tensiômetro instalado no solo.....	24
9. Cópia reduzida do papel de registro obtida do sistema mostrado na Figura 7.....	34
10. Representação gráfica da taxa de evapotranspiração da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) medida no evapotranspirógrafo em dias claros.....	39
11. Representação gráfica da taxa de evapotranspiração da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) medida no evapotranspirógrafo em dias nublados.....	41
12. Representação gráfica das relações de $\frac{ET_m}{CA}$ e ET_o em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).....	46

Figura	Página
13. Representação gráfica das relações de ET_m e ET_o em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).....	50
14. Representação gráfica das relações de ET_m e ET_o em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).....	54
15. Representação gráfica das relações de ET_m e ECA não corrigida em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).....	57
16. Relações de K_c com K_c , K_c e com K_c A CA Pen Rad	61

1. RESUMO

Na presente pesquisa estudou-se o desempenho de um evapotranspirógrafo a nível freático constante. O equipamento em questão permitiu o registro diário de evapotranspiração (demanda climática) com bom nível de precisão, sendo seu manuseio operacional bastante simples. Com o referido instrumento, estudou-se a demanda climática de água ao longo do ciclo (18 meses) de cana-planta, variedade NA56-79, nas condições climáticas de Araras-SP (Estação Experimental do IAA-PLANALSUCAR). Concomitantemente, com os dados de evapotranspiração obtidos, determinaram-se valores do coeficiente de cultura (K_c) ao longo do ciclo, em relação aos diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (E_{To}), de utilização convencional.

2. INTRODUÇÃO

A recente crise mundial de petróleo, determinou a utiliza
ção cada vez mais crescente das chamadas fontes "renováveis" de energia .
No caso do Brasil, a vasta disponibilidade de terras cultiváveis e uma po
sição dentro dos trópicos permitiram um grande incremento da cultura da
cana-de-açúcar para produção de álcool etílico. Novas áreas do país tor
naram-se então regiões produtoras. Nas áreas tradicionais de cultivo, a
boa distribuição de precipitações praticamente inviabiliza o implante de
irrigação. Todavia nas novas áreas de expansão, numa grande parte, a
irrigação suplementar é quase fator indispensável.

O alto custo dos equipamentos de irrigação, e a própria
economia de água, determinam a necessidade de uma eficiência no uso de
água de irrigação, cada vez maior, sendo que as pesquisas neste setor fo
ram redobradas, tanto em instituições oficiais como particulares.

Como fator importante, no aumento da eficiência de irriga

ção, o conhecimento da demanda de água nas diferentes fases do cultivo da cana-de-açúcar é essencial.

No presente trabalho, visando atender a esta finalidade, são realizados estudos sobre o desempenho de um evapotranspirógrafo de nível freático constante, utilizando-se suas medidas para estimar valores do coeficiente de cultura (K_c) nas diferentes fases do ciclo da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) nas condições climáticas de Araras-SP.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A Comissão de Meteorologia Agrícola da Organização Mundial de Meteorologia (WMO), definiu evapotranspiração potencial, como sendo a quantidade de água que evapora do solo e das plantas, quando o solo está na capacidade de campo. Alguns autores, como *PENMAN (1956)*, acrescentam que a cultura deve ter porte baixo, estar em fase de crescimento ativo e cobrir completamente a superfície do solo. Qualquer discordância nestas características, condiciona a evapotranspiração real. Por outro lado, *LEMON et alii (1957)*, *DENMEAD e SHAW (1962)*, *GAVANDE e TAYLOR (1967)* e *SCALOPI (1972)*, concluíram que a intensidade de evapotranspiração revelou ser dependente do regime de umidade do solo, estágio de crescimento das plantas e das condições climáticas.

Muitos são os métodos para se estimar a evapotranspiração, entretanto *BAVEL (1961)* considera a lisimetria, como o único método praticável para determinar a evapotranspiração com uma precisão adequada

e TANNER (1968) recomenda o emprego de lisímetros, para avaliar a precisão dos métodos micrometeorológicos e calibrar as fórmulas empíricas em pregadas na estimativa da evapotranspiração, enquanto que *Pruitt e Angus* (1960), *McIlroy e Sumner* (1961) e *Bavel e Myers* (1962), citados por SCALOPI (1972) desenvolveram lisímetros de precisão, capazes de acusar perdas de água da ordem de centésimos de milímetros, em períodos menores que uma hora. Todavia o custo elevado, os mecanismos sensíveis e os critérios rigorosos de instalação, limitam muito a lisimetria em condições de campo, SCALOPI (1972).

Thorntwaite (1957), citado por VILLEGAS e TORRES BRUCHMANN (1977), idealizou um evapotranspirômetro para medir exclusivamente evapotranspiração potencial que constava das seguintes seções, conforme mostra a Figura 1.

Resultando que, $\text{evapotranspiração potencial} = AC + P - AD$.

Evapotranspirômetros semelhantes ao da Figura 1, com algumas modificações foram empregados por ASSIS (1978) para medir evapotranspiração potencial e por ENCARNAÇÃO (1980) para medir demanda climática ideal de água para cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Em ambos os casos esse modelo se mostrou eficiente e preciso para o que foi proposto.

Quanto à profundidade do nível freático, CARTER e FLOYD (1975) estudando os seus efeitos sobre a produtividade da cana-de-açúcar plantada em solo franco argiloso, cujos tratamentos foram 30, 76 e 122 cm de profundidade, relatam que a produtividade média dos tratamentos 30 e 76 cm foi 60% menor que o de 122 cm para a 2ª soca e, para a 3ª soca os tratamentos 30 e 76 cm tiveram produções de 54 e 22% menores que 122 cm, respectivamente, sendo que a profundidade afetou o número e o peso de

ração no verão foi de 8,00 mm, e no inverno 3,75 mm/dia. O efeito do desenvolvimento da cobertura foliar mostrou claramente uma elevação do coeficiente de proporcionalidade de 0,4 para uma média de 1,2 em 6 a 8 meses. A média mensal de todos os valores após o completo desenvolvimento da cobertura foliar para a cana-planta foi de 1,1 com um desvio padrão de 0,2 e FRITSCHEN e SHAW (1961) concluíram que o tanque Classe "A" pode ser usado para estimar a evapotranspiração, conhecendo-se as relações entre a perda de água da cultura e do tanque, sendo assim, CHANG *et alii* (1965) estudando as relações entre a evapotranspiração da cana-de-açúcar medida em lisímetro de drenagem e a evaporação do tanque Classe "A" instalados em cultura irrigada por sulcos de infiltração e no topo da cultura, respectivamente, encontraram que esta relação esteve entre 1,0 e 1,2 para a cultura totalmente fechada, conforme pode ser visto na Figura 2. Verificou-se ainda que, em trabalho de campo com várias repetições e diferentes volumes de água aplicada, os maiores rendimentos foram obtidos quando as evapotranspirações potencial e a atual eram iguais.

Figura 2 - Valores de Kc obtidos por COX *et alii* (1960).

THOMPSON e BOYCE (1967), em estudos realizados em Natal, África do Sul, em que mediram a evapotranspiração diária de uma cultura de cana com 10 meses e cobertura da folhagem completa, durante 21 dias, do mês de outubro de 1965, usando 4 lisímetros hidráulicos, onde a cana era livremente suprida com água, encontraram uma relação bem aproximada entre a evapotranspiração medida (ETm) e a evaporação do tanque Classe "A" (ETo), obtendo uma relação média igual a 1,00. Constataram ainda, que os dados de evaporação do tanque Classe "A", serviram como um guia prático para orientar a necessidade de água pela cultura. Para 3 períodos de 7 dias, durante os 21 dias estudados, as relações médias da ETm/ETo foram 1,04, 1,04 e 1,00 e indicaram que uma relação aproximada de 1,00 poderá ser usada com segurança no controle das operações de irrigações semanais. Esta conclusão foi semelhante à obtida por CHANG *et alii* (1965) no Havaí. Ainda em estudo conduzido por THOMPSON (1965), neste mesmo local, estabelecendo correlações entre a evapotranspiração potencial da cana-de-açúcar, determinadas em lisímetros, pelo método de Penman e pelo tanque Classe "A" para a cana-planta e soqueira, até o fechamento completo da cultura, com a variedade NCo376, mostrou os seguintes resultados:

1963	ETm mm/dia	ETm/ETo (Penman)	ETm/ETo (t. Classe A)
JAN	5,5	1,03	0,95
FEV	5,8	1,02	0,95
MAR	4,3	1,07	0,98
ABR	3,8	1,22	1,08
MAI	3,0	1,60	1,26
JUN	2,3	1,44	0,98
JUL	1,8	0,97	0,79
MÉDIA		1,13	0,99

As relações médias obtidas em relação à cana-planta e cana-soca foram 0,96 (tanque Classe "A") e 1,06 (Penman).

Também usando lisímetro, *EARLY e GREGÓRIO (1974)*, constataram fatores que variaram de 0,40, 1,19 e 0,86 para períodos de 0-60, 121-150 e 241-250 dias após o plantio, respectivamente, sendo que os valores de pico indicados por *DOORENBOS e KASSAM (1979)* e *LEME et alii (1979)* são de 1,2 e 1,08, respectivamente.

DOORENBOS e PRUITT (1975), mostram na publicação *Crop Water Requeriments*, alguns métodos para se determinar a evapotranspiração da cultura e o fator Kc para relacionar esta evapotranspiração com a evaporação do tanque, ou evapotranspiração estimada por equações. Para a cana-de-açúcar foi elaborada a Tabela 1, adaptada para o ciclo de cana-planta (18 meses) e cana-soca (12 meses).

Tabela 1 - Valores de Kc segundo *DOORENBOS e PRUITT (1975)*.

Cana-Planta Meses	Cana-Soca Meses	Fases da Cultura	Kc
0 - 2	0 - 1	Plantio até 0,25 do fechamento	0,40
2 - 3	1 - 2	0,25 - 0,5 do fechamento	0,75
3 - 4	2 - 2,5	0,5 - 0,75 do fechamento	0,95
4 - 7	2,5 - 4	0,75 até o fechamento	1,10
7 - 14	4 - 10	fechamento total	1,25
14 - 16	10 - 11	início da maturação	0,95
16 - 18	11 - 12	maturação	0,70

ARAGÃO (1977) na Estação Experimental de Mandacaru-CODEVASF, na latitude $9^{\circ}26'$ Sul, estudando a evapotranspiração da cana-de-açúcar (ET), pela depleção da água do solo, determinada pelo método gravimétrico, encontrou os seguintes coeficientes de evapotranspiração - $\frac{\text{Evapotranspiração real}}{\text{Evaporação T. Classe "A"}}$:

- 0,53 para o início das determinações aos 99 dias após plantio.

- 0,85 aos 145 dias após o plantio, quando a cobertura do solo atingiu 100%.

- 1,14 ocorreu aos 307 dias após plantio sob condições de baixa demanda evaporativa.

FAUCONNIER e BASSEREAU (1975) asseveram que no início da vegetação, a evapotranspiração da cana-de-açúcar é da ordem de 40 a 60% da evaporação do tanque Classe "A", depois aumenta até fazer-se praticamente igual a evaporação do tanque Classe "A". Para estabelecer uma ordem de magnitude, diz-se que a necessidade de água da cana na zona tropical é mais ou menos de 1.500 mm ao ano com quantidades mensais que podem ir dos 100 aos 150 mm. SOUSA e SCARDUA (1977) determinaram o coeficiente cultural médio $K_c = 0,74$ entre evapotranspiração real e a evaporação do tanque Classe "A" instalado no gramado, para a cultura de cana-de-açúcar submetida a irrigação por sulco de infiltração, irrigado quando a umidade média do solo atingia 27,75% em peso, à tensão de 1,2 atm, tensão esta considerada pelos autores máxima sem afetar o rendimento. FOGLIATA (1974) em Tucumán, estudando a evapotranspiração média da cultura da cana, durante 10 meses, com auxílio de lisímetros, encontrou 4,36 mm/dia, com um máximo de 6,09 e um mínimo de 3,46 mm/dia. Em outro experimento, constatou

que a cultura de cana necessita de irrigação quando o solo atinge de 1 a 2,5 atmosferas de tensão de água. Em estudo desenvolvido na ilha de Kauai (Havaí), *ROBINSON (1963)*, pesquisando a taxa de alongação da cana, em função da tensão média semanal de água do solo, verificou que esta de cresce quando a tensão se aproxima de 2 atmosferas a uma profundidade de 30,0 cm. Entretanto, em qualquer ciclo, embora tenha havido redução da taxa de crescimento, logo após a irrigação o alongamento aumentou compensando o decréscimo observado antes, não havendo redução real na média de crescimento. Quando, porém, ocorreu uma tensão superior a 2 atmosferas a 30,0 cm de profundidade, registrou-se uma redução real na média do crescimento.

JONES (1980) cita em uma revisão bibliográfica que no Havaí são usados lisímetros como padrão de estimativas de evapotranspiração potencial (ETm), e que *Campbell, Chang e Cox (1960)* e *Chang et alii (1965)*, usaram lisímetros de drenagem para estimar ETP, sendo que as leituras foram acumuladas semanalmente para que os erros devido ao armazenamento de água no solo fossem aceitavelmente baixos. Ainda nesta revisão *JONES (1980)*, cita que *Ekern (1971)* encontrou que a estimativa de ETo através do método da radiação subestima as medidas de consumo de água pelo lisímetro, provavelmente devido a absorção de calor advectivo pela cultura de cana-de-açúcar e colheu dados que mostraram que quando estimativas diárias de ETm obtidas em lisímetro hidráulico e a evaporação medida em tanque Classe "A" são comparadas, a correlação foi baixa ($r^2 = 0,39$). Esta baixa correlação pode ser primariamente atribuída as diferentes relações do balanço de energia do tanque Classe "A" e da cultura da cana-de-açúcar, concordando com *THOMPSON (1965)*, que veri-

ficou que as médias mensais da ETm diária, excediam as quantidades prováveis em termos de radiação líquida medida isoladamente, e que o efeito da existência de considerável energia advectiva tem, por conseguinte, sido sugerido como o principal motivo da elevada relação ETm/ETo. Desta forma, *DOORENBOS e PRUITT (1975)*, em Crop Water Requeriments, sugere que os métodos de estimativa de evapotranspiração, de Penman, da radiação e do tanque Classe "A", oferecem melhores resultados para períodos tão curtos quanto 10 dias.

Para que se possa ter idéia da relação do consumo de água com a produtividade da cana-de-açúcar, *FOGLIATA (1974)* verificou que a cultura necessita de 12,55 a 14,90 mm de água para produzir uma tonelada de cana e 104,9 a 144,2 mm de água para produzir uma tonelada de açúcar, enquanto que *SOUSA (1976)* encontrou que para produzir uma tonelada de cana e uma de açúcar foi, respectivamente, 11,89 e 82,42 mm, e *DEMETRIO (1978)* que para produzir uma tonelada de cana e uma de pol foi respectivamente 8,8 mm e 48,0 mm de altura de água.

A identificação dos fatores implicados na evapotranspiração tem revelado o acentuado dinamismo deste complexo sistema de transferência de água, onde variáveis puramente físicas interagem com variáveis biológicas, determinando o retorno da água à atmosfera, como parte do ciclo hidrológico. É então citado como dos mais importantes fatores de controle da transpiração, o enrolamento em espiral das folhas superiores que é uma característica apresentada pela maioria das variedades de cana-de-açúcar durante os períodos de relativa deficiência de água no solo, isto é, quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção. Este efeito, entretanto, não deve ser exagerado, sendo que *Evans (1939)* cita

do por *DILLEWIJN* ((1952) encontrou uma redução de somente 10 a 20% na taxa de transpiração, como resultado do enrolamento da folha, sendo que Tamay e Chen (1949) citados por *DILLEWIJN* (1952) mostram que o ritmo da transpiração está sujeito as variações no curso do dia,oferecendo na Fig. 3 um exemplo da absorção de água por hora por uma planta de cana, durante 2 dias sucessivos, um dia claro seguido de um dia nublado. No dia claro a absorção começou aumentar ao redor de uma hora depois do nascer do sol e chegou ao máximo depois do meio dia (14 às 15 horas), logo diminuiu durante a tarde e a noite até chegar a um mínimo durante a madrugada. No dia nublado, a tendência diária se assemelhou aos dias claros, porém o máximo era marcadamente baixo conforme mostra a Figura 4.

Figura 3 - Taxa de absorção de água por uma planta de cana-de-açúcar em um dia claro.

Figura 4 - Taxa de absorção de água por uma planta de cana-de-açúcar em um dia nublado.

Nos dias chuvosos, apenas houve alguma variação, entretanto a taxa de absorção diurna não superou a noturna. Nesta mesma pesquisa encontraram os seguintes valores, relativos aos dias chuvosos, para a taxa de absorção de cana-de-açúcar: dias claros de 4 a 5; dias claros com pequenas chuvas, aproximadamente 3,3; dias nublados de 2 a 2,5. Daí resulta que nos dias claros a taxa de absorção foi o dobro dos dias nublados. THOMPSON (1976), usando lisímetro, obteve resultados semelhantes.

Sendo o estágio de crescimento e o porte da cultura fatores importantes na determinação da evapotranspiração, da deficiência de água no solo e da produtividade, CLEMENTS *et alii* (1952) denominaram como *elongação*, a diferença de comprimento entre duas medições consecutivas, da primeira aurícula visível, e Wadsworth (1936) citado por KRUTMAN (1962), relatou resultados que obteve medindo semanalmente o crescimento da cana tomando por base a primeira aurícula visível. Seus resultados mostraram que o crescimento se processou em grau constante até a umidade do solo tornar-se um fator limitante.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

4.1.1. Local

O evapotranspirógrafo foi instalado numa área de bordadura de cana-de-açúcar maior que 20 Km, e localiza-se na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Instituto do Açúcar e do Alcool, Km 174 da Via Anhanguera, município de Araras-SP, com as coordenadas geográficas: latitude $22^{\circ}18'5''$, longitude $47^{\circ}23'W$ e altitude média de 620 metros. O relevo é plano e o declive do campo ligeiramente inferior a 3%.

4.1.2. Solo

Segundo FRANÇA (1973), o solo se enquadra no grande grupo Latossol Vermelho Escuro-orto, que abrange 10,46% da área canavieira do Estado de São Paulo, ou seja, 64.914 ha, de acordo com estudo de RUGAI e

ORLANDO Fº (1973).

4.1.3. Características físicas e químicas do solo

a) Peso específico aparente, determinado com o cilindro de Uhland, acusou o valor médio de $1,22 \text{ g/cm}^3$.

b) Peso específico real com o valor médio de $3,01 \text{ g/cm}^3$.

c) Curva característica da água do solo foi determinada com auxílio das placas de RICHARDS (1947).

d) A capacidade de campo (c.c.) e o ponto de murchamento permanente (PMP) a 15 atm de tensão foram de 31,34 e 22,56% em peso de solo seco. Os resultados da análise estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físicas do solo.

Prof. cm	Arg. %	Limo %	Areia %	% em peso de solo seco	
				C.C.	PMP
0-20	44,18	37,77	18,05	31,86	22,64
20-40	62,46	24,79	12,86	30,34	22,18
40-60	54,22	31,74	14,04	31,82	21,86

e) Características químicas do solo, Tabela 3.

Tabela 3 - Características químicas do solo.

Prof. cm	PH H ₂ O	K	P	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	C %	H Total
		Ug / ml		e.mg/100 ml					
0-20	5,20	78	1	0,40	2,20	1,00	9,60	1,33	6,20
20-40	6,10	20	1	0,20	2,50	0,60	8,35	1,27	5,20
40-60	6,00	20	1	0,10	1,80	0,20	6,95	1,00	4,20

4.1.4. Variedade de cana-de-açúcar, plantio e colheita

A variedade escolhida foi a NA56-79, a densidade de plantio foi de 12 gemas por metro linear de sulco, o plantio foi efetuado na data de 7 de dezembro de 1979 e a colheita efetuada a 18 de abril de 1981.

Foram plantados no evapotranspirógrafo 3 sulcos de 6,70 m de comprimento e 1,50 m de espaçamento entrelinhas.

4.1.5. Evapotranspirógrafo de nível freático constante

Este instrumento consistiu de um tanque confeccionado em chapa de ferro de 0,3 cm de espessura, reforçado nas bordas e internamente por cantoneiras de ferro de 4,0 cm de largura e 0,3 cm de espessura, devidamente impermeabilizado, tendo lados de 4,5 e 6,7 m e altura igual a 1,5 m. Na parte inferior e central do menor lado foi acoplado um tubo de PVC com diâmetro de 1", por onde se dava o abastecimento. Acoplado a este tubo, uma mangueira de plástico de mesmo diâmetro o interligava a uma caixa de passagem controlada por um sistema de bóia com as dimensões de

0,5 x 0,5 m de base e 0,5 m de altura. Esta caixa, foi acoplada a um recipiente de ferro através de uma mangueira que funcionava como abastecedor do sistema, cujas dimensões eram de 1 m de diâmetro x 2 m de altura, ao qual foi associado um sistema de registro acionado por uma bóia e escala graduada em função do volume de água requerida pela superfície de exposição do sistema, recurso já utilizado por ASSIS (1978). O nível freático foi mantido à 1,30 m de profundidade, concordando com CARTER e FLOYD (1975). Para evitar a entrada de água pluvial foi construída uma casa móvel sobre trilhos, a qual cobria todo o sistema em caso de chuva, conforme o esquema que pode ser visto na Figura 5. O papel de registro tem capacidade de registrar até 9 mm acumulados.

4.1.6. Equipamentos complementares

Para a estimativa da evapotranspiração potencial, através dos métodos sugeridos por DOORENBOS e KASSAM (1979), e para informações complementares, foram utilizados os seguintes instrumentos:

4.1.6.1. Tanque Classe "A"

Tanque de formato cilíndrico, confeccionado em chapa de ferro galvanizado nº 22 (AWG), com 1,20 m de diâmetro e 0,25 m de profundidade, tendo como acessórios para as leituras um poço tranquilizador convencional, nivelado por três parafusos calantes e um micrômetro com uma precisão de medida do nível da água de até 0,02 mm, sendo este assentado sobre o poço tranquilizador quando da realização das leituras. Entre o tanque e a superfície do solo, foi colocado um estrado de madeira, pintado de branco, de modo que a distância entre o fundo do tanque à superfí

cie do solo era igual a 0,15 m:

Figura 5 - Esquema do evapotranspirógrafo.

4.1.6.2. Pluviômetro

Tipo HH, com leitura efetuada em proveta graduada em mil litros, sendo, posteriormente, convertida em milímetros.

4.1.6.3. Anemômetro

Integrador de fabricação FUESS, modelo 91 g, instalado a uma altura de 2,0 m da superfície do solo.

4.1.6.4. Heliôgrafo

Campbell - Stokes, de fabricação FUESS, modelo 96c.

4.1.6.5. Termohigrôgrafo

De fabricação FUESS, modelo 159r, de rotação semanal, com precisão de $\pm 1\%$ para temperatura, devidamente calibrado.

4.1.6.6. Tensiômetros

Para a obtenção da tensão da água do solo, foram instalados no evapotranspirôgrafo 2 baterias de tensiômetros, totalizando 12 tensiômetros individuais, colocados no solo com auxílio de um trado de 20 mm de diâmetro, nas profundidades de 18, 30, 50, 70, 90 e 110 cm. Os tensiômetros, com vacuômetro de mercúrio, foram locados no evapotranspirôgrafo conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Localização das baterias de tensiômetros na caixa principal do evapotranspirógrafo.

4.2. Métodos

4.2.1. Preparo do solo

No preparo do solo para plantio foi utilizada a adubação aos níveis de 2-12-12, de N, P_2O_5 e K_2O , 1000 kg/ha, distribuída em sulcos de 1,5 m de espaçamento entrelinhas.

Foi aberto um buraco no solo, de dimensões pouco maiores que as da caixa principal do evapotranspirógrafo. Nesta operação, o solo foi retirado em camadas de 30 cm de profundidade até 1,50 m, sendo estas camadas amontoadas separadamente. A caixa principal do evapotranspirógrafo foi montada neste local e preenchida com 10 cm de pedra britada nº 1,

10 cm de areia grossa, e posteriormente foram colocadas as camadas de terra obedecendo a ordem natural das posições antes da retirada.

4.2.2. Operação do evapotranspirógrafo

O nível da água no evapotranspirógrafo foi mantido constante a cerca de 130 cm abaixo da superfície do solo, na caixa principal do instrumento.

O papel registrador foi trocado diariamente às 9 horas. Para "zerar" o instrumento, colocava-se água no reservatório até o sifão ser acionado, de modo que, ao cessar a sifonação, a pena estava na linha zero do gráfico, na hora ajustada.

O funcionamento do instrumento é descrito com base no esquema da Figura 7. Na ausência de evapotranspiração, o nível "H" da água no tanque permanece constante e a válvula fechada. Ocorrendo evapotranspiração ocorrerá também um abaixamento do nível "H", abertura da válvula e simultâneo abaixamento da altura da coluna d'água "h" no reservatório. Em consequência, a pena sofrerá um deslocamento igual a variação de "h", traçando-o sobre o papel registrador. O movimento do mecanismo de relógio conjugado ao deslocamento da pena resultará numa curva cumulativa para um determinado intervalo de tempo. O papel registrador tinha capacidade para registrar uma evapotranspiração de até 9 mm acumulados e sempre era trocado após este acúmulo às 9 horas.

Figura 7 - Esquema do sistema de registro do evapotranspirôgrafo.

4.2.3. Operação dos tensiômetros

A leitura dos tensiômetros foi efetuada diariamente às 9 horas. Quando da formação de bolhas de ar no tubo capilar do tensiômetro era completada a água do instrumento para eliminação da bolha de ar e para que 1 hora após fosse possível a leitura.

4.2.4. Variação do armazenamento de água no solo (ΔA , mm)

O componente variação de armazenamento do solo foi estimado a partir de perfis consecutivos de umidade do solo θ ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), obtidos indiretamente através de leituras de tensiômetros, como o representado na Figura 8.

Figura 8 - Corte longitudinal de um tensiômetro instalado no solo.

4.2.4.1. Potencial matricial (ζ)

O potencial matricial (ζ) foi calculado através da equação:

$$\zeta = -12,6 h_z + h_c + z$$

onde:

h_z = leitura (cm de Hg) do tensiômetro instalado na profundidade z ;

h_c = altura do nível de mercúrio na cuba em relação à superfície do solo;

z = profundidade de instalação.

4.2.4.2. Umidade do solo (θ)

A umidade θ correspondente a cada potencial matricial foi calculada pelo método gravimétrico, de acordo com a equação:

$$\theta = \left(\frac{m_u - m_s}{m_s} \right) \frac{m_s}{V} = \frac{m_u - m_s}{V}$$

onde:

θ = umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

m_u = massa úmida (g)

m_s = massa seca, após 48 horas em estufa a 105°C (g)

V = volume do anel volumétrico (cm^3)

A partir dos valores de potencial (ζ) obtidos das leituras dos tensiômetros e da curva característica ($\zeta \times \theta$) para cada profundidade, obtiveram-se os valores correspondentes de θ .

4.2.4.3. Armazenagem (A , mm)

Na estimativa da armazenagem A foi empregada a fórmula:

$$A = \int_0^L \theta \, dz \approx \bar{\theta} \cdot L$$

onde:

$\bar{\theta}$ = umidade média do perfil (0 a L cm)

L = profundidade do perfil (cm)

Nestas condições, a variação de armazenagem num período $t_2 - t_1$ foi obtida pela fórmula:

$$\Delta A = 10 (\bar{\theta}_2 - \bar{\theta}_1) \cdot L$$

onde:

ΔA = variação de armazenagem (mm)

$\bar{\theta}_2$ = umidade volumétrica média do perfil ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) no instante t_2

$\bar{\theta}_1$ = umidade volumétrica média do perfil ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) no instante t_1

L = profundidade do perfil (cm)

4.2.5. Biometria

4.2.5.1. Número de colmos e produtividade

A contagem total do número de colmos foi feita logo em seguida ao corte, com as canas deitadas na leira, arrumadas em feixes de 20 cada, para facilidade da contagem, pesagem e possível conferência posterior. As canas contadas correspondiam a todas as canas plantadas dentro do instrumento e na área testemunha foram utilizados quatro sulcos de 10 metros, correspondendo a produção de 40 m de sulco.

4.2.5.2. Crescimento do colmo (E)

O crescimento do colmo foi determinado através da taxa de alongação do colmo (ΔE), que é definida como a diferença observada entre duas medições seguidas, tomadas quase sempre de 5 em 5 dias. Para essa medição foi adotada a seguinte técnica: assinalaram-se 20 canas dentro do evapotranspirógrafo, e 20 canas na área testemunha. A essas canas, marcadas ao acaso, amarrou-se uma fita plástica preta para fácil identificação. Em seguida, fixou-se um piquete ao solo na posição vertical e abaixo do ponto do colmo a ser medido. A folha escolhida para ser medida era aque

la que, partindo-se do centro "cartucho" seria a +1 na descrição de *Kuiper* (1915), citado por *DILLEWIJN* (1952), isto é, a primeira a apresentar a aurícula visível, ou seja, aquela cujo limbo iniciou seu desgarramento do "cartucho", encontrando-se entre as posições vertical e horizontal. Nessa fase em que o limbo começa sua inclinação, surge a aurícula na extremidade lateral da dobra ou inserção entre a bainha e o limbo. Essa dobra é também conhecida por "colarinho". A medição então é feita com uma fita métrica, partindo-se do piquete fixado no solo até a aurícula. A diferença entre duas medições semanais denomina-se taxa de alongação do colmo (ΔE).

4.2.6. Determinações tecnológicas

Foram realizadas determinações de brix, pol, fibra % cana pelo método da prensa hidráulica segundo *IAA-PLANALSUCAR* (1978), cinzas % caldo por condutimetria, segundo *MEADE e CHEN* (1977), açúcares redutores % caldo, segundo metodologia de *LANE e EYNON* (1934).

Com os resultados obtidos foram calculados pureza e cinzas % brix. Estas determinações foram feitas pelo laboratório de análises da Seção Industrial do IAA-PLANALSUCAR, Araras-SP, no dia 18 de maio de 1981.

4.2.7. Considerações sobre ECA, Kp, ETo, ETm e Kc

As definições dos parâmetros ECA, Kp, ETo, ETm e Kc, utilizadas no presente trabalho, foram as seguintes (*DOORENBOS e KASSAM, 1979*):

- ECA = evaporação medida no tanque Classe "A".
- Kp (coeficiente do tanque Classe "A") = valor pelo qual se deve multiplicar a leitura do tanque Classe "A", para obter-se a evapo

transpiração de referência. (ET₀).

- ET₀ (evapotranspiração de referência) = água perdida na forma de evaporação e transpiração, por uma superfície de grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), em condições ótimas de suprimento hídrico, de desenvolvimento vegetativo e bordadura.

- ET_m (demanda climática ideal de água) = taxa de perda de água por evapotranspiração, necessária para o ótimo desenvolvimento. No trabalho em questão, ET_m foi medida pelo evapotranspirógrafo.

- K_c (coeficiente de cultura) = valor pelo qual se deve multiplicar a evapotranspiração de referência (ET₀) para obter-se a demanda climática ideal (ET_m).

4.2.8. Considerações sobre K_c_{CA}, K_c_{Pen}, K_c_{Rad} e K_c_A

Foi considerado para as análises em questão que:

- K_c_{CA} é a relação existente entre a ET_m e a ET₀, estimada pelo método do tanque Classe "A", ET₀_{CA}, portanto:

$$K_{c_{CA}} = \frac{ET_m}{ET_{0_{CA}}}$$

- K_c_{Pen} é a relação existente entre a ET_m e a ET₀, estimada pelo método de Penman (ET₀_{Pen}), portanto:

$$K_{c_{Pen}} = \frac{ET_m}{ET_{0_{Pen}}}$$

- K_c é a relação existente entre a ET_m e a ET_o , estimada pelo método da radiação (ET_o), portanto:

$$K_c = \frac{ET_m}{ET_o}$$

- K_c é a relação existente entre a ET_m e a evaporação medida pelo tanque Classe "A" (ECA), portanto:

$$K_c = \frac{ET_m}{ECA}$$

4.2.9. Métodos de estimativa de ET_o

Para estimativa de ET_o , foram utilizados os métodos de Penman, tanque Classe "A" e radiação solar, recomendados por DOORENBOS e KASSAM (1979).

As equações básicas utilizadas foram as seguintes:

4.2.9.1. Método de Penman

$$ET_{o, Pen} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot H + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

sendo:

Δ/γ = determinado em função da temperatura média do ar para o período, segundo VILLA NOVA (1967) - Ver Tabela 13.

Δ = tangente à curva de saturação de vapor, determinada pela expressão:

$$\Delta = e_s (6886/Ta^2 - 5,31/Ta^2) \dots\dots (mm.^{\circ}C^{-1})$$

Ta = temperatura do ar, média do período ($^{\circ}C$)

e_s = tensão de saturação de vapor sobre a água, calculada pela relação:

$$e_s = (6,11 \times 10^{\frac{AT}{B+T}}) \times 0,75$$

sendo: A = 7,5

B = 237,5

H = balanço de energia, sendo:

$$H = \frac{Q_o}{59} (a+b \frac{n}{N}) (1 - r) - \frac{\sigma Ta^4}{59} (0,56 - 0,09\sqrt{e}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N})$$

onde:

Q_o = radiação solar global recebida na ausência da atmosfera por uma superfície unitária e horizontal ($cal.cm^{-2}.dia^{-1}$). Ver Tabela 14.

n = insolação média do período (hora e décimos)

N = duração máxima de insolação (horas e décimos)

r = albedo médio para superfície vegetadas

σ = constante de Stefan-Boltzman

$$(8,123 \times 10^{-11} cal.cm^{-2}.dia^{-1}.^{\circ}K^4)$$

Ta = temperatura do ar média do período ($^{\circ}K$)

e = tensão atual de vapor, em mmHg, calculada pela expressão:

$$e = \frac{UR}{100} \cdot e_s$$

UR = umidade relativa (%)

Ea = poder evaporante do ar, calculado através da equação:

$$Ea = 0,35 (1+0,54 U_2) (e_s - e_a) \dots\dots (mm.dia^{-1})$$

U_2 = velocidade do vento a 2,0 m de altura ($m \cdot seg.^{-1}$)

4.2.9.2. Método da radiação solar

$$ET_{o, Rad} = C (\omega \cdot R_s).$$

sendo:

$$R_s = \frac{Q_o}{59} \left(0,26 + 0,51 \frac{n}{N} \right)$$

onde:

Q_o = radiação solar global recebida na ausência da atmosfera por uma superfície horizontal e unitária ($cal.cm^{-2} \cdot dia^{-1}$) - Ver Tabela 14.

n = insolação média do período (hora e décimos)

N = duração máxima da insolação (hora e décimos) - Ver Tabela 18.

ω = valor tabular, referente ao efeito da radiação na ET_o , em diferentes temperaturas e altitudes - Ver Tabela 15.

C = coeficiente angular de ajuste de ET_o , determinado em função da umidade relativa e da velocidade do vento - Ver Tabela 16.

4.2.9.3. Método do tanque Classe "A"

$$ET_{o, CA} = K_p \cdot ECA$$

onde:

ECA = evaporação medida em tanque Classe "A" ($mm \cdot dia^{-1}$)

K_p = coeficiente de conversão do tanque Classe "A", sendo utilizados os valores recomendados pela "Food and Agriculture Organization" (FAO), em função da velocidade do vento, da exposição do tanque e da umidade relativa (Doorenbos e Pruitt, 1975) - Ver Tabela 17.

4.2.9.4. Análises estatísticas

Os valores de K_c obtidos pelos diferentes métodos de estimativas de ETo propostos, foram confrontados através da análise de regressões linear simples.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Operação e desempenho do evapotranspirógrafo

5.1.1. Condições operacionais

O instrumento mostrou-se de fácil utilização, visto que pode ser manuseado por apenas um observador, para as trocas do papel de registro, leitura dos tensiômetros, medidas de crescimento da cana-de-açú-car, reabastecimento do depósito d'água e tabulação dos dados. Estas fases demandaram durante todo o período estudado, aproximadamente 1 hora de serviço diário. Foi utilizado também os serviços de um trabalhador braçal para cobertura da caixa principal do evapotranspirógrafo, com a casa móvel sobre trilhos em caso de chuvas.

5.1.2. Desempenho

5.1.2.1. Precisão

Foi possível medir a evapotranspiração da cana-de-açúcar , com precisão de milímetros por hora, durante as 24 horas do dia, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Cópia reduzida do papel de registro obtida do sistema mostrado na Figura 7.

Esta precisão pode ser comparada com a dos lisímetros desenvolvidos por *Pruitt e Angus (1960)*, *MacIlroy e Sumner (1961)* e *Bavel e Myers (1962)*, *ASSIS (1978)* e *ENCARNAÇÃO (1980)*, entretanto seu custo e facilidade de construção, operação e manutenção fizeram com que fosse escolhido para esta pesquisa.

5.1.3. Reabastecimento da água do solo

Tendo a cana-de-açúcar evapotranspirado, e portanto retira do água do solo, ocorre concomitantemente à ascensão capilar da água do nível freático. Para monitoração desta ascensão capilar e verificação das possíveis variações no armazenamento da água do solo (ΔA) foram feitas leituras dos tensiômetros de mercúrio instalados a 10, 30, 50, 70, 90 e 110 cm de profundidade, diariamente. Os resultados obtidos em função destas leituras são apresentados na Tabela 4, que mostra que as variações do armazenamento em dias consecutivos foram insignificantes. Portanto, a perda que foi registrada pelo evapotranspirógrafo, constitui-se práticamente de água perdida por evapotranspiração, e não variação do armazenamento.

Durante todo o ciclo da cultura, a tensão da água do solo (ζ) em nenhuma das profundidades estudadas, alcançou valores críticos como os citados por ROBINSON (1963) e SOUSA e SCARDUA (1977), o que poderia prejudicar o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar.

O evapotranspirógrafo de nível freático constante não apresenta os inconvenientes dos lisímetros de drenagem quanto a variação do armazenamento de água do solo, que faz com que sejam feitas medições semanais para diluição dos possíveis erros, como cita JONES (1980)- e dos lisímetros hidráulicos quanto ao elevado custo dos mecanismos sensíveis e critérios rigorosos de instalação.

Tabela 4 - Potencial matricial (ζ) e variação do armazenamento (ΔA) da água do solo do evapotranspirógrafo.

D A T A		ζ POTENCIAL MATRICIAL (atm)						ARM. (A)	ΔA
ANO	DIA/MES	PROFUNDIDADE (z=cm)							
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	mm	mm
1979	21/12	0,55	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	429,96	-
	22/12	0,54	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	429,96	0,00
	23/12	0,54	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	429,96	0,00
1980	21/01	0,67	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	426,90	-
	22/01	0,68	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	426,96	0,06
	23/01	0,65	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	427,92	0,96
1980	21/02	0,59	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	429,00	-
	22/02	0,55	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	429,96	0,06
	23/02	0,55	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	429,96	0,00
1980	21/05	0,71	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	421,92	-
	22/05	0,73	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	421,92	0,00
	23/05	0,74	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	420,96	-0,96
1980	21/06	0,73	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	421,92	-
	22/06	0,73	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	421,92	0,00
	23/06	0,74	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	426,96	0,96
1980	21/07	0,74	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	426,96	-
	22/07	0,75	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	426,96	0,00
	23/07	0,74	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	426,96	0,00
1980	21/10	0,72	0,23	0,10	0,10	0,10	0,10	413,64	-
	22/10	0,73	0,34	0,10	0,10	0,10	0,10	411,96	-1,68
	23/10	0,72	0,35	0,10	0,10	0,10	0,10	411,96	0,00
1980	21/11	0,72	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10	415,20	-
	22/11	0,72	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10	415,20	0,00
	23/11	0,73	0,26	0,10	0,10	0,10	0,10	414,00	1,20
1980	21/12	0,71	0,29	0,10	0,10	0,10	0,10	415,92	-
	22/12	0,74	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	414,00	-1,92
	23/12	0,75	0,26	0,10	0,10	0,10	0,10	414,00	0,00
1981	21/03	0,73	0,34	0,10	0,10	0,10	0,10	411,96	-
	22/03	0,73	0,34	0,10	0,10	0,10	0,10	411,96	0,00
	23/03	0,73	0,32	0,10	0,10	0,10	0,10	412,98	1,02
1981	21/04	0,73	0,40	0,10	0,10	0,10	0,10	409,92	-
	22/04	0,74	0,40	0,10	0,10	0,10	0,10	409,92	0,00
	23/04	0,74	0,42	0,10	0,10	0,10	0,10	409,92	0,00

5.1.4. Comportamento da cana-de-açúcar

Pretendeu-se que as condições de desenvolvimento da cana-de-açúcar no instrumento reproduzissem as condições ideais para tal, visto que o solo foi removido totalmente, adubado sob adubação de luxo e mantido a um nível de água de maneira que se pudesse ter a maior aeração para uma tensão mínima de água no solo, ou seja o máximo de água sem prejuí

zo para a aeração das raízes. Em primeira análise estas condições parecem ter sido reproduzidas, uma vez que no período estudado a cana-de-açúcar dentro do evapotranspirógrafo teve um crescimento de 335,0 cm e a cana plantada fora um crescimento de 330,0 cm, apesar de no período estudado não ter ocorrido falta de chuvas (como se observa na Tabela 19).

A produtividade dentro e fora do evapotranspirógrafo foi equivalente a 154,86 e 114,66 t/ha, com uma diferença de 35% e a densidade de colmos colhidos dentro e fora do instrumento, foi de 15 e 11 colmos por metro linear de sulco, respectivamente, sendo a diferença de 36%, visto que a densidade de plantio, a qualidade de mudas e a altura média das canas na colheita foram praticamente iguais para ambos os tratamentos, tal fato indica que o número de colmos colhidos é entre outros fatores, função da disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura, e importante fator na estimativa da produtividade final de cana-de-açúcar, conforme também observaram CARTER e FLOYD (1975).

As análises tecnológicas das canas colhidas dentro do evapotranspirógrafo encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Análises tecnológicas da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) na data da colheita do experimento.

Brix	Pol%Caldo	Pol%Cana	Fibra	A.R.	Cinza
19,12	17,31	15,35	11,32	0,83	0,461

Estes resultados sugerem que evapotranspirógrafos semelhantes ao empregado neste estudo, possam ser recomendados para estimativas de produtividade potencial de novas áreas para introdução da cana-de-açúcar, para posteriores estudos sobre os efeitos da irrigação na produtividade da cultura, concordando com *CHANG et alii (1965)* que obteve os maiores rendimentos quando a evapotranspiração potencial (ET_m) e atual eram iguais como o caso específico deste instrumento.

O nível freático (1,30 m) mantido no evapotranspirógrafo se mostrou adequado para as dimensões do instrumento, tipo de solo utilizado e variedade estudada (NA56-79), concordando com *CARTER e FLOYD (1975)* que obtiveram os melhores rendimentos quando o lençol freático no campo foi mantido a 1,22 metros de profundidade.

5.2. Evapotranspiração máxima (ET_m)

5.2.1. Evapotranspiração no curso do dia

5.2.1.1. Dias claros

A taxa de evapotranspiração é entre outros fatores, dependente da época do ano, do desenvolvimento vegetativo e das tendências diárias da temperatura e da radiação solar direta ou difusa. Como pode ser visto na Tabela 6, cuja representação gráfica encontra-se na Figura 10. Os resultados obtidos da taxa de evapotranspiração expressa em mm de água/2 horas, durante 24 horas do dia, cujos picos para todas as idades, ocorrem nas horas mais quentes do dia, ou seja, das 12 às 16 horas, vindo a cair bruscamente das 18 às 20 horas, mantendo-se mínimo e praticamente constante durante o período noturno, sendo estes resultados semelhantes, em ten

dência, aos obtidos por *Tamay e Chen (1949)*, citados por *DILLEWIJN (1952)* e aos obtidos por *THOMPSON (1976)*.

Tabela 6 - Taxa de evapotranspiração da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) medida no evapotranspirógrafo em dias claros.

DATA	HORAS												ΣETm	ETm Noite 18-06	ETm Dia 06-18	E cm	IDADE Dia
	06-08	08-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	00-02	02-04	04-06					
08/12/79	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,76	0,38	0,38	0	1
07/03/80	0,10	0,09	0,15	0,20	0,25	0,22	0,20	0,20	0,20	0,10	0,07	0,06	1,84	0,83	1,01	18	81
05/05/80	0,18	0,28	0,40	0,40	0,40	0,22	0,10	0,12	0,06	0,06	0,06	0,06	2,38	0,50	1,88	97	139
25/09/80	0,10	0,38	0,58	0,68	0,62	0,32	0,30	0,20	0,15	0,13	0,12	0,06	3,64	0,96	2,68	207	282
19/12/80	0,11	0,31	0,80	1,05	1,03	1,00	0,65	0,40	0,20	0,30	0,12	0,07	6,04	1,74	4,30	270	368
15/05/81	0,11	0,11	0,30	0,50	0,68	0,55	0,27	0,20	0,18	0,14	0,10	0,08	3,22	1,08	2,14	335	512

NOTA: Informações climáticas destas datas na Tabela 20.

Figura 10 - Representação gráfica da taxa de evapotranspiração da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) medida no evapotranspirógrafo em dias claros.

5.2.1.2. Dias nublados

Nos dias nublados as curvas de evapotranspiração seguem a mesma tendência dos dias claros, entretanto, com valores absolutos muito menores. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 7 e estão representados graficamente na Figura 11. Estes resultados também são semelhantes aos obtidos por *Tamay e Chen (1949)*, citados por *DILLEWIJN (1952)*.

Tabela 7 - Taxa de evapotranspiração da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) medida no evapotranspirógrafo em dias nublados.

DATA	HORAS												ΣET_m	ET _m	ET _m	E	IDADE
	05-08	08-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	00-02	02-04	04-06		Noite 18-05	Dia 05-18	cm	Dia
17/12/79	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,80	0,40	0,40	0	10
16/03/80	0,06	0,06	0,07	0,06	0,09	0,06	0,15	0,20	0,15	0,08	0,06	0,06	1,12	0,70	0,42	32	88
03/05/80	0,06	0,10	0,12	0,12	0,10	0,09	0,04	0,08	0,10	0,10	0,05	0,07	1,03	0,44	0,59	100	137
15/09/80	0,07	0,12	0,28	0,46	0,48	0,42	0,30	0,22	0,15	0,12	0,10	0,06	2,78	0,95	1,83	202	272
27/12/80	0,08	0,10	0,22	0,27	0,25	0,20	0,18	0,10	0,08	0,06	0,05	0,07	1,66	0,54	1,12	272	375
17/05/81	0,06	0,06	0,15	0,22	0,20	0,06	0,06	0,06	0,03	0,06	0,07	0,06	1,09	0,34	0,75	335	515

NOTA: Informações climáticas destas datas na Tabela 21.

Figura 11 - Representação gráfica da taxa de evapotranspiração da cana-de-açúcar (Var. NA56-79) medida no evapotranspirôgrafo em dias nublados.

5.2.2. Evapotranspiração durante todo o ciclo da cultura e relação consumo x produção

Pode ser observado nas Tabelas 8, 9, 10 e 11 e Figuras 12, 13, 14 e 15, que os valores da evapotranspiração ($\overline{ETm}$) média durante todas as fases do ciclo da cultura, estão em concordância com os obtidos por LEMON *et alii* (1957), DENMEAD e SHAW (1962), GAVANDE e TAYLOR (1967)

e SCALOPI (1972), que concluíram que a ETm é função do regime de umidade do solo, estágio de crescimento da planta e das condições climáticas do local. A maior evapotranspiração ocorreu, logicamente, durante os meses mais quentes, quando a cultura já havia atingido grande porte, e portanto grande desenvolvimento da área foliar. A evapotranspiração aumentou com o aumento do porte da cana-de-açúcar, atingindo um máximo valor quando a cultura estava com uma altura média de aproximadamente 2 m. A maior taxa de evapotranspiração ocorrida foi de 6,8 mm por dia e foi no dia 17/11/80 (Figura 9), quando a cana estava com uma altura da 1ª aurícula visível de 233,0 cm.

Com relação ao uso da água pela cultura, sabendo-se que foi colhida (cana na palha) no lisímetro 464,58 kg em 30 m² equivalendo a 154,86 t/ha e 23,77 t açúcar/ha, e que a ETm total foi de 1.300 mm, calculou-se que para se produzir 1 tonelada de cana são necessárias aproximadamente 85 t de água equivalendo a 8,6 mm de água consumida por tonelada de cana produzida/ha e 55,9 mm para 1 tonelada de açúcar/ha, sendo estes resultados inferiores aos obtidos por FOGLIATA (1974) e por SOUSA (1976) e semelhantes aos obtidos por DEMÉTRIO (1978).

5.2.3. Relações entre ETm e ETo obtidos pelos métodos de estimativa proposta

5.2.3.1. Considerações gerais

As taxas de absorção de água e de transpiração são controladas por diferentes séries de fatores. A taxa de absorção é determinada pela extensão e eficiência do sistema radicular, pelo potencial e condutividade hidráulica do solo, e pela transpiração, que por sua vez é re

gulada pela superfície e estrutura das folhas, e pelos fatores climáticos, que afetam as variações, do gradiente de pressão de vapor entre o ar livre e a câmara estomática, tais como, vento, radiação solar, temperatura e umidade relativa. Portanto, é de se esperar que processos controlados por tão diferentes séries de fatores não estejam perfeitamente sincronizados, mesmo que sejam em parte interdependentes. Existe, uma resistência considerável contra o movimento de água dentro das raízes e do colmo da cana-de-açúcar, também existe um sistema tampão em forma de tecido parenquimatoso, o qual funciona como um depósito que perde água quando a taxa de evapotranspiração em relação a absorção é maior que 1, e armazena água, em caso contrário. O primeiro caso resulta em fechamento dos estômatos e enrolamento das folhas, reduzindo até em 20% a transpiração, conforme cita *VILLEWIJN (1952)* e o segundo caso, na maioria das vezes, promove a abertura do estômato, diminuindo a resistência estomatal, facilitando a transpiração.

Sendo este conjunto de condições, determinantes do valor de ET_m , variável para cada espécie vegetal e em cada fase do ciclo, é de se esperar que o valor de ET_o no período correspondente deva ser diferente, posto que, é referido a cultura de grama batatais (*Paspalum notatum* Ln.), em estágio de crescimento ativo, e estimado pelos métodos propostos.

5.2.3.2. Relações de ET_m e ET_o - Método do Tanque Classe CA "A" (K_c) CA

Encontram-se na Tabela 8 os valores de K_c , representados CA graficamente na Figura 12, onde é observado que de 0 a 60 dias após o plantio variaram aproximadamente de 0,12 a 0,25, de 60 a 90 dias de 0,25

Tabela 8 - Relações de ETm e ETo em função da idade e do comprimento do
CA
colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).

ANO	MÊS	PER.	ETm mm/ dia	ETm Acum. mm	ETo CA mm	Kc CA	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1979	DEZ	01-10	0,52	5,20	4,29	0,12	-	-	3
"	"	11-20	0,51	10,30	2,60	0,19	-	-	13
"	"	21-31	0,54	16,30	2,16	0,25	-	-	24
1980	JAN	01-10	0,56	21,90	3,90	0,14	-	-	34
"	"	11-20	0,58	27,70	3,19	0,18	-	-	44
"	"	21-31	0,60	34,30	3,28	0,18	-	-	55
"	FEV	01-10	0,84	42,70	3,84	0,21	-	-	65
"	"	11-20	0,88	51,50	3,28	0,26	-	-	75
"	"	21-28	1,30	61,90	2,14	0,60	-	10	83
"	MAR	01-10	1,52	77,10	4,21	0,36	10	20	93
"	"	11-20	1,71	94,20	3,20	0,53	15	35	103
"	"	21-31	2,62	123,10	3,99	0,65	05	40	114
"	ABR	01-10	1,72	140,30	2,15	0,80	20	60	124
"	"	11-20	1,44	154,70	2,65	0,54	10	70	134
"	"	21-30	2,26	177,30	2,51	0,90	15	85	144
"	MAI	01-10	2,18	199,10	1,89	1,15	25	110	154
"	"	11-20	2,42	223,30	2,14	1,13	10	120	164
"	"	21-31	2,58	251,70	2,18	1,18	8	128	175
"	JUN	01-10	2,31	274,80	2,06	1,12	7	135	185
"	"	11-20	2,44	299,20	1,80	1,35	10	145	195
"	"	21-30	1,77	316,90	1,20	1,47	5	150	205
"	JUL	01-10	2,30	339,90	1,91	1,20	5	155	215
"	"	11-20	2,70	366,90	1,98	1,36	10	165	225
"	"	21-31	3,02	397,20	2,64	1,14	3	168	236
"	AGO	01-10	2,61	423,30	2,04	1,27	2	170	246
"	"	11-20	2,96	452,90	2,37	1,24	5	175	256
"	"	21-31	2,50	480,40	2,25	1,11	5	180	267

Tabela 8 - cont.

ANO	MÊS	PER.	ETm mm/ dia	ETm Acum. mm	ETo CA mm	Kc CA	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1980	SET	01-10	3,73	517,70	3,06	1,21	20	200	277
"	"	11-20	2,15	539,20	1,89	1,13	5	205	287
"	"	21-30	2,99	569,10	3,05	0,98	5	210	297
"	OUT	01-10	3,42	603,30	2,75	1,24	5	215	307
"	"	11-20	3,54	638,70	3,48	1,01	2	217	317
"	"	21-31	4,87	692,30	4,70	1,03	8	225	328
"	NOV	01-10	4,03	732,60	2,84	1,41	2	227	338
"	"	11-20	6,03	792,90	4,07	1,48	8	235	348
"	"	21-30	3,70	829,90	2,78	1,33	15	250	358
"	DEZ	01-10	2,64	856,30	2,55	1,03	15	265	368
"	"	11-20	3,32	889,50	4,21	0,78	5	270	378
"	"	21-31	2,83	913,80	3,73	0,76	5	275	389
1981	JAN	01-10	2,73	914,07	3,14	0,86	10	285	399
"	"	11-20	2,28	936,87	2,05	1,11	15	300	410
"	"	21-31	3,44	974,77	3,38	1,01	8	308	421
"	FEV	01-10	4,45	1019,27	3,96	1,12	6	314	431
"	"	11-20	4,49	1064,17	4,67	0,96	6	320	441
"	"	21-28	3,96	1095,87	4,67	0,84	1	321	449
"	MAR	01-10	2,68	1122,67	3,44	0,77	2	323	459
"	"	11-20	3,24	1155,07	3,23	1,00	2	325	469
"	"	21-31	3,13	1189,57	3,14	0,99	2	327	480
"	ABR	01-10	3,46	1224,17	3,39	1,02	3	330	490
"	"	11-20	2,78	1251,97	3,00	0,92	2	332	500
"	"	21-30	2,85	1280,47	2,41	1,18	2	334	510
"	MAI	01-10	2,81	1308,57	2,49	1,12	1	335	520
"	"	11-20	2,15	1330,07	2,46	0,87	0	335	530
"	"	21-31	0,60	1336,77	3,22	0,18	-	-	13

Figura 12 - Representação gráfica das relações de ETm e ETo em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).

a 0,53, de 90 a 120 dias de 0,53 a 0,75, de 120 a 210 dias de 0,75 a 1,47 e de 210 a 517 dias de 1,47 a 0,87. Estes resultados diferem em amplitude dos mostrados por DOORENBOS e PRUITT (1975) e sugerem que os fatores de correção da evaporação do tanque Classe "A" (Kp) não estão devidamente ajustados as condições climáticas ocorridas na área experimental durante esta pesquisa.

5.2.3.3. Relações de ET_m e ET_o - Método da Radiação Rad

Encontram-se na Tabela 9 os valores de K_c, representados graficamente na Figura 13, onde é observado que de 0 a 60 dias após o plantio variaram aproximadamente de 0,10 a 0,20, de 60 a 90 dias de 0,20 a 0,40, de 90 a 120 dias de 0,40 a 0,55, de 120 a 210 dias de 0,55 a 0,96 e de 210 a 517 dias de 0,96 a 0,77. Estes resultados, diferem dos obtidos por Ekern (1971), citado por JONES (1980), que encontrou que a estimativa de ET_o através do método da radiação subestima as medidas de consumo d'água pelo lisímetro, provavelmente devido a absorção de energia advectiva pelas folhas da cana-de-açúcar, concordando com THOMPSON (1965), que fez observações semelhantes.

Ocorreu então, que para as condições do experimento os valores de ET_o sempre superestimaram os valores de ET_m.

Tabela 9 - Relações de ETm e ETo em função da idade e do comprimento do Rad
colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).

ANO	MÊS	PER.	ETm mm/ dia	ETm Acum. mm	ETo Rad. mm	Kc Rad.	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1979	DEZ	01-10	0,52	5,20	6,18	0,09	-	-	3
"	"	11-20	0,51	10,30	3,57	0,15	-	-	13
"	"	21-31	0,54	16,30	3,80	0,15	-	-	24
1980	JAN	01-10	0,56	21,90	5,49	0,11	-	-	34
"	"	11-20	0,58	27,70	5,26	0,11	-	-	44
"	"	21-31	0,60	34,30	4,16	0,15	-	-	55
"	FEV	01-10	0,84	42,70	5,33	0,16	-	-	65
"	"	11-20	0,88	51,50	4,72	0,19	-	-	75
"	"	21-28	1,30	61,90	3,46	0,38	-	10	83
"	MAR	01-10	1,52	77,10	6,19	0,25	10	20	93
"	"	11-20	1,71	94,20	4,67	0,37	15	35	103
"	"	21-31	2,62	123,10	5,53	0,48	05	40	114
"	ABR	01-10	1,72	140,30	3,20	0,54	20	60	124
"	"	11-20	1,44	154,70	3,19	0,46	10	70	134
"	"	21-30	2,26	177,30	4,64	0,49	15	85	144
"	MAI	01-10	2,18	199,10	2,93	0,75	25	110	154
"	"	11-20	2,42	223,30	3,31	0,74	10	120	164
"	"	21-31	2,58	251,70	3,68	0,71	8	128	175
"	JUN	01-10	2,31	274,80	2,72	0,85	7	135	185
"	"	11-20	2,44	299,20	2,73	0,90	10	145	195
"	"	21-30	1,77	316,90	1,86	0,96	5	150	205
"	JUL	01-10	2,30	339,90	2,84	0,81	5	155	215
"	"	11-20	2,70	366,90	2,95	0,92	10	165	225
"	"	21-31	3,02	397,20	3,10	0,98	3	168	236
"	AGO	01-10	2,61	423,30	3,46	0,76	2	170	246
"	"	11-20	2,96	452,90	3,83	0,78	5	175	256
"	"	21-31	2,50	480,40	3,17	0,79	5	180	267

Tabela 9 - cont.

ANO	MÊS	PER.	ETm mm/ dia	ETm Acum. mm	ETo Rad. mm	Kc Rad.	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1980	SET	01-10	3,73	517,70	4,60	0,81	20	200	277
"	"	11-20	2,15	539,20	2,75	0,79	5	205	287
"	"	21-30	2,99	569,10	3,99	0,75	5	210	297
"	OUT	01-10	3,42	603,30	5,55	0,62	5	215	307
"	"	11-20	3,54	638,70	5,31	0,67	2	217	317
"	"	21-31	4,87	692,30	5,22	0,94	8	225	328
"	NOV	01-10	4,03	732,60	5,07	0,80	2	227	338
"	"	11-20	6,03	792,90	6,36	0,95	8	235	348
"	"	21-30	3,70	829,90	5,02	0,74	15	250	358
"	DEZ	01-10	2,64	856,30	5,05	0,53	15	265	368
"	"	11-20	3,32	889,50	5,66	0,59	5	270	378
"	"	21-31	2,83	913,80	4,81	0,59	5	275	389
1981	JAN	01-10	2,73	914,07	3,80	0,72	10	285	399
"	"	11-20	2,28	936,87	3,40	0,67	15	300	410
"	"	21-31	3,44	974,77	5,11	0,68	8	308	421
"	FEV	01-10	4,45	1019,27	5,61	0,80	6	314	431
"	"	11-20	4,49	1064,17	6,10	0,74	6	320	441
"	"	21-28	3,96	1095,87	5,18	0,77	1	321	449
"	MAR	01-10	2,68	1122,67	4,61	0,59	2	323	459
"	"	11-20	3,24	1155,07	4,20	0,78	2	325	469
"	"	21-31	3,13	1189,57	4,84	0,65	2	327	480
"	ABR	01-10	3,46	1224,17	4,76	0,73	3	330	490
"	"	11-20	2,78	1251,97	4,15	0,67	2	332	500
"	"	21-30	2,85	1280,47	3,16	0,91	2	334	510
"	MAI	01-10	2,81	1308,57	3,68	0,77	1	335	520
"	"	11-20	2,15	1330,07	3,02	0,72	0	335	530
"	"	21-31	0,60	1336,77	3,19	0,19	-	-	533

Figura 13 - Representação gráfica das relações de ET_m e E_{To} em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).

5.2.3.4. Relações entre ET_m e ET_o - Método de Penman Pen

Encontram-se na Tabela 10, cujos valores de K_c estão representados graficamente na Figura 14, onde é observado que de 0 a 60 dias após o plantio variaram de aproximadamente de 0,10 a 0,20, de 60 a 90 dias de 0,20 a 0,40, de 90 a 120 dias de 0,40 a 0,60, de 120 a 210 dias de 0,60 a 1,50 e de 210 a 517 dias de 1,50 a 0,96. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por THOMPSON (1965), quando utilizou o método de Penman para estabelecer as correlações entre a ET_m medida em lisímetro e ET_o. O método de Penman subestimou então, as medidas de ET_o, determinando assim elevados valores de K_c .

5.2.3.5. Relações entre ET_m e ECA não corrigida com K_p

Encontram-se na Tabela 11 os valores de K_{cA} , cuja representação gráfica é mostrada na Figura 15, onde é observado que de 0 a 60 dias após o plantio variaram de aproximadamente 0,10 a 0,22, de 60 a 90 dias de 0,22 a 0,51, de 90 a 120 dias de 0,51 a 0,90, de 120 a 210 dias de 0,90 a 1,24 e de 210 a 517 dias de 1,24 a 0,65, passando por valores tão baixos quanto 0,64, estes resultados são semelhantes aos obtidos por CHANG *et alii* (1965), THOMPSON e BOYCE (1967), THOMPSON (1965), EARLY e GREGÓRIO (1974), LEME *et alii* (1979), ARAGÃO (1977), FAUCONNIER e BASSE-REAU (1975) e JONES (1980).

Os resultados da ECA subestimam os valores de ET_m na fase de pico de área foliar, concordando com os obtidos por Ekern (1971) citado por JONES (1980), que atribui este fato as diferentes relações de balanço de energia entre tanque Classe "A" e da cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 10 - Relações de ET_m e ET_o em função da idade e do comprimento do Pen
colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).

ANO	MÊS	PER.	ET _m mm/ dia	ET _m Acum. mm	ET _o Penman mm	Kc Penman	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1979	DEZ	01-10	0,52	5,20	5,33	0,09	-	-	3
"	"	11-20	0,51	10,30	3,93	0,12	-	-	13
"	"	21-31	0,54	16,30	3,91	0,13	-	-	24
1980	JAN	01-10	0,56	21,90	4,83	0,11	-	-	34
"	"	11-20	0,58	27,70	4,72	0,13	-	-	44
"	"	21-31	0,60	34,30	4,24	0,14	-	-	55
"	FEV	01-10	0,84	42,70	4,67	0,17	-	-	65
"	"	11-20	0,88	51,50	3,87	0,22	-	-	75
"	"	21-28	1,30	61,90	3,56	0,36	-	10	83
"	MAR	01-10	1,52	77,10	4,52	0,33	10	20	93
"	"	11-20	1,71	94,20	3,64	0,46	15	35	103
"	"	21-31	2,62	123,10	4,24	0,61	05	40	114
"	ABR	01-10	1,72	140,30	2,78	0,61	20	60	124
"	"	11-20	1,44	154,70	2,86	0,50	10	70	134
"	"	21-30	2,26	177,30	2,95	0,76	15	85	144
"	MAI	01-10	2,18	199,10	2,12	1,02	25	110	154
"	"	11-20	2,42	223,30	2,13	1,13	10	120	164
"	"	21-31	2,58	251,70	2,37	1,08	8	128	175
"	JUN	01-10	2,31	274,80	1,62	1,42	7	135	185
"	"	11-20	2,44	299,20	1,62	1,50	10	145	195
"	"	21-30	1,77	316,90	1,30	1,36	5	150	205
"	JUL	01-10	2,30	339,90	1,77	1,29	5	155	215
"	"	11-20	2,70	366,90	1,96	1,37	10	165	225
"	"	21-31	3,02	397,20	2,30	1,31	3	168	236
"	AGO	01-10	2,61	423,30	2,86	0,91	2	170	246
"	"	11-20	2,96	452,90	2,76	1,07	5	175	256
"	"	21-31	2,50	480,40	2,71	0,92	5	180	267

Tabela 10 - cont.

ANO	MES	PER.	ETm mm/ dia	ETm Acum. mm	ETo Penman mm	Kc Penman	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1980	SET	01-10	3,73	517,70	3,59	1,03	20	200	277
"	"	11-20	2,15	539,20	2,74	0,78	5	205	287
"	"	21-30	2,99	569,10	3,09	0,96	5	210	297
"	OUT	01-10	3,42	603,30	4,55	0,75	5	215	307
"	"	11-20	3,54	638,70	4,44	0,79	2	217	317
"	"	21-31	4,87	692,30	5,04	0,96	8	225	328
"	NOV	01-10	4,03	732,60	4,70	0,85	2	227	338
"	"	11-20	6,03	792,90	5,40	1,11	8	235	348
"	"	21-30	3,70	829,90	4,96	0,74	15	250	358
"	DEZ	01-10	2,64	856,30	4,32	0,61	15	265	368
"	"	11-20	3,32	889,50	5,13	0,64	5	270	378
"	"	21-31	2,83	913,80	4,34	0,65	5	275	389
1981	JAN	01-10	2,73	914,07	3,78	0,72	10	285	399
"	"	11-20	2,28	936,87	3,39	0,67	15	300	410
"	"	21-31	3,44	974,77	4,45	0,77	8	308	421
"	FEV	01-10	4,45	1019,27	4,69	0,94	6	314	431
"	"	11-20	4,49	1064,17	4,76	0,94	6	320	441
"	"	21-28	3,96	1095,87	4,21	0,94	1	321	449
"	MAR	01-10	2,68	1122,67	3,88	0,69	2	323	459
"	"	11-20	3,24	1155,07	3,52	0,92	2	325	469
"	"	21-31	3,13	1189,57	3,90	0,80	2	327	480
"	ABR	01-10	3,46	1224,17	3,10	1,11	3	330	490
"	"	11-20	2,78	1251,97	3,06	0,90	2	332	500
"	"	21-30	2,85	1280,47	2,85	1,00	2	334	510
"	MAI	01-10	2,81	1308,57	2,24	1,25	1	335	520
"	"	11-20	2,15	1330,07	2,22	0,96	0	335	530
"	"	21-31	0,60	1336,77	1,91	0,31	-	-	13

Figura 14 - Representação gráfica das relações de ETm e ETo em função Pen da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).

Tabela 11 - Relações de ETm e ECA não corrigida em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).

ANO	MÊS	PER.	ETm mm/ dia	ETm Acum. mm	ECA mm/ dia	Kc A	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1979	DEZ	01-10	0,52	5,20	5,72	0,09	-	-	3
"	"	11-20	0,51	10,30	3,06	0,16	-	-	13
"	"	21-31	0,54	16,30	2,55	0,21	-	-	24
1980	JAN	01-10	0,56	21,90	5,21	0,10	-	-	34
"	"	11-20	0,58	27,70	3,99	0,14	-	-	44
"	"	21-31	0,60	34,30	3,87	0,15	-	-	55
"	FEV	01-10	0,84	42,70	5,13	0,16	-	-	65
"	"	11-20	0,88	51,50	3,87	0,22	-	-	75
"	"	21-28	1,30	61,90	2,52	0,51	-	10	83
"	MAR	01-10	1,52	77,10	5,62	0,27	10	20	93
"	"	11-20	1,71	94,20	4,01	0,42	15	35	103
"	"	21-31	2,62	123,10	5,33	0,49	05	40	114
"	ABR	01-10	1,72	140,30	2,69	0,63	20	60	124
"	"	11-20	1,44	154,70	3,12	0,46	10	70	134
"	"	21-30	2,26	177,30	3,35	0,67	15	85	144
"	MAI	01-10	2,18	199,10	2,53	0,86	25	110	154
"	"	11-20	2,42	223,30	2,68	0,90	10	120	164
"	"	21-31	2,58	251,70	2,84	0,90	8	128	175
"	JUN	01-10	2,31	274,80	2,72	0,84	7	135	185
"	"	11-20	2,44	299,20	2,41	1,01	10	145	195
"	"	21-30	1,77	316,90	1,42	1,24	5	150	205
"	JUL	01-10	2,30	339,90	2,49	0,92	5	155	215
"	"	11-20	2,70	366,90	2,65	1,01	10	165	225
"	"	21-31	3,02	397,20	3,53	0,85	3	168	236
"	AGO	01-10	2,61	423,30	2,72	0,95	2	170	246
"	"	11-20	2,96	452,90	3,16	0,93	5	175	256
"	"	21-31	2,50	480,40	3,01	0,83	5	180	267

Tabela 11 - cont.

ANO	MÊS	PER.	ETm mm/ dia	ETm Acum. mm	ECA mm/ dia	Kc A	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1980	SET	01-10	3,73	517,70	4,08	0,91	20	200	277
"	"	11-20	2,15	539,20	2,37	0,90	5	205	287
"	"	21-30	2,99	569,10	4,07	0,73	5	210	297
"	OUT	01-10	3,42	603,30	3,67	0,93	5	215	307
"	"	11-20	3,54	638,70	4,65	0,76	2	217	317
"	"	21-31	4,87	692,30	6,27	0,77	8	225	328
"	NOV	01-10	4,03	732,60	4,07	0,99	2	227	338
"	"	11-20	6,03	792,90	5,82	1,03	8	235	348
"	"	21-30	3,70	829,90	3,71	0,99	15	250	358
"	DEZ	01-10	2,64	856,30	3,40	0,77	15	265	368
"	"	11-20	3,32	889,50	6,02	0,55	5	270	378
"	"	21-31	2,83	913,80	4,39	0,64	5	275	389
1981	JAN	01-10	2,73	914,07	3,70	0,73	10	285	399
"	"	11-20	2,28	936,87	2,42	0,94	15	300	410
"	"	21-31	3,44	974,77	3,99	0,86	8	308	421
"	FEV	01-10	4,45	1019,27	5,28	0,84	6	314	431
"	"	11-20	4,49	1064,17	6,23	0,72	6	320	441
"	"	21-28	3,96	1095,87	6,23	0,63	1	321	449
"	MAR	01-10	2,68	1122,67	4,48	0,59	2	323	459
"	"	11-20	3,24	1155,07	4,26	0,76	2	325	469
"	"	21-31	3,13	1189,57	4,19	0,74	2	327	480
"	ABR	01-10	3,46	1224,17	4,52	0,76	3	330	490
"	"	11-20	2,78	1251,97	4,01	0,69	2	332	500
"	"	21-30	2,85	1280,47	3,22	0,88	2	334	510
"	MAI	01-10	2,81	1308,57	3,32	0,84	1	335	520
"	"	11-20	2,15	1330,07	3,28	0,65	0	335	530
"	"	21-31	0,60	1336,77	4,30	0,13	-	-	13

Figura 15 - Representação gráfica das relações de ETm e ECA não corrigida em função da idade e do comprimento do colmo (E) da cana-de-açúcar (Var. NA56-79).

5.2.4. Relações entre K_c e K_c , K_c e K_c A CA Pen Rad

As relações entre os valores de K_c obtidos pelos diferentes métodos podem ser observadas na Tabela 12 e Figura 16, onde são representadas graficamente as equações de regressão simples relacionando os valores simultâneos de K_c com K_c , K_c e K_c .

Estes resultados sugerem que os valores de K_c , diferem-se apenas em valor absoluto, sendo que qualquer dos métodos para estimativa de ETo pode ser utilizado com o devido conhecimento das suas relações com a E_{Tm} medida por evapotranspirômetros de precisão semelhante ao usado nesta pesquisa. Entretanto, o método do tanque Classe "A" não corrigido nos parece ser o de melhor utilização, posto que revelou como já se expôs, melhor concordância com os resultados obtidos por vários pesquisadores. Além disto, o custo de instalação de um tanque Classe "A", sendo bem menor do que o instrumental requerido para utilização dos outros métodos, também torna economicamente mais viável, a utilização do tanque Classe "A", sem falar nas facilidades operacionais.

Tabela 12 - Valores de Kc_A, Kc_{CA}, Kc_{Pen} e Kc_{Rad} para a cana-de-açúcar (Var. NA56-79) em função da idade e do comprimento do colmo (E).

ANO	MÊS	PÉR.	ETm mm/ dia	Kc A	Kc CA	Kc Pen	Kc Rad	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1979	DEZ	01-10	0,52	0,09	0,12	0,09	0,09	-	-	3
"	"	11-20	0,51	0,16	0,19	0,12	0,15	-	-	13
"	"	21-31	0,54	0,21	0,25	0,13	0,15	-	-	24
1980	JAN	01-10	0,56	0,10	0,14	0,11	0,11	-	-	34
"	"	11-20	0,58	0,14	0,18	0,13	0,11	-	-	44
"	"	21-31	0,60	0,15	0,18	0,14	0,15	-	-	55
"	FEV	01-10	0,84	0,16	0,21	0,17	0,16	-	-	65
"	"	11-20	0,88	0,22	0,26	0,22	0,19	-	-	75
"	"	21-28	1,30	0,51	0,60	0,36	0,38	-	10	83
"	MAR	01-10	1,52	0,27	0,36	0,33	0,25	10	20	93
"	"	11-20	1,71	0,42	0,53	0,46	0,37	15	35	103
"	"	21-31	2,62	0,49	0,65	0,61	0,48	05	40	114
"	ABR	01-10	1,72	0,63	0,80	0,61	0,54	20	60	124
"	"	11-20	1,44	0,46	0,54	0,50	0,46	10	70	134
"	"	21-30	2,26	0,67	0,90	0,76	0,49	15	85	144
"	MAI	01-10	2,18	0,86	1,15	1,02	0,75	25	110	154
"	"	11-20	2,42	0,90	1,13	1,13	0,74	10	120	164
"	"	21-31	2,58	0,90	1,18	1,08	0,71	8	128	175
"	JUN	01-10	2,31	0,84	1,12	1,42	0,85	7	135	185
"	"	11-20	2,44	1,01	1,35	1,50	0,90	10	145	195
"	"	21-30	1,77	1,24	1,47	1,36	0,96	5	150	205
"	JUL	01-10	2,30	0,92	1,20	1,29	0,81	5	155	215
"	"	11-20	2,70	1,01	1,36	1,37	0,92	10	165	225
"	"	21-31	3,02	0,85	1,14	1,31	0,98	3	168	236
"	AGO	01-10	2,61	0,95	1,27	0,91	0,76	2	170	246
"	"	11-20	2,96	0,93	1,24	1,07	0,78	5	175	256
"	"	21-31	2,50	0,83	1,11	0,92	0,79	5	180	267

Tabela 12 - cont.

ANO	MÊS	PER.	ETm mm/ dia	Kc A	Kc CA	Kc Pen	Kc Rad	ΔE cm	E Acum. cm	IDADE dias
1980	SET	01-10	3,73	0,91	1,21	1,03	0,81	20	200	277
"	"	11-20	2,15	0,90	1,13	0,78	0,79	5	205	287
"	"	21-30	2,99	0,73	0,98	0,96	0,75	5	210	297
"	OUT	01-10	3,42	0,93	1,24	0,75	0,62	5	215	307
"	"	11-20	3,54	0,76	1,01	0,79	0,67	2	217	317
"	"	21-31	4,87	0,77	1,03	0,96	0,94	8	225	328
"	NOV	01-10	4,03	0,99	1,41	0,85	0,80	2	227	338
"	"	11-20	6,03	1,03	1,48	1,11	0,95	8	235	348
"	"	21-30	3,70	0,99	1,33	0,74	0,74	15	250	358
"	DEZ	01-10	2,64	0,77	1,03	0,61	0,53	15	265	368
"	"	11-20	3,32	0,55	0,78	0,64	0,59	5	270	378
"	"	21-31	2,83	0,64	0,76	0,65	0,59	5	275	389
1981	JAN	01-10	2,73	0,73	0,86	0,72	0,72	10	285	399
"	"	11-20	2,28	0,94	1,11	0,67	0,67	15	300	410
"	"	21-31	3,44	0,86	1,01	0,77	0,68	8	308	421
"	FEV	01-10	4,45	0,84	1,12	0,94	0,80	6	314	431
"	"	11-20	4,49	0,72	0,96	0,94	0,74	6	320	441
"	"	21-28	3,96	0,63	0,84	0,94	0,77	1	321	449
"	MAR	01-10	2,68	0,59	0,77	0,69	0,59	2	323	459
"	"	11-20	3,24	0,76	1,00	0,92	0,78	2	325	469
"	"	21-31	3,13	0,74	0,99	0,80	0,65	2	327	480
"	ABR	01-10	3,46	0,76	1,02	1,11	0,73	3	330	490
"	"	11-20	2,78	0,69	0,92	0,90	0,67	2	332	500
"	"	21-30	2,85	0,88	1,18	1,00	0,91	2	334	510
"	MAI	01-10	2,81	0,84	1,12	1,25	0,77	1	335	520
"	"	11-20	2,15	0,65	0,87	0,96	0,72	0	335	530
"	"	21-31	0,60	0,13	0,18	0,31	0,19	-	-	13
MÉDIA				0,69	0,91	0,79	0,63

Figura 16 - Relações de K_c com K_c , K_c e com K_c
A CA Pen Rad

5.2.4.1. Análises estatísticas

. Método de Penman

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Reg. Linear	1	3,5288	3,5288	178,22**
Resíduo	52	1,0316	0,0198	
TOTAL	53			

$$a = 0,1477$$

$$b = 0,6842$$

$$r = 0,88$$

$$\text{Equação de regressão} \quad y = 0,1477 + 0,6842 x$$

$$\text{onde: } y = Kc_A$$

$$x = Kc_{\text{Pen}}$$

. Método do Tanque Classe "A"

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Reg. Linear	1	4,4874	4,4874	3205,29**
Resíduo	52	0,0730	0,0014	
TOTAL	53			

$$a = 0,0181$$

$$b = 0,7436$$

$$r = 0,99$$

$$\text{Equação de regressão} \quad y = 0,0181 + 0,7436 x$$

$$\text{onde: } y = Kc_A$$

$$x = Kc_{\text{CA}}$$

Método da Radiação

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Reg. Linear	1	3,9908	3,9908	362,80 ^{**}
Resíduo	52	0,5696	0,0110	
TOTAL	53			

$$a = 0,0297$$

$$b = 1,0556$$

$$r = 0,93$$

Equação de regressão — $y = 0,0297 + 1,0556 x$

onde: $y = Kc_A$

$x = Kc_{Rad}$

6. CONCLUSÕES

6.1. Relativas ao evapotranspirôgrafo

Após 18 meses de operação com o evapotranspirômetro proposto, foi nos permitido concluir que:

- . O equipamento é de fácil operação e manutenção.
- . O equipamento não constrange o desenvolvimento das plantas, não interferindo portanto nos valores medidos da demanda climática ideal.
- . O equipamento permite medições horárias da demanda climática ideal, com registro gráfico, e bom nível de precisão.
- . O equipamento não sofre descontinuidade de medida nos períodos de precipitação pluviométrica.

6.2. Relativas as medidas do valor de ET_m

A série de valores de ET_m obtidos ao longo do ciclo nos per

mite concluir que:

. Pelos dados obtidos, determinou que para a variedade considerada (NA56-79) foram utilizados cerca de 8,5 mm de H_2O para produzir 1 tonelada de cana/ha.

. A demanda climática ideal de água para a variedade considerada, variou de cerca de 0,5 mm/dia na época de emergência, até 6,03mm/dia na fase de pico, decaindo para 2,8 mm/dia no início da fase de maturação.

. No curso diuturno a máxima evapotranspiração ocorreu entre 12 e 16 horas, tanto para dias claros como para dias nublados, ocorrendo uma perda mínima noturna.

6.3. Relativas aos valores de Kc determinados

A série de valores de Kc obtidos durante o ciclo nos permite concluir que:

. Os valores de Kc obtidos pelos diferentes métodos de estimativa de ETo propostos, não diferem estatisticamente entre si.

. Os valores de Kc obtidos apenas em relação a evaporação do tanque Classe "A", sem o fator de correção Kp , foram os que mais concordaram com aqueles relatados na literatura revisada.

7. SUMMARY

In this research, it was studied the performance of a evapotranspirograph at constant phreatic level. The equipment under study allowed the daily record of the evapotranspiration (climatic demand) with a good accuracy level, being its operation fairly easy. With this equipment, it was study the climatic demand of water along the cycle of plant cane (18 months), variety NA56-79, under the climatic conditions of Araras-SP (IAA/PLANALSUCAR Experiment Station). Concomitantly, with the evapotranspiration data achieved, it was determined the values of the coefficient of culture (K_c) along the cycle, in relation to the different methods of reference evapotranspiration estimation (ET_o), of conventional utilization.

8. LITERATURA CITADA

ARAGÃO, O.P., 1977. Evapotranspiração da cana-de-açúcar no Sub-Médio São Francisco. In: III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza, DNOCS-ABID, p. 85-91.

ASSIS, F.N., 1978. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, ESALQ/USP, 69 p. (Tese de Mestrado).

BAVEL, C.H.M. van., 1961. Lysimetric measurements of evapotranspiration rates in the Eastern United States. Proc. Soil Sci. Soc.Am. Madison, 25:138-141.

CARTER, C.E. e J.M. FLOYD, 1975. Inhibition of sugarcane yields by high water table during dormant season 1. Proc. ASSCT, 4(NS):14-18.

CHANG, J.H.; R.B. CAMPBELL; H.W. BRODIE e L.O. BAVER, 1965. Evapotranspiration research of the HSPA Experiment Station. In: XII Congr. Int. Soc. Sug. Cane Tech., Puerto Rico, Elsevier, p. 10-24.

CLEMENTS, H.G.; G. SHIGEURA e E.K. AKAMINE, 1952. Factors affecting the growth of sugar cane. Univ. Hawaii. Tech. Bull., 18:63-70.

COX, D.C.; H.W. BRODIE; R.B. CAMPBELL; J.H. CHANG e M. ISOBE, 1960. Current experiments on the evapotranspiration of sugar cane. Hawaiian Sug. Tech. Repr., p. 37-44.

DEMÉTRIO, V.A., 1978. Efeito da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba, ESALQ/USP, 98 p. (Tese de Doutorado).

DENMEAD, O.T. e R.T. SHAW, 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions Agron. J., Madison, 54:385-390.

DILLEWIJN, C. van., 1952. Growth. In: _____. Botany of sugar cane. Waltham, Chronica Botanica, p. 107.

DOORENBOS, J. e W.O. PRUITT, 1975. Crop and water requirements. Roma, FAO, 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOORENBOS, J. e A.H. KASSAM, 1979. Yield response to water. Roma, FAO, 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

- EARLY, A.C. e R.P. GREGÓRIO, 1974. Consumptive use of water by sugar cane in the Philippines. In: XV Congr. Int. Soc. Sug. Cane Tech., Durban, Hayne & Gibson, p. 678-688
- ENCARNAÇÃO, C.R.F., 1980. Estudo da demanda de água do feijoeiro. Piracicaba, ESALQ/USP, 62 p. (Tese de Mestrado).
- FAUCONNIER, R. e D. BASSEREAU, 1975. La Caña de Azúcar. Barcelona, Editorial Blume. 433 p.
- FOGLIATA, F.A., 1974. Sugarcane irrigation in Tucumán. In: XV Congr. Int. Soc. Sug. Cane Tech., Durban, Hayne & Gibson, p. 665-667.
- FRANÇA, G.V., 1973. Anteprojeto da Estação Central Sul do IAA/PLANALSUCAR. São Paulo, SEITEC. 109 p.
- FRITSCHEN, I.J. e R.H. SHAW, 1961. Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. Agron. J., Madison, 53:149-150.
- GAVANDE, S.A. e S.A. TAYLOR, 1967. Influence of soil water potential and atmospheric evaporative demand on transpiration and the energy of water in plants. Agron. J., Madison, 59:4-7.
- IAA/PLANALSUCAR, 1978. Relatório Anual 1977, Estações Experimentais, Piracicaba. 100 p.

- JONES, C.A., 1980. A review of evapotranspiration studies in irrigated sugarcane in Hawaii. Hawaiian Planter's Record. Aíea, 59:195-214.
- KRUTMAN, S., 1962. Do crescimento da cana-de-açúcar em condições naturais e sob irrigação. Bol.Téc.Inst.Agron.Nord. Recife, 17:04-29.
- LANE, J.H. e L. EYNON, 1934. Determination of reducing sugar by Fehling's solution with methylene blue indicator. London, Norman Rodge. 8 p.
- LEME, E.J.A.; R. SCARDUA e U. ROSENFELD, 1979. Consumo de água da cana-de-açúcar irrigada por sulcos de infiltração em São Paulo. In: XVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Manaus, 32 p.
- LEMON, E.R.; A.H. GLASER e L.E. SATTERWHITE, 1957. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. Proc. Soil. Sci. Soc. Am., Madison, 21:464-468.
- MEADE, G.P. e J.C.P. CHEN, 1977. Cane sugar Handbook, a manual for cane sugar manufactures and their chemists. 10. ed. New York, Wiley Interscience, 947 p.
- PENMAN, H.L., 1956. Evaporation; an introductory survey. Neth. J. Agric. Sci. 4:09-29.
- RICHARDS, L.A., 1947. Pressure-membrane apparatus, construction and use. Agr. Eng. St. Joseph, 28:451-454.

- ROBINSON, F.E., 1963. Soil moisture tension, sugarcane stalk elongation and irrigation interval control. Agron. J. Madison, 55:481-483.
- RUGAI, S. e J. ORLANDO Fº, 1973. Cana-de-açúcar nos solos do Estado de São Paulo. Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro, 82:17-23.
- SCALOPI, J.E., 1972. Métodos climatológicos para avaliar a evapotranspiração. Piracicaba, ESALQ/USP, 80 p. (Tese de Mestrado).
- SOUSA, J.A.G.C., 1976. Efeito da tensão da água do solo na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba, ESALQ/USP, 163 p. (Tese de Doutorado).
- SOUSA, J.A.G.C. e R. SCAROUA, 1977. Furrow irrigation of sugarcane in Araras, São Paulo. In: XVI Congr. Int. Soc. Sug. Cane Tech., São Paulo, In-Press, p. 1091-1111.
- TANNER, C.B., 1968. Evaporation of water from plants and soil. In: Kozlowski, T.T.ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, v.1., p. 73-106.
- THOMPSON, G.O., 1965. The relationship of potential evapotranspiration of sugarcane to environment factors. In: XII Congr. Int. Soc.Sug.Cane Tech., Puerto Rico, Elsevier, p. 03-09.

THOMPSON, G.O., 1976. Water use by sugarcane. The South African Sugar Journal. Durban, 60:593-600, 627-635.

THOMPSON, G.O. e J.P. BOYCE, 1967. Daily measurements of potential evapotranspiration from fully canopied sugarcane. Agr. Meteorol. Amsterdam, 4:267-279.

VILLA NOVA, N.A., 1967. A estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 66 p. (Tese de Doutorado).

VILLEGAS, J.A. e E. TORRES BRUCHMANN, 1977. Evapotranspiracion. Tucuman, UNT/Facultad de Agronomia y Zootecnia, 40 p. (Serie Didactica, 45).

9. APENDICE

Tabela 13 - Valores de Δ/γ entre 1 e 40°C.

t	Δ/γ	t	Δ/γ
1	0,6	21	2,2
2	0,8	22	2,6
3	0,8	23	2,6
4	0,8	24	2,6
5	1,0	25	2,8
6	1,0	26	3,0
7	1,2	27	3,0
8	1,2	28	3,2
9	1,2	29	3,6
10	1,2	30	3,8
11	1,4	31	4,0
12	1,4	32	4,2
13	1,6	33	4,2
14	1,6	34	4,4
15	1,6	35	4,6
16	1,8	36	5,2
17	1,8	37	5,2
18	2,0	38	5,4
19	2,0	39	5,6
20	2,0	40	5,8

Transcrito de *VILLA NOVA (1967)* "A estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo" - (Tese de Doutorado) - ESALQ/USP.

Tabela 14 - Radiação solar recebida no limite mais externo da atmosfera no 15º dia de cada mês, entre latitudes 10°N - Equador e 40°S (Valores de Q_0 , em cal/cm².dia).

Latitude	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10° N	761	814	873	885	873	867	873	879	867	826	767	732
8° N	779	832	879	879	861	856	861	873	873	838	785	749
6° N	797	844	879	873	850	838	850	861	873	850	802	773
2° N	832	867	885	861	826	802	814	844	873	867	838	814
Equador	850	879	885	856	808	785	797	832	867	873	856	832
2° S	861	885	885	850	791	767	779	820	867	879	873	850
4° S	879	897	885	838	779	749	755	808	861	885	885	873
6° S	897	903	885	826	755	732	743	797	861	897	897	890
8° S	909	909	879	814	738	708	720	779	856	897	909	903
10° S	920	920	873	802	720	684	702	767	850	897	915	920
12° S	938	920	867	791	696	661	684	755	838	897	926	932
14° S	950	926	861	773	679	637	661	738	838	903	938	944
16° S	956	932	856	755	661	614	637	720	826	903	944	956
18° S	968	932	850	743	637	590	620	702	814	903	956	974
20° S	979	932	838	720	614	566	596	684	802	897	962	985
22° S	991	932	826	702	590	543	572	661	791	897	968	991
24° S	991	932	814	684	566	519	549	643	779	897	968	1003
26° S	997	926	802	661	543	496	519	625	761	891	974	1015
28° S	1003	920	791	643	519	460	496	602	743	885	979	1021
30° S	1003	920	779	620	496	437	472	578	732	873	979	1027
32° S	1009	909	767	596	472	407	448	555	714	867	979	1033
34° S	1009	903	743	578	448	378	313	531	696	861	979	1038
36° S	1009	897	732	555	419	354	389	507	673	850	979	1038
38° S	1009	885	714	531	389	330	366	484	649	838	974	1044
40° S	1003	879	690	507	360	295	336	460	631	826	968	1044

Dados interpolados de Shaw, Napier. Manual of Meteorology, Cambridge, University Press.

Tabela 15 - Valores do fator de ajuste (W) para estimativa de ETo^(*) em relação à temperatura e altitude.

Temperatura (°C)	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Altitude (m)																				
0	0.43	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.78	.80	.82	.84	.84	.85
500	.45	.48	.51	.54	.57	.60	.62	.65	.67	.70	.72	.74	.76	.78	.79	.81	.82	.84	.85	.86
1.000	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.80	.82	.83	.85	.86	.87
2.000	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88
3.000	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.88	.88	.89

Transcrito de "Yield Response to Water, FAO.(1979).

Tabela 16 - Coeficiente angular de ajuste para estimativa de ETo em relação à velocidade do vento (u) e umidade relativa (UR).

Transcrito de "Yield Response to Water", FAO (1979).

Tabela 17 - Valores do coeficiente de conversão do Tanque Classe "A" (Kp) para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP).

		Exposição A: Tanque circundado por grama			Exposição B Tanque circundado por solo nu			
UR % (média)		Baixa < 40%	Média 40-70%	Alta > 70%		Baixa < 40%	Média 40-70%	Alta > 70%
Vento (Km/dia)	Posição do Tanque d(m)*				Posição do Tanque d(m)*			
Leve < 175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 700	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Transcrito de "Crop Water Requirements", FAO (1975).

NOTA: Para extensas áreas de solo nu, reduzir os valores de Kp de 20% em condições de alta temperatura e vento forte, e de 10 a 5%, em condições de moderada temperatura, vento e umidade.

* Por d entende-se, como a menor distância (expressa em metros), do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

Tabela 18 - Duração máxima da insolação diária em horas, nos vários meses do ano e latitudes de 10 graus norte e 40 graus sul. Os valores correspondem ao 15º dia de cada mês.

Latitude	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10° N	11,6	11,8	12,1	12,4	12,6	12,7	12,6	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5
8° N	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,5	12,4	12,2	12,0	11,8	11,6
6° N	11,8	11,9	12,1	12,3	12,4	12,5	12,4	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7
4° N	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,3	12,2	12,0	12,0	11,9	11,9
2° N	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0
Equador	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
2° S	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
4° S	12,3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4
6° S	12,4	12,3	12,1	12,0	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,5
8° S	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6
10° S	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
12° S	12,7	12,5	12,2	11,8	11,6	11,4	11,5	11,7	12,0	12,4	12,7	12,8
14° S	12,8	12,6	12,2	11,8	11,5	11,3	11,4	11,6	12,0	12,4	12,8	12,9
16° S	13,0	12,7	12,2	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	12,0	12,4	12,9	13,1
18° S	13,1	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
20° S	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
22° S	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,3	12,0	12,6	13,2	13,5
24° S	13,5	12,9	12,3	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,6	13,3	13,6
26° S	13,6	12,9	12,3	11,5	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,7	13,4	13,8
28° S	13,7	13,0	12,3	11,4	10,7	10,4	10,6	11,1	11,9	12,8	13,5	13,9
30° S	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
32° S	14,0	13,2	12,3	11,3	10,5	10,0	10,3	10,9	11,9	12,9	13,7	14,2
34° S	14,2	13,3	12,3	11,3	10,3	9,8	10,1	10,9	11,9	12,9	13,9	14,4
36° S	14,3	13,4	12,4	11,2	10,2	9,7	10,0	10,7	11,9	13,0	14,0	14,6
38° S	14,5	13,5	12,4	11,1	10,1	9,5	9,8	10,6	11,8	13,1	14,2	14,8
40° S	14,7	13,6	12,4	11,1	9,9	9,3	9,6	10,5	11,8	13,1	14,3	15,0

Transcrito de CAMARGO (1966) "Contribuição para determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo" - IAC, Campinas.

Tabela 19 - Dados climáticos médios obtidos durante a pesquisa.

ANO	MÊS	PERÍODO	$\bar{T}^{\circ}\text{C}$	$\bar{V}$ (2m) m/s	$\bar{n}$ horas	UR	NºDia Chuva	P mm
1979	DEZ	01 - 10	24,6	1,71	8,5	0,61	3	49,6
"	"	11 - 10	23,5	1,80	4,0	0,74	6	65,8
"	"	21 - 31	24,9	1,70	4,2	0,81	7	57,6
1980	JAN	01 - 10	22,2	1,70	7,6	0,61	4	23,4
"	"	11 - 20	23,0	1,96	7,0	0,70	7	93,6
"	"	21 - 31	23,7	1,48	5,5	0,72	7	110,2
"	FEV	01 - 10	24,6	1,65	7,3	0,66	3	46,6
"	"	11 - 20	22,5	1,60	5,2	0,73	8	93,8
"	"	21 - 28	22,5	1,23	4,4	0,75	6	106,4
"	MAR	01 - 10	24,5	1,03	10,4	0,58	3	42,8
"	"	11 - 20	22,2	0,98	7,4	0,70	5	81,0
"	"	21 - 31	24,1	0,89	9,2	0,56	0	0,0
"	ABR	01 - 10	21,5	1,12	5,4	0,70	4	108,8
"	"	11 - 20	22,1	1,06	6,5	0,74	4	41,6
"	"	21 - 30	20,4	0,63	9,7	0,63	0	0,0
"	MAI	01 - 10	18,8	0,90	6,8	0,63	2	4,6
"	"	11 - 20	20,6	0,57	7,6	0,69	2	18,4
"	"	21 - 31	21,4	0,80	8,8	0,68	0	0,0
"	JUN	01 - 10	16,6	0,76	7,3	0,67	2	18,8
"	"	11 - 20	15,4	0,80	8,0	0,60	1	3,0
"	"	21 - 30	13,0	1,10	6,2	0,78	3	107,0
"	JUL	01 - 10	15,9	1,03	7,1	0,68	0	0,0
"	"	11 - 20	18,2	0,84	7,1	0,62	0	0,0
"	"	21 - 31	19,1	1,18	7,5	0,54	0	0,0
"	AGO	01 - 10	18,3	1,11	7,3	0,59	0	0,0
"	"	11 - 20	20,4	0,92	7,9	0,60	1	1,4
"	"	21 - 31	21,7	1,23	5,8	0,67	3	15,8

Tabela 19 - cont.

ANO	MÊS	PERÍODO	$\bar{T}^{\circ}\text{C}$	$\bar{V}$ (2m) m/s	n horas	UR	NºDia Chuva	P mm
1980	SET	01 - 10	21,3	1,17	7,4	0,53	1	20,0
"	"	11 - 20	19,0	1,29	3,4	0,69	6	54,4
"	"	21 - 30	16,3	1,33	7,4	0,60	3	29,2
"	OUT	01 - 10	20,8	1,57	9,2	0,56	3	35,6
"	"	11 - 20	21,5	1,54	8,5	0,60	2	58,0
"	"	21 - 31	24,5	2,09	7,5	0,56	2	4,6
"	NOV	01 - 10	20,7	2,39	7,2	0,63	4	89,8
"	"	11 - 20	20,7	2,37	10,4	0,56	2	25,4
"	"	21 - 30	23,6	2,03	8,3	0,71	6	97,8
"	DEZ	01 - 10	21,7	1,86	7,0	0,78	5	171,0
"	"	11 - 20	22,5	2,21	8,1	0,62	4	42,6
"	"	21 - 31	22,5	1,67	6,0	0,70	3	25,2
1981	JAN	01 - 10	20,7	1,44	5,2	0,74	6	79,8
"	"	11 - 20	21,4	1,44	4,1	0,83	7	156,4
"	"	21 - 31	23,2	1,05	7,1	0,70	5	49,4
"	FEV	01 - 10	23,2	1,45	8,4	0,66	5	35,2
"	"	11 - 20	21,9	1,27	10,1	0,65	2	19,2
"	"	21 - 28	22,5	0,90	7,4	0,64	2	24,2
"	MAR	01 - 10	24,3	1,28	6,5	0,68	4	33,8
"	"	11 - 20	20,8	1,38	6,5	0,67	3	10,0
"	"	21 - 31	21,7	1,42	8,2	0,66	3	14,2
"	ABR	01 - 10	20,2	1,19	10,0	0,65	1	5,0
"	"	11 - 20	19,3	1,35	8,9	0,63	1	24,0
"	"	21 - 31	19,9	1,27	5,8	0,63	3	13,4
"	MAI	01 - 10	19,4	0,88	9,5	0,66	1	26,0
"	"	11 - 20	19,9	0,99	7,2	0,68	0	0,0
"	"	21 - 31	16,9	0,78	8,2	0,66	1	3,8

Tabela 20 - Dados climáticos obtidos em dias claros.

DATA	P mm	$\bar{T}$ °C	ECA	n horas	$\overline{UR}$ %	$\overline{V}(2m)$ (km/h)			
						21-09	09-15	15-21	$\overline{M}$
08/12/79	0	25,9	6,60	11,00	51,1	5,09	5,40	4,19	4,90
07/03/80	0	25,2	4,94	11,50	54,2	1,71	5,15	1,41	2,75
05/05/80	0	15,1	1,97	10,00	57,0	0,68	4,93	0,70	2,10
25/09/80	0	16,1	5,00	10,50	56,2	6,50	7,06	6,11	6,55
19/12/80	0	23,8	8,86	12,00	56,0	5,12	15,17	10,90	10,40
15/05/81	0	20,1	2,16	8,00	60,0	0,39	5,90	5,50	3,93

Tabela 21 - Dados climáticos obtidos em dias nublados.

DATA	P mm	$\bar{T}$ °C	ECA mm	n horas	$\overline{UR}$ %	$\overline{V}(2m)$ (km/h)			
						21-09	09-15	15-21	$\overline{M}$
17/12/79	0	21,4	4,50	2,00	65,4	7,55	4,70	9,70	7,32
16/03/80	0	23,5	2,96	4,50	73,8	1,05	2,50	9,65	4,40
03/05/80	0	19,0	0,90	0	80,5	3,00	4,73	2,85	3,52
15/09/80	0	21,2	2,94	2,00	63,8	3,13	4,71	5,11	4,31
27/12/80	0	23,0	2,48	2,00	72,6	2,45	6,37	5,02	4,61
17/05/81	0	20,5	2,54	4,00	68,0	0,62	7,70	4,70	4,34