EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DO
ALGODOEIRO (*G. hirsutum* L.) SUBMETIDO A DIFERENTES
PROFUNDIDADES DO LENÇOL FREÁTICO

JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA
Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. 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 Agronomia, área de
concentração: Irrigação e drena
gem

Piracicaba
Estado de São Paulo - Brasil
Junho - 1992

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

S731e Souza, Jorge Luiz Moretti de
Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoei
ro (G. hirsutum L.) submetido a diferentes profundidades
do lençol freático. Piracicaba, 1992.
70p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Algodão - Coeficiente de cultura 2. Algodão - Eva
potranspiração 3. Lençol freático● I. Escola Superior de
Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.51

ii.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DO
ALGODOEIRO (*G. hirsutum* L.) SUBMETIDO A DIFERENTES
PROFUNDIDADES DO LENÇOL FREÁTICO

JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

Aprovada em: 01/06/1992

Comissão julgadora:

Prof. Dr. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA	ESALQ/USP
Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL	ESALQ/USP
Prof. Dr. FRANCISCO NETO DE ASSIS	FAEM/UFPEL

Prof. Dr. NILSON AUGUSTO VILLA
NOVA

Orientador

À minha mãe,
irmãos e amigos
Dedico

AGRADECIMENTOS

- ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova, pela orientação, amizade e ensinamentos recebidos;
- aos professores do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pelo incentivo, apoio e ensinamentos que contribuíram para minha formação;
- aos professores Pedro Castro Neto e Antônio Carlos Fraga, da Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, pela amizade, colaboração e orientação na coleta dos dados experimentais;
- aos amigos Carlos Antonio Ignácio e Flávio Vasconcelos Godinho, pelo companheirismo e inestimável ajuda na condução do experimento de campo;
- à amiga Tânia Marta Carvalho dos Santos, pela companhia e inestimável ajuda nos passos decisivos deste trabalho;
- ao amigo Peri Francisco de Assis Shiquida pelo auxílio na correção do texto;
- a todos os colegas de curso, pelo incentivo e cooperação;
- à bibliotecária Eliana M. G. Sabino, pelo auxílio na revisão bibliográfica;
- ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado;
- ao Departamento de Biologia da Escola Superior de Agricultura de Lavras - DBI/ESAL, pela oportunidade concedida para a realização do experimento de campo;
- à Coordenadoria do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.
- a todos aqueles que direta ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho pudesse ser realizado.

SUMARIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Considerações gerais	3
2.2. Medida da evapotranspiração	6
2.3. Estimativa da evapotranspiração	8
2.4. Operação do tanque classe A	11
2.5. Consumo de água pela cultura do algodoeiro	12
2.6. Coeficiente de cultura (Kc)	14
3. MATERIAIS E METODOS	17
3.1. Área experimental	17
3.2. Características da área experimental	17
3.2.1. Dimensões da área experimental	17
3.2.2. Clima	19
3.2.3. Solo	19
3.2.3.1. Características físicas e químicas do solo	19
3.3. Lisímetros de lençol freático constante .	20
3.4. Instalação do experimento	21

3.4.1. Cultura	21
3.4.2. Semeadura	22
3.4.2.1. Sulcamento	22
3.4.2.2. Distribuição das sementes e emergência das plantulas	22
3.4.3. Adubação	22
3.4.4. Operação dos lisímetros	23
3.4.5. Instalação dos tanques de evaporação	23
3.5. Condução do experimento	23
3.5.1. Leitura dos lisímetros, tanques classe A e pluviômetro	23
3.5.2. Dados meteorológicos	24
3.5.2.1. Medida da ETo pelo evapo- transpirômetro	25
3.5.3. Controle das plantas daninhas	25
3.5.4. Desbaste	25
3.5.5. Adubação em cobertura	26
3.5.6. Irrigações complementares	26
3.5.7. Colheita	26
3.5.8. Características agronômicas de campo	27
3.5.8.1. Altura das plantas	27
3.5.8.2. Número de capulhos por planta	27
3.5.8.3. Determinações fenológicas ...	27
3.6. Medidas da evapotranspiração	28
3.7. Estimativa da evapotranspiração	28
3.7.1. Método do Tanque classe A	28

	Página
3.7.2. Método de Thornthwaite	29
3.7.3. Método de Penman	30
3.8. Determinação dos coeficientes de cultivo (Kc)	33
3.9. Análise dos dados	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Evapotranspiração de referência (ET _o)	35
4.2. Operação e desempenho dos lisímetros de lençol freático constante	40
4.3. Características agronômicas	41
4.4. Consumo de água pela cultura do algodoeiro	44
4.4.1. Análise da evapotranspiração máxima (ET _m)	45
4.5. Coeficiente de cultura (Kc)	48
4.6. Evaporação do Tanque classe A	52
5. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE	64

LISTAS DE FIGURAS

Figura	Página
1. "Croquis" da área experimental	18
2. "Croquis" do lisímetro de lençol freático constante	21
3. "Croquis" do evapotranspirômetro tipo Thornthwaite-modificado	25
4. Valores médios decendiais da E_{To} , medidos no evapotranspirômetro (E_{ToEt}) e estimados pelos métodos de Penman (E_{ToPe}), Thornthwaite (E_{ToTw}) e Tanque classe A (E_{ToA2}), agrupados conforme o procedimento 1	37
5. Valores médios decendiais da E_{To} , medidos no evapotranspirômetro (E_{ToEt}) e estimados pelos métodos de Penman (E_{ToPe}), Thornthwaite (E_{ToTw}) e Tanque classe A (E_{ToA2}), agrupados conforme o procedimento 2	37
6. Valores médios decendiais da evapotranspiração máxima (E_{Tm}), medidos em lisímetros com lençol freático à 0,25; 0,50 e 0,75m	46
7. Coeficientes de cultura (K_c), determinados a partir da relação entre os valores médios decendiais da evapotranspiração máxima (E_{Tm75}) e referência (E_{ToEt} , E_{ToPe} , E_{ToTw} , E_{ToA2})	49
8. Valores médios, em pântadas, da evaporação dos tanques classe A instalados sobre a unidade gramada, com proteção (A3) e sem proteção (A2) da tela de arame, e na estação agrometeorológica (A1).....	53
9. Diagrama de dispersão entre os valores de evaporação, em pântadas, obtidos pelos tanques classe A instalados sobre a unidade gramada, sem proteção da tela de arame (A2) e na estação agrometeorológica (A1).....	55

Figura	Página
10. Diagrama de dispersão entre os valores de evaporação, em pântadas, obtidos pelos tanques classe A instalados sobre a unidade gramada, com proteção (A3) e sem a proteção (A2) da tela de arame	56
11. Diagrama de dispersão entre os valores de evaporação, em pântadas, obtidos pelos tanques classe A instalados sobre a unidade gramada, com proteção da tela de arame (A3) e na estação agrometeorológica ...	56

LISTAS DE TABELAS

Tabela	Página
1. Métodos mais usuais de medida e estimativa da evapotranspiração	6
2. Características físicas do solo	20
3. Características químicas do solo	20
4. Valores médios decendiais da ETo, em mm/dia, medidos e estimados durante o experimento, agrupados conforme os procedimentos 1 e 2 ..	36
5. Análise de regressão entre os valores médios decendiais da ETo, medida (y) e estimada (x), considerando todos os dias do período experimental (procedimento 1)	38
6. Análise de regressão entre os valores médios decendiais da ETo, medida (y) e estimada (x), considerando somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas no experimento (procedimento 2)	39
7. Produtividade do algodoeiro, em Kg/ha, nos lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75 metros de profundidade e na bordadura	42
8. Altura média das plantas, em metros, ao longo do ciclo fenológico da cultura, nos lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75 metros de profundidade e na bordadura .	42
9. Número médio de capulhos, por planta, nos lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75 metros de profundidade e para a bordadura	42
10. Ciclo fenológico da cultura do algodoeiro nos lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75m de profundidade e para a bordadura, dado em dias após a emergência	43

Tabela	Página
11. Valores médios decendiais da ETm, em mm/dia, para os lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75m de profundidade	46
12. Coeficientes de Cultura (Kc) determinados a partir da relação entre os valores médios decendiais da ETm75 e da ETo	49
13. Análise de regressão entre os valores decendiais dos coeficientes de cultura (Kc) ...	50
14. Coeficiente de cultura (Kc) para as fases de desenvolvimento da cultura	51
15. Valores de evaporação dos tanques A1, A2 e A3 agrupados em pântadas	52
16. Análise de regressão entre os valores da evaporação dos tanques A1, A2 e A3 agrupados em pântadas	54

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DO
ALGODOEIRO (*G. hirsutum* L.) SUBMETIDO A DIFERENTES
PROFUNDIDADES DO LENÇOL FREÁTICO

Autor: JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

Orientador: Prof. Dr. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo: avaliar para a região de Lavras - MG a precisão de 3 métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), em relação a medida no evapotranspirômetro; estabelecer uma equação de ajuste entre as leituras de 3 tanques classe A; determinar o consumo de água da cultura do algodoeiro (*G. hirsutum* L.), var. IAC 20, submetida por intermédio de lisímetros a diferentes profundidades do lençol freático.

Na avaliação da ET_o o método de Thornthwaite foi o que apresentou os menores desvios médios, superestimando a ET_o medida em 6,0% e proporcionou um alto coeficiente de correlação (0,9539). Os métodos de Penman (0,9513) e Tanque classe A (0,8726), mesmo superestimando em média a ET_o medida em 35,6 e 37,4%

apresentaram altos coeficientes de correlação também.

O consumo total de água verificado no ciclo da cultura para os lisímetros com lençol freático à 0,25; 0,50 e 0,75m foram da ordem de 682, 525 e 492mm, respectivamente. As plantas submetidas a um lençol freático de 0,75m foram as que apresentaram melhores condições de desenvolvimento. A partir dos valores de evapotranspiração medidos para esta profundidade (ET_{m75}), determinou-se os coeficientes de cultura (K_c), em relação a ET_o medida no evapotranspirômetro (ET_o/ET) e estimada pelos métodos de Penman (ET_o/Pe), Tanque classe A ($ET_o/A2$) e Thornthwaite (ET_o/Tw).

As correlações entre os valores de K_c determinados a partir dos valores medidos e estimados da ET_o , mostraram-se estreitas e apresentaram coeficientes de correlação da ordem de: 0,9383 ($K_{cEt} \times K_{cPe}$); 0,9483 ($K_{cEt} \times K_{cTw}$); e 0,9163 ($K_{cEt} \times K_{cA2}$).

EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENTS OF THE COTTON
(*G. hirsutum* L.) UNDER DIFFERENTS WATER TABLE LEVELS

Author: JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

Adviser: Prof. Dr. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA

SUMMARY

This research objective was: to evaluate for Lavras - MG region the precision of 3 methods to estimate the reference crop evapotranspiration (ET_o), compared with the evapotranspirometer measurament; to get an adjustament factor among 3 diferent Class "A" tank data; and to determine the water cosumption for the cotton crop (*G. hirsutum* L.) under different water table levels.

To evaluate ET_o the Thornthwaite method presented the lower average deviation, overestimating the ET_o measurament in 6,0% with a high correlation coefficient (0.9539). The Penman and Class "A" Tank even overestimating the ET_o measurament in 35,6% and 37,4 %, respectively, presented a high correlation coefficient.

The total water consumptions for the crop under the water table level of 0,25; 0,50 e 0,75m were

respectively 682, 528 and 492 mm. The plants under 0,75m of water table presented the best condition of development. As the evapotranspiration values obtained for these plants (ET_{m75}), was calculated the and determined through crop coefficients (K_c), using the ET_o obtained with the evapotranspirometer (ET_oET) and determined through the following methods: Penman (ET_oPe); Class "A" Tank (ET_oA2); and Thornthwaite (ET_oTw).

The correlation among the K_c values determined using ET_o measured and calculated showed the following correlation coefficients: 0.9383 ($K_{cEt} \times K_{cPe}$); 0.9483 ($K_{cEt} \times K_{cTw}$); and 0.9163 ($K_{cEt} \times K_{cA2}$).

1. INTRODUÇÃO

A cultura do algodoeiro encontra-se como uma das explorações agrícolas mais importantes no mundo, quer como produto de exportação, quer como produto de consumo básico, representando uma cultura de grande importância econômica e social para os países produtores.

Muito embora esteja sofrendo a concorrência dos produtos sintéticos, o algodão permanece ainda como uma das fibras têxteis mais utilizadas no mundo e a sua matéria prima é de vasta aplicação industrial, dando origem a um grande número de produtos e subprodutos que têm grande aceitação popular, além de serem utilizados na alimentação animal.

O Brasil situa-se entre os grandes produtores mundiais, porém sua produtividade média (1.200 Kg/ha) é muito baixa quando comparada a de outros países produtores (3.000 Kg/ha). A necessidade do aumento da produtividade, aliada aos elevados custos de produção, exige da agricultura atual o emprego de técnicas de cultivo capazes de aumentar a produtividade, assegurar a produção mesmo em condições climáticas adversas e possibilitar tanto quanto possível maior margem de lucro

aos produtos.

A irrigação, uma prática que procura suprir as deficiências climáticas fornecendo água às plantas na quantidade adequada para evitar a ocorrência de estresse hídrico, que possa redundar em quebra de produção e/ou produtos de má qualidade, têm sido adotada por vários cotonicultores que desejam melhorar seus atuais níveis de produtividade. No entanto, para o correto planejamento, dimensionamento e manejo desdes sistema de irrigação, é fundamental a obtenção de informações precisas e confiáveis do consumo de água pela cultura do algodoeiro, sob as condições locais de clima e solo, nos diversos estádios de seu desenvolvimento.

Em vista da necessidade destas informações o presente estudo têm como objetivo: avaliar para a região de Lavras - MG a precisão obtida na estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), calculada pelos métodos de Penman, Thornthwaite e Tanque classe A, em relação a medida nos evapotranspirômetros; obter uma equação de ajuste para as leituras dos tanques classe A, instalados sobre solo gramado, protegidos e não protegidos com tela de arame; determinar o consumo de água da cultura do algodoeiro (*G. hirsutum* L.), submetida a diferentes profundidades do lençol freático e, mediante estas medições estabelecer os coeficientes de cultura aplicáveis à evapotranspiração de referência determinada pelos métodos de Penman, Tanque classe A e de Thornthwaite.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações gerais

Um dos problemas com que se defrontam os técnicos de irrigação e drenagem, isto é, aqueles que trabalham com as interações solo-água-planta-atmosfera, é a contabilização da água perdida por evapotranspiração no balanço hídrico do solo. A taxa de água perdida pela superfície, por evaporação e/ou transpiração, é de grande importância na determinação das necessidades hídricas dos cultivos agrícolas de qualquer região, SEDIYAMA (1987).

THORNTHWAITE (1948) foi quem primeiro introduziu o conceito evapotranspiração potencial (ETp), e o definiu como sendo a água evaporada e transpirada em uma superfície natural coberta por uma vegetação em fase de crescimento ativo, sem restrição de água no solo. A ausência de qualquer uma destas condições faz com que a evapotranspiração que tem lugar seja denominada de evapotranspiração real (ETa). Objetivando aperfeiçoar o conceito, PENMAN (1956) definiu a evapotranspiração potencial (ETp) como sendo o processo de transferência de água para a atmosfera, na unidade de tempo, em uma superfície totalmente coberta por vegetação verde, em fase

de crescimento ativo, de porte baixo, com altura uniforme e sem qualquer restrição de água no solo.

Outras conceituações específicas foram apresentadas posteriormente, visto que, as definições de THORNTHWAITE (1948) e PENMAN (1956), embora basicamente definidas corretamente, são deficientes por não especificarem o tipo de vegetação, o grau e a altura da cobertura vegetal do solo, as dimensões da superfície e as condições da bordadura.

WRIGHT & JENSEN (1972) e WRIGHT (1982), sugeriram que a cultura de referência deveria ser a alfafa, com tamanho variando entre 0,3 e 0,5 metros de altura em fase de crescimento ativo, por apresentar características aerodinâmicas e anatômicas semelhantes às principais culturas. DOORENBOS & PRUITT (1977) respeitando as mesmas condições definidas por PENMAN (1956), porém considerando a grama, com 0,08 a 0,15 metros de altura como cobertura vegetal, cobrindo uma superfície extensa, denominaram de evapotranspiração de referência (ET_o) a esta nova condição. DOORENBOS & KASSAM (1979) apresentaram o termo evapotranspiração máxima (ET_m), e o definiram como sendo a transferência de água para a atmosfera por uma superfície onde a cobertura vegetal é uma cultura agrônômica, em qualquer fase de seu desenvolvimento, em condições ideais de umidade do solo e de manejo agrônômico.

Vários são os fatores que podem interferir na evapotranspiração das culturas PRUITT et alii (1972) verificaram que a abertura dos estômatos, a refletância, a rugosidade aerodinâmica, bem como a extensão da área coberta pelo vegetal e a estação do ano, são fatores significativos no processo. BURMAN et alii (1983); SEDIYAMA (1987) e BERNARDO (1989), comentam que a quantidade d'água evapotranspirada depende principalmente da planta, solo e do clima, sendo que este último fator predomina sobre os demais. JAMES (1988) ressalta que se a água armazenada no solo não for limitante e se os estômatos estiverem totalmente abertos, as condições atmosféricas são os fatores que controlam a evapotranspiração, e acrescenta que os fatores atmosféricos mais importantes no processo são a radiação solar, umidade relativa, temperatura, vento e a precipitação. As condições do solo e sua umidade, os fertilizantes, as infestações de pragas e doenças, as práticas agrícolas e a irrigação são citados por DOORENBOS & PRUITT (1977) como fatores que podem também influenciar nas taxas de crescimento da cultura e consequentemente na evapotranspiração.

Atualmente, inúmeros são os métodos propostos para se quantificar a evapotranspiração através de medidas mediante utilização de equipamentos instalados em condições de campo ou com o emprego de modelos teóricos que consideram elementos do clima, solo e da planta.

VILLA NOVA & REICHARDT (1989), relacionaram vários métodos de medida e estimativa da evapotranspiração (Tabela 1), que são mais usuais ou tem maior aplicação às condições brasileiras de solo e clima, bem como o tipo de medida para os quais são recomendados.

Tabela 1. Métodos mais usuais de medida e estimativa da evapotranspiração

Método de avaliação da evapotranspiração		medidas ou estim. possíveis		
		ET _o	ET _a	ET _m
Métodos de medida	Método balanço hídrico	X	X	X
	Método gravimétrico	X	X	X
	Método da sonda de neutrons	X	X	X
	Método dos lisímetros	X	X	X
	Evapotranspirômetros	X		
	Lisímetros ou evapotranspirômetros de lençol freático constante	X		X
Métodos de estim.	Método de Penman	X		
	Método de Thornthwaite	X		
	Método da radiação solar	X		
	Método do tanque classe A	X		
	Método do coeficiente de cultura			X

Fonte: VILLA NOVA & REICHARDT (1989)

2.2. Medida da evapotranspiração

HILLEL et alii (1969) definiu os lisímetros como sendo grandes recipientes cheios de solo, geralmente enterrados no campo para representar suas condições naturais, nos quais as relações do sistema

água-solo-planta possam ser reguladas e monitoradas de forma mais conveniente e precisa que em um perfil de solo natural.

ABOUKHALED et alii (1982) descreve que os lisímetros de lençol freático constante são bastante comuns em países da Europa, Ásia e Oriente Médio. Seu custo é relativamente baixo e são de fácil operação. Apesar da possibilidade das determinações diárias da evapotranspiração, os dados geralmente são tomados a períodos semanais ou a cada dez dias. Para VILLA NOVA & REICHARDT (1989), no presente estes equipamentos são os mais utilizados para determinação do valor da evapotranspiração máxima (ET_m) de cada fase das principais culturas.

CAMARGO (1966); OMETTO (1981) e BURMAN et alii (1983), citam que as medidas da evapotranspiração diretamente no campo, através de lisímetros e evapotranspirômetros, constitui tarefa onerosa e trabalhosa, mostrando-se aplicáveis apenas em postos meteorológicos especializados ou estações experimentais devidamente aparelhadas. Essas medidas destinam-se a calibrar e desenvolver métodos de estimativa da evapotranspiração ou determinar o consumo de água por uma cultura qualquer nas distintas fases de seu desenvolvimento.

Autores como ASSIS (1978); ENCARNÇÃO (1980); BARBIERI (1981); PAVANI (1985); ENCARNÇÃO (1987);

PERES (1988) e MOURA (1990), utilizaram lisímetros de lençol freático constante em seus experimentos e todos são unânimes em afirmar que, estes equipamentos, mostraram-se bastante viáveis à determinação do consumo de água pelas culturas, sendo de fácil operação e com boa precisão para períodos diários.

Relativo a profundidade do lençol freático, SHIH (1985) estudando seus efeitos sobre o consumo d'água e produção da cultura do milho nos anos de 1980 e 1982, através de lisímetros de lençol freático constante instalados sob solo orgânico, cujos tratamentos foram de 0,3; 0,6 e 0,85 metros de profundidade, observou que o consumo médio de água durante todo o ciclo da cultura foi de 556, 478 e 393mm, respectivamente. Sua constatação ainda evidencia que a produção em relação ao tratamento 0,85m foi 26% e 3,82% menor para os tratamentos a 0,3 e 0,6m, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por TOVEY (1969) em experimento com a cultura da alfafa, CARTER & FLOYD (1975) estudando a cana de açúcar e SHIH (1986) em experimento com a cultura do sorgo.

2.3. Estimativa da evapotranspiração

Informações sobre as relações entre clima e culturas foram publicadas inicialmente por ABBE (1905), posteriormente BOWEN (1926) correlacionou perda d'água de uma superfície evaporante com o clima. Desde então

inúmeros autores iniciaram o desenvolvimento de equações que, levando em consideração fatores como clima, solo e a planta, estimam a evapotranspiração.

DOORENBOS & PRUITT (1977) relacionaram 31 fórmulas de estimativa da evapotranspiração, bem como as respectivas variáveis necessárias a sua utilização. Da mesma forma SEDIYAMA (1987) comenta a existência de aproximadamente 50 métodos de cálculo da evapotranspiração, e descreve 10 dos principais métodos utilizados atualmente. BURMAN (1983) destaca o processo de cálculo dos métodos de Penman, Jensen-Haise, Blaney-Criddle e Tanque classe A e comenta também que muitos métodos que se utilizam de diferentes tipos de dados e nível de sofisticação tem sido desenvolvidos para calcular a evapotranspiração de referência (ET_o). Alguns destes métodos requerem dados diários de umidade relativa, radiação solar, vento e temperatura, enquanto outros necessitam apenas da temperatura média mensal. Alguns possuem embasamento físico, enquanto outros são determinados empiricamente. Complementando o mesmo autor JAMES (1988), descreve que estes métodos classificam-se como aerodinâmicos, balanço de energia, combinação dos métodos e empíricos.

CASTRO NETO & SOARES (1989), citam que os métodos de estimativa da evapotranspiração são desenvolvidos em condições climáticas específicas, segundo a disponibilidade de dados e a realidade física do local,

o que torna necessário a verificação do comportamento de cada método para as regiões do país.

SILVA (1989), comenta que a diversidade dos resultados alcançados pelos diversos métodos, em diferentes regiões no mundo, quase sempre são motivo de preocupação para os pesquisadores, que têm desenvolvido estudos com objetivo de avaliar a adequação destes métodos a determinadas regiões, e ajustar as relações já existentes.

CAMARGO (1966), correlacionando valores de evapotranspiração de referência (ETo), medidos em evapotranspirômetros do tipo Thornthwaite-modificado em três localidades, com valores correspondentes calculados por quatro métodos de estimativa no estado de São Paulo, verificou que as correlações entre os valores medidos e calculados mostraram-se de modo geral bastante elevados. Apenas no caso da comparação com os resultados de Penman-Bavel, verificou-se correlação um pouco inferior ($r = 0,89$). A maior exatidão foi obtida com os valores estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Blaney & Criddle modificado ($r = 0,95$). Da mesma forma ORTOLANE et alii (1966), em Ribeirão Preto - SP, durante período de um ano, verificaram que o modelo de Penman superestimava a evapotranspiração de referência (ETo) em 2% e o método de Thornthwaite subestimava em 9%.

MARTINS et alii (1988), correlacionando valores de evaporação do Tanque classe A (EVA), protegido e não protegido com malha metálica, instalados sobre solo nu e gramado, encontraram que a evaporação dos tanques com proteção de malha foram aproximadamente 14% inferiores aos valores obtidos nos tanques não protegido sobre solo gramado.

SILVA (1979), em seu trabalho concluiu que o uso da tela de arame número 22, reduziu 14,6% e 13,3%, respectivamente, a evaporação dos tanques com cobertura e cerca de tela em comparação ao Tanque classe A padrão. E justificou como possíveis causas a diminuição da radiação solar e a velocidade do vento junto a superfície d'água dentro desses tanques.

2.5. Consumo de água pela cultura do algodoeiro

Conforme DOORENBOS & PRUITT (1977) e DOORENBOS & KASSAN (1979), o consumo de água pela cultura do algodoeiro, dependendo do estado de desenvolvimento, variedade, local, condições de solo, clima e de acordo com o número de dias do ciclo, podem variar entre 500 e 1300 mm.

GARCIA (1990), cita que nos primeiros quarenta dias após a emergência do algodoeiro suas necessidades de água são reduzidas, aproximadamente 2,5 mm/dia, crescendo para 6,0 mm/dia na fase de desenvolvimento, alcançando um período de maior

CASTRO NETO & SOARES (1989), comparando a evapotranspiração de referência (E_{To}), estimada por 23 métodos diferentes com a medida em lisímetros de drenagem em Lavras - MG, durante período de um ano, verificaram que as melhores estimativas para o período seco foram encontradas pelos métodos de Penman e Makkink superestimando em 0,7 e 0,9 mm/dia, respectivamente. Para o período chuvoso o método de Thornthwaite subestimou a evapotranspiração medida em 0,2 mm/dia e o método de Ostromeckí superestimou em 0,2 mm/dia. A utilização do Tanque classe A levou a uma superestimativa em média de 1,2 mm/dia, sendo que as piores estimativas ocorreram no período chuvoso. Estes resultados diferem dos encontrados por AL-SHA'LAN & SALIH (1987) em trabalho semelhante na Arábia Saudita, sob condições de clima árido, onde recomendam para a estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}) os métodos de Jensen-Haise, Tanque classe A, Ivanovi e Tanque classe A ajustado.

2.4. Operação do tanque classe A

A presença de animais e restos culturais no campo é uma dificuldade encontrada na utilização do Tanque classe A, prejudicando a confiabilidade das leituras de evaporação (EVA). Vários tipos de telas e cercas têm sido usadas para se evitar tais problemas. Todas reduzem a radiação solar e o vento na superfície d'água, resultando em menor evaporação.

necessidade 6,0 a 10,0 mm/dia da floração a frutificação, chegando à maturação consumindo entre 6,0 e 2,5 mm/dia.

SAMMIS et alii (1985), estudaram a cultura do algodoeiro através de lisímetros instalados em duas localidades no estado do Novo México, durante período de 2 anos. Os autores observaram que o ciclo da cultura variou entre 148 a 175 dias, sendo que, o consumo de água ficou entre os limites de 700 e 1145 mm para os cultivos na cidade de Artesia e entre 825 e 837 mm para os cultivos na cidade de Las Cruces.

OLIVEIRA (1976), determinando a melhor época de plantio e o consumo de água para algodoeiro em Juaseiro - BA, observou que o ciclo da cultura variou entre 122 e 158 dias, e que, o consumo total de água ficou entre 588 e 686 mm. Os plantios realizados no início de junho, julho e agosto apresentaram consumo máximo de 10,6 mm/dia; os plantios efetuados no começo de setembro, outubro e novembro um máximo de 7,4 mm/dia e os plantios realizados no início dos meses de dezembro e maio um máximo de 6,5 mm/dia. Em todos os casos, o consumo máximo ocorreu durante o período compreendido entre a floração e a formação dos frutos.

SAUNDERS (1990), estudando a evapotranspiração do algodão em Pentecoste - CE, verificou que a cultura apresentou valor de evapotranspiração máxima no início do ciclo de 3,35 mm/dia e na fase final de maturação 2,63 mm/dia, enquanto que na

floração e início da frutificação atingiu o valor máximo de 7,5 mm/dia. O mesmo autor cita ainda que a contribuição das camadas de solo 0-0,30m e 0,30-0,60m no processo de evapotranspiração foi da ordem de 65 e 35%, respectivamente.

2.6. Coeficiente de cultura (Kc)

Coeficiente de cultura (Kc), de acordo DOORENBOS & PRUITT (1977), é o método que relaciona a evapotranspiração máxima (ETm) de uma cultura em qualquer fase do seu desenvolvimento e sem deficiência hídrica no solo, com a evapotranspiração de referência (ETo) correspondente.

$$Kc = \frac{ETm}{ETo}$$

VILLA NOVA (1983), ressalta que diferentes culturas sem restrição de umidade, sujeitas à mesma condição climática, deverão sofrer diferentes perdas d'água, devido as diferenças do sistema radicular, estágio de desenvolvimento e área foliar, no que resulta consecutivamente diferentes valores de coeficientes de cultura (Kc)

JAGTAP & JONES (1989), estudando o efeito do clima e das práticas de manejo sobre o consumo d'água da cultura da soja em solo arenoso, observaram que a

utilização de coeficientes de cultura não apropriados ao local podem levar a aplicação de uma lâmina total de irrigação com erro superiores a 190 mm. Dentre os vários fatores estudados, o maior erro na utilização dos coeficientes ocorreu quando a pressão de vapor foi reduzida de 26 mb para 14 mb.

DOORENBOS & PRUITT (1977), de modo geral, dividem o ciclo de desenvolvimento das culturas para o cálculo dos coeficientes de cultura em quatro fases:

- I. fase inicial - compreende a parte do ciclo que vai da germinação até quando a cobertura vegetal alcança 10% da superfície;
- II. fase do desenvolvimento da cultura - que se estende desde 10% de cobertura até em torno de 70 a 80% de cobertura vegetal;
- III. fase de meia estação - que vai desde o final da segunda fase até o início da maturação (queda e despigmentação das folhas);
- IV. fase final - que se estende do início da maturação à colheita.

DOORENBOS & KASSAN (1979), apresentam que em relação a evapotranspiração de referência (E_{To}) o coeficiente de cultura (K_c) nas distintas fases de desenvolvimento da cultura do algodoeiro são os seguintes: de 0,4-0,5 na fase inicial (20 a 30 dias); 0,7-0,8 na fase de desenvolvimento (40 a 50 dias); 1,05-1,25 na fase de

meia estação (50 a 60 dias) e de 0,65-0,8 na fase final (40 a 55 dias). Estes resultados não diferem muito dos encontrados por SAMMIS et alii (1985), quando determinaram os coeficientes de cultura (K_c) em função do estágio de desenvolvimento dado em graus-dias.

SAUNDERS (1990), obteve para a cultura do algodoeiro um coeficiente de cultura médio ($\bar{K}_c$) de 0,90. Os coeficientes estacionais para as fases inicial, vegetativa, reprodutiva e maturação foram de 0,63; variável de 0,71 a 0,93; 1,28 e 0,81, respectivamente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área experimental

O experimento foi conduzido em uma área localizada no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL. O local encontra-se junto ao posto agrometeorológico no campo experimental do Departamento de Biologia, a uma latitude $21^{\circ}14'S$, longitude $45^{\circ}00'W$ Gr. e altitude 915m.

3.2. Características da área experimental

3.2.1. Dimensões da área experimental

A área experimental constituiu-se de duas unidades: uma de 13 metros de largura por 32 metros de comprimento cultivada com algodão; e outra de 85 x 85 metros coberta por uma cultura de referência, grama-batatais (*Paspalum notatum* F.). Cada unidade continha em seu centro um conjunto evapotranspirométrico composto de seis lisímetros. (Figura 1)

Figura 1 . "Croquis" da área experimental

Unidade cultivada

A = bateria de lisímetros

1 = lençol freático à 0,75m

2 = lençol freático à 0,50m

3 = lençol freático à 0,25m

Unidade gramada

B = bateria de lisímetros

4 = tanques classe A

5 = pluviômetro

Estação agrometeorológica

6 = heliógrafo e piranômetro

7 = tanques classe A

8 = Pluviômetro e pluviôgrafo

9 = abrigo termométrico

10 = termômetros do solo

11 = evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado

12 = anemógrafo

3.2.2. Clima

O clima da região de acordo com os critérios propostos por Wilhem Köppen classifica-se como Cwb, caracterizado por inverno seco com verões brandos e estação chuvosa no verão. A temperatura média anual está ao redor de $19,3^{\circ}\text{C}$ e a precipitação anual em torno de 1411mm, (VILELA & RAMALHO, 1979).

3.2.3. Solo

Trata-se de um Latossolo Roxo distrófico, textura muito argilosa, fase cerradão em transição para floresta, relevo suave ondulado, pela Classificação Brasileira ou Typic Acrorthox pela Soil Taxonomy, (ANDRADE, 1979).

3.2.3.1. Características físicas e químicas do solo

- a) Densidade do solo (D_s) - seguiu-se nesta determinação o método descrito por BLAKE (1965), utilizando-se do cilindro de Uhland;
- b) Densidade de partículas (D_p) - foi determinada utilizando-se o método do picnômetro, descrito por BLAKE (1965);
- c) Análise textural - para esta determinação utilizou-se o método da pipeta, descrito por DAY (1965);
- d) Capacidade de campo (CC) e ponto de murchamento permanente (PMP) - foram determinados em amostras com estrutura não deformada, previamente saturada com água destilada e posteriormente submetidas às tensões de 0,1 e 15 atm até alcançarem o equilíbrio, seguindo a mesma metodologia adotada por FREIRE & SCARDUA (1979).

Tabela 2. Características físicas do solo

Prof. (cm)	D_s (g/cm ³)	D_p (g/cm ³)	Areia %	Limo %	Argila %	% peso de solo seco	
						CC	PMP
0-20	1,04	2,85	9,33	17,89	72,78	32,60	22,68
20-40	1,19	2,90	7,93	18,19	73,88	31,63	22,47
40-60	1,05	2,92	7,73	19,20	73,07	32,08	21,96
60-80	1,03	2,90	7,77	19,36	72,87	32,92	23,01

Tabela 3. Características químicas do solo

Prof. (cm)	PH em H ₂ O	K ⁺	Al ³⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	H ⁺	CTC	P ₃ μg/cm ³
meq/100cm ³								
0-20	5,8	0,23	0,1	0,7	3,6	2,61	7,24	12
20-40	5,2	0,09	0,1	0,3	1,3	2,15	3,94	3
40-60	5,3	0,02	0,1	0,1	0,5	1,94	2,66	1
60-80	5,3	0,02	0,1	0,0	0,4	1,82	2,34	1

3.3. Lisímetros de lençol freático constante

Estes equipamentos foram instalados em número de seis tanto na unidade cultivada como gramada. Cada lisímetro constou de uma caixa de fibra-de-vidro enterrada e cheia de solo, no qual se manteve a profundidade do lençol freático constante por intermédio de uma caixa de passagem, contendo um sistema de bóia ligado a um reservatório alimentador e um ladrão ligado a um reservatório de drenagem. Toda vez que a água era retirada pelas raízes das plantas ou acrescentada pela ocorrência de precipitações, a bóia alimentadora ou o ladrão era acionado mantendo-se assim o nível do lençol.

Figura 2. "Croquis" do lisímetro de lençol freático constante

- 1 = reservatório alimentador graduado, feito de PVC (0,178 m de diâmetro por 0,60 m de comprimento);
- 2 = reservatório de drenagem graduado, feito de PVC (0,178 m de diâmetro por 0,60 m de comprimento);
- 3 = caixa de passagem, feita de PVC (0,14 m de diâmetro por 0,20 m de altura);
- 4 = dispositivo que possibilita a regulação do lençol freático;
- 5 = mangueira que interliga o ladrão contido na caixa de passagem ao reservatório de drenagem;
- 6 = caixa principal de fibra-de-vidro (1,2 m de diâmetro por 1,2 m de altura).

3.4. Instalação do experimento

3.4.1. Cultura

A cultura utilizada foi o algodão (*G. hirsutum* L.), variedade IAC 20 recomendada pela Comissão Estadual de Sementes e Mudas / CESM - MG.

3.4.2 Semeadura

3.4.2.1. Sulcamento

O preparo do solo foi realizado de maneira convencional utilizando uma aração e duas gradeações. O espaçamento adotado foi o de 1,0 x 0,2 metros.

3.4.2.2. Distribuição das sementes e emergência das plântulas

Foi realizada manualmente no dia 16 de dezembro de 1987, colocando-se 35 sementes por metro linear. A completa emergência das plântulas ocorreu no dia 24 de dezembro de 1987.

3.4.3. Adubação

A determinação das quantidades de nutrientes a serem utilizadas foi realizada através de análise química do solo, cujo resultado encontra-se na tabela 3. Utilizou-se adubação de semeadura de 20 Kg de nitrogênio, 80 Kg de P_2O_5 e 60 Kg de K_2O por hectare, conforme RAIJ et alii (1985).

Como fontes de nutrientes N, P e K foram usados o sulfato de amônia, superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente, distribuídos manualmente nos sulcos.

3.4.4. Operação dos lisímetros

Através de um sorteio, os lisímetros pertencentes a unidade cultivada, tiveram o lençol freático estabelecido e mantido constante durante todo o ciclo da cultura à uma altura de 0,75; 0,50 e 0,25 m da superfície do solo. A figura 1 mostra o lençol freático utilizado, respectivo a cada lisímetro.

3.4.5. Instalação dos tanques de evaporação

Para a medida da evaporação instalou-se os seguintes tipos de tanque:

- a) tanque classe A sem proteção da tela de arame, instalado sobre solo gramado, dentro do recinto da estação meteorológica (A1);
- b) tanque classe A sem proteção da tela de arame, instalado sobre a unidade gramada, aproximadamente 50 metros dos lisímetros (A2);
- c) tanque classe A com proteção da tela de arame, número 22 (malha 0,02 x 0,015 m), instalado sobre a unidade gramada, aproximadamente 50 metros de distância dos lisímetros (A3);
- d) tanque classe A destinado ao reabastecimento dos tanques A1, A2 e A3 com água a mesma temperatura.

3.5. Condução do experimento

3.5.1. Leituras dos lisímetros, tanques classe A e pluviômetro

As leituras dos equipamentos foram realizadas diariamente às 7:30 horas, a partir da instalação do experimento.

Nos reservatórios de alimentação e drenagem do lisímetro, um tubo de plástico transparente com 0,01m de diâmetro, colocado na vertical e solidário a uma escala graduada em milímetros, permitia a leitura do total diário de água consumida ou drenada pelo sistema.

A variação do nível de água no tanque classe A foi determinada através de um parafuso micrométrico, precisão de $2 \cdot 10^{-5}$ metros, e as alturas de evaporação foram obtidas fazendo-se a diferença de leituras entre dias consecutivos.

A altura de precipitação, coletada pelo pluviômetro, foi medida através de uma proveta graduada em milímetros.

3.5.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos complementares utilizados no experimento foram coletados no posto agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura de Lavras, situado a aproximadamente 80 metros do local onde foram instalados os lisímetros. Foram coletados diariamente dados de evaporação do tanque classe A (EVA1), número de horas de insolação (n), temperatura máxima do ar (Tmax), temperatura mínima do ar (Tmin), temperatura de bulbo seco (Ts), temperatura de bulbo úmido (Tu), velocidade média do vento a 2m de altura (U2) e evapotranspiração de referência obtida através do evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado (EToEt).

Figura 3. "Croquis" dos evapotranspirômetros tipo Thornthwaite-modificado que se encontram instalados na estação agrometeorológica

3.5.2.1. Medida da ETo pelo evapotranspirômetro

A diferença diária entre a quantidade de água recebida pela superfície da caixa de cimento amianto, por precipitação pluvial mais irrigações suplementares, e a quantidade de água perdida, por percolação, corresponde à evapotranspiração de referência (ETo).

3.5.3. Controle das plantas daninhas

As plantas daninhas foram controladas durante os primeiros meses de desenvolvimento através de capinas manuais.

3.5.4. Desbaste

O desbaste foi realizado em duas etapas, aos 34 e 48 dias após a emergência das plântulas, deixando-se, respectivamente, 8 e 5 plantas por metro linear.

3.5.5. Adubação em cobertura

Para a adubação nitrogenada em cobertura foi utilizado sulfato de amônio, aplicando-se 40 Kg de N por hectare, segundo RAIJ et alii (1985). A adubação foi realizada no dia 10 de fevereiro de 1988.

3.5.6. Irrigações complementares

Quando necessário, foram realizadas irrigações na área cultivada circundante aos lisímetros (bordadura). O sistema utilizado foi a aspersão, e as irrigações basearam-se nas leituras obtidas no Tanque classe A, segundo recomendações de DOORENBOS & PRUITT (1977). A lâmina de água de irrigação foi medida pelo uso de um hidrômetro previamente calibrado.

3.5.7. Colheita

A colheita foi realizada manualmente em duas etapas, a primeira aos 158 dias após a emergência das plântulas, quando 60% dos frutos (maças) se encontravam abertos e a segunda 26 dias após a primeira, quando o restante dos frutos praticamente se encontravam abertos. Os pesos do algodão pluma e em caroço foram medidos para cada lisímetro e para a área de bordadura em balança de precisão de 1.10^{-3} kg. Os dados foram transformados em quilograma por hectare.

3.5.8. Características agronômicas de campo

3.5.8.1. Altura das plantas

Foram efetuadas avaliações quinzenais a partir do segundo desbaste em todas as plantas que se encontravam dentro dos lisímetros e em 15 plantas amostradas da área de bordadura.

3.5.8.2. Número de capulhos por planta

Na primeira e segunda colheita, realizou-se a contagem do número de capulhos existentes nas plantas contidas em cada lisímetro e nas 15 plantas situadas na área de bordadura. O total de capulhos foi dividido pelo número de plantas contidas em cada tratamento, determinando-se o número médio de capulhos por planta.

3.5.8.3. Determinações fenológicas

Considerou-se como data da germinação o dia em que não houve mais o surgimento de plântulas, tanto nos lisímetros como na área de bordadura. A floração, frutificação e deiscência compreendeu, respectivamente, o número de dias transcorridos desde a emergência até a abertura da primeira flor, aparecimento do primeiro fruto e abertura do primeiro fruto.

3.6. Medidas da evapotranspiração

A mensuração da evapotranspiração, máxima da cultura (ET_m) e da cultura de referência (ET_o), foram obtidas através do balanço de massas para uma intervalo de tempo:

$$\text{onde: } ET = I + P + S - Q \pm \Delta A \quad \dots\dots(1)$$

sendo:

I = irrigação;

P = altura pluviométrica;

S = lâmina fornecida pelo reservatório de alimentação do lisímetro;

Q = lâmina coletada pelo reservatório de drenagem do lisímetro ou evapotranspirômetro;

ΔA = variação do armazenamento. Esta componente foi desprezada do balanço de massas, uma vez que, os valores diários da evapotranspiração foram agrupados em períodos de 10 dias, o que proporcionou uma pequena variação do seu valor;

ET = evapotranspiração.

3.7. Estimativa da evapotranspiração

Para sua obtenção foram utilizados os seguintes métodos de estimativa:

3.7.1. Método do Tanque classe A

Para o cálculo da evapotranspiração de referência, com base em informações coletadas em tanque classe A, foi utilizada a expressão:

$$ET_{oA} = K_p \cdot EVA \quad \dots\dots(2)$$

onde:

EToA = evapotranspiração de referência (mm/dia);

EVA = evaporação do tanque classe (mm/dia);

Kp = coeficiente para conversão da evaporação do tanque classe A em evapotranspiração de referência. Foram utilizados os valores recomendados por DOORENBOS e PRUITT (1977), que dependem da velocidade média do vento (U2) em Km/dia e umidade relativa média do ar (UR) em % observados no período, assim como das condições de exposição do tanque, Tabela 1 apêndice.

A partir da instalação do experimento até o fim do ciclo da cultura, os dados de evaporação dos tanques A1, A2 e A3 foram considerados em pentadas (períodos de 5 dias), onde estabeleceu-se uma análise de regressão linear com seu respectivo coeficiente de correlação entre eles, afim de prever uma equação de ajuste para suas leituras.

3.7.2. Método de Thornthwaite

Para o cálculo da evapotranspiração de referência, segundo o método de Thornthwaite, que necessita apenas dados de temperatura do ar, foi utilizado a seguinte expressão:

$$ET_{oTw} = 16 (10 T/I)^a \cdot Fc \cdot (m/30) \quad \dots\dots(3)$$

onde:

ET_{oTw} = evapotranspiração de referência (mm/dia);

T = temperatura média do ar no período considerado ($^{\circ}C$);

I = índice de calor dado pela expressão:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \dots\dots(4)$$

sendo: $i = (T_n/5)^{1,514}$

T_n = temperatura média mensal normal ($^{\circ}C$), Tabela 4
Apêndice;

a = função cúbica de I , da forma:

$$a = 0,675 \cdot 10^{-6} I^3 - 0,77 \cdot 10^{-4} I^2 - 1,792 \cdot 10^{-2} - 0,49239 \quad \dots\dots(5)$$

Fc = fator de correção da evapotranspiração de referência (ET_o) mensal para ajustá-la ao número de dias do mês e à duração do brilho solar diário, Tabela 2 apêndice;

m = período de determinação considerado (dias).

3.7.3. Método de Penman

O método de PENMAN (1948), que, considera o balanço de energia radiante e princípios aerodinâmicos, consiste da seguinte expressão:

$$ET_{oPE} = \frac{\Delta/\gamma \cdot H + E_a}{\Delta/\gamma + 1} \quad \dots\dots(6)$$

onde:

E_{ToPe} = evapotranspiração de referência (mm/dia)

γ = constante psicrométrica (0,46 mm Hg/°C);

Δ = tangente a curva de saturação de vapor d'água (mm Hg/°C), determinado pela expressão:

$$\Delta = es \left(\frac{6886}{T_{ak}^2} - \frac{5,31}{T_{ak}} \right) \quad \dots\dots(7)$$

onde:

T_{ak} = temperatura média do ar (K);

es = tensão de saturação do vapor sobre a água (mm Hg), calculada por:

$$es = (6,11 \cdot 10^{\frac{A \cdot T_a}{B + T_a}}) \cdot 0,75 \quad \dots\dots(8)$$

onde:

T_a = temperatura média do ar (°C);

$A = 7,5$

$B = 237,5$

H = balanço de energia (cal.cm²/dia), sendo:

$$H = \frac{Q_o}{59} \left(a' + b \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot (1-r) - \frac{\sigma \cdot T_{ak}^4}{59} (0.56 - 0.09\sqrt{ea}) \left(0,1 + 0,9 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad \dots\dots(9)$$

onde:

n = total diário de insolação (horas e décimos);

r = albedo médio para superfície vegetada, considerado como sendo igual a 0,25 para superfície gramada, segundo DOORENBOS & PRUITT (1977);

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($1,1722 \cdot 10^{-7}$ cal.cm²/dia. K⁴);

ea = tensão atual de vapor (mm Hg), calculada pela expressão:

$$ea = \frac{UR}{100} \cdot es \quad \dots\dots(10)$$

a' e b = coeficientes locais. Para as condições de Lavras - Mg, estes coeficientes valem, respectivamente, 0,27 e 0,52;

N = duração máxima de insolação (horas e décimos);

$$N = \frac{2 \cdot h}{15} \quad \dots\dots(11)$$

onde:

h = comprimento do meio dia solar, em graus, dado pela expressão:

$$h = \arccos (-\operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad \dots\dots(12)$$

sendo:

θ = latitude do local, em graus (-21,23), tendo sinal negativo para o hemisfério sul e positivo para o hemisfério norte

δ = declinação do sol em graus, dada pela equação:

$$\delta = 23,45 \cdot \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} \cdot (D.J. - 80) \right] \quad \dots\dots(13)$$

onde:

D.J. = número de dias transcorridos desde o dia primeiro de janeiro, até o dia considerado;

Q_0 = radiação solar global, recebida na ausência da atmosfera por uma superfície unitária e horizontal ($\text{cal} \cdot \text{cm}^2/\text{dia}$), sendo:

$$Q_0 = \frac{S}{\pi} (hr \cdot \sin \theta \cdot \sin \delta + \cos \theta \cdot \cos \delta \cdot \sin h) \quad \dots\dots(14)$$

onde:

S = constante solar ($2880 \text{ cal} \cdot \text{cm}^2/\text{dia}$);

hr = comprimento do meio dia solar, em radianos ($h \cdot \pi/180$)

E_a = poder evaporante do ar à sombra (mm/dia), estimado pela equação:

$$E_a = 0,35 \left(1 + \frac{U}{160} \right) \cdot (e_s - e_a) \quad \dots\dots(15)$$

onde:

U = velocidade média do vento a dois metros acima do nível do solo (Km/dia).

3.8. Determinação dos coeficientes de cultura (K_c)

Foram calculados pela relação entre os valores correspondentes da evapotranspiração máxima da cultura do algodoeiro (ET_m) e a evapotranspiração de referência (ET_o), de acordo com as fases de desenvolvimento da cultura citadas por DOORENBOS & PRUITT (1977) e em períodos de 10 dias (decêndios).

$$K_c = \frac{ET_m}{ET_o} \quad \dots\dots(16)$$

3.9. Análise dos dados

A partir da instalação do experimento até o fim do ciclo da cultura, os valores correspondentes da evapotranspiração, medida no evapotranspirômetro de Thornthwaite-modificado (EToEt) e calculada pelos métodos de Penman (EToPe), Tanque classe A (EToA2) e Thornthwaite (EToTw), foram agrupados em períodos de 10 dias (decêndios), onde estabeleceu-se entre os valores medidos e calculados, uma análise de regressão linear com seu respectivo coeficiente de correlação e diagrama de dispersão. Análise idêntica foi realizada entre os dados de evaporação dos tanques A1, A2 e A3 considerados em períodos de 5 dias (pêntadas) e coeficientes de cultura determinados para períodos decendiais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nas tabelas e figuras que seguem, referem-se ao experimento realizado no período de 16 de dezembro de 1987 a 16 de junho de 1988, compreendido pelo ciclo da cultura do algodoeiro (184 dias), sob as condições climáticas de Lavras - MG.

4.1. Evapotranspiração de referência (E_{To})

Para avaliação da precisão com que os métodos de Penman (E_{ToPe}), Thornthwaite (E_{ToTw}) e Tanque classe A (E_{ToA2}) estimam a evapotranspiração medida nos evapotranspirômetros tipo Thornthwaite-modificado (E_{ToEt}), os dados diários da evapotranspiração de referência (E_{To}) foram agrupados em períodos de 10 dias (decêndios). Na realização destes agrupamentos dois procedimentos foram considerados:

- procedimento 1 - considerou-se todos os dias do período experimental, exceto aqueles em que ocorreram precipitações. O descarte destes dias deveu-se a grande quantidade de água gravitacional que ficava temporariamente retida na caixa principal do evapotranspirômetro, resultando em dados inconsistentes. CAMARGO (1966) denominou este efeito de retenção da água na caixa principal do evapotranspirômetro de "detenção

incontrolada".

- procedimento 2 - considerou-se somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas durante o experimento. Este procedimento objetivou: evitar a interferência da energia advectiva, citadas por PENMAN (1956) e CAMARGO (1966), proporcionada pela área adjacente ao evapotranspirômetro, e que eleva a evapotranspiração medida por este instrumento a um valor muito acima do potencial; e evitar também, o problema da "detenção incontrolada".

Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 4 e estão representados graficamente nas figuras 4 e 5.

Tabela 4. Valores médios decendiais da ETo, em mm/dia, medidos e estimados durante o experimento, agrupados conforme os procedimentos 1 e 2

Decêndio	Procedimento 1				Procedimento 2			
	EToEt	EToPe	EToTw	EToA2	EToEt	EToPe	EToTw	EToA2
1	4,6	5,3	3,6	4,5	-	5,6	3,6	-
2	3,7	4,6	3,9	5,7	3,5	4,7	3,9	5,7
3	-	4,9	3,3	6,0	-	-	3,3	-
4	4,6	5,9	4,8	5,8	4,3	6,2	4,8	5,9
5	4,1	5,7	4,1	4,5	3,9	5,2	4,1	4,5
6	2,5	5,3	2,9	4,8	2,5	3,8	2,9	4,8
7	3,5	3,7	3,2	4,8	3,1	3,7	3,2	4,2
8	3,5	4,3	3,5	4,7	3,1	4,2	3,5	4,5
9	3,4	4,7	3,2	3,6	3,2	4,1	3,2	3,9
10	3,4	4,7	3,0	3,6	3,3	4,9	3,0	3,4
11	3,2	4,3	3,4	4,1	-	-	3,4	-
12	3,2	3,5	2,8	3,6	2,9	3,4	2,8	4,2
13	2,5	3,1	2,8	2,9	2,4	3,5	2,8	3,4
14	2,7	3,2	2,6	3,0	2,3	3,2	2,6	3,2
15	2,4	3,0	2,6	3,6	2,4	3,0	2,6	3,3
16	2,6	2,9	2,5	2,9	2,2	2,8	2,5	2,6
17	1,8	2,1	1,9	2,6	1,7	1,9	1,9	2,1
18	1,2	2,3	1,5	2,5	1,2	2,3	1,5	1,7
19	2,0	2,0	1,3	2,4	1,8	2,1	1,3	2,5

Figura 4. Valores médios decendiais da ETo, medidos no Evapotranspirômetro (EToEt) e estimados pelos métodos de Penman (EToPe), Thornthwaite (EToTw) e Tanque classe A (EToA2), agrupados conforme o procedimento 1

Figura 5. Valores médios decendiais da ETo, medidos no Evapotranspirômetro (EToEt) e estimados pelos métodos de Penman (EToPe), Thornthwaite (EToTw) e Tanque classe A (EToA2), agrupados conforme o procedimento 2

A comparação entre os valores médios decendiais da evapotranspiração de referência (ETo), medidos e estimados, agrupados conforme os procedimentos 1 e 2, efetuou-se com base no coeficiente de correlação das análises de regressão linear; no desvio (em percentagem) existente entre o valor correspondente de cada decêndio; e no desvio padrão (s) destes desvios. Os resultados das análises de regressão linear, bem como de seu respectivo coeficiente de correlação estão apresentados nas tabelas 5 e 6. Os diagramas de dispersão podem ser vistos nas figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do apêndice.

Tabela 5. Análise de regressão entre os valores médios decendiais da ETo, medida (y) e estimada (x), considerando todos os dias do período experimental (Procedimento 1)

Correlação	Regressão Linear	r	Σx	Σy
EToEt x EToPe	$y = 0,5529 + 0,6367x$	0,8501**	70,6	54,9
EToEt x EToTw	$y = 0,1883 + 0,9610x$	0,9149**	53,6	54,9
EToEt x EToA2	$y = 0,3891 + 0,6882x$	0,7870**	69,6	54,9

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t

As avaliações realizadas para os decêndios que desconsideram os dias chuvosos do período experimental (procedimento 1), mostram que a ETo estimada pelos métodos de Penman (EToPe) e Tanque classe A (EToA2) superestimam a medida no Evapotranspirômetro (EToEt) em média 30,8% ($s = 0,2837$) e 31,4% ($s = 0,2978$), respectivamente. O método de Thornthwaite (EToTw) apresentou o menor desvio médio, subestimando em média a ETo medida em 2,8%

($s = 0,1763$) e proporcionou também a correlação mais estreita ($0,9149^{**}$). Estes resultados concordam com os obtidos por CASTRO NETO & SOARES (1989), em experimento realizado em Lavras - Mg, no mesmo local.

Tabela 6. Análise de regressão entre os valores médios decendiais da ETo, medida (y) e estimada (x), considerando somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas no experimento (Procedimento 2)

Correlação	Regressão Linear	r	Σx	Σy
EToEt x EToPe	$y = 0,2716 + 0,6687x$	$0,9513^{**}$	59,0	43,8
EToEt x EToTw	$y = 0,2160 + 0,8658x$	$0,9539^{**}$	46,6	43,8
EToEt x EToA2	$y = 0,4860 + 0,6014x$	$0,8726^{**}$	59,9	43,8

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t

As avaliações realizadas para os decêndios que foram agrupados considerando somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas no experimento (procedimento 2), mostram que a ETo estimada pelos métodos de Penman (EToPe), Tanque Classe A (EToA2) e Thornthwaite (EToTw) superestimam a medida no Evapotranspirômetro em média 35,6% ($s = 0,1922$); 37,4% ($s = 0,2043$) e 6,0% ($s = 0,146$), respectivamente. As correlações mais estreitas foram obtidos pelos métodos de Penman ($0,9513^{**}$) e Thornthwaite ($0,9539^{**}$).

As avaliações realizadas para os valores médios decendiais correspondentes da ETo, não apresentaram entre os procedimentos 1 e 2 desvios superiores a 4,7%, em média. No entanto, a diminuição dos valores do desvio padrão (s) dos desvios, bem como o estreitamento

verificado nas correlações realizadas com os decêndios agrupadas conforme o procedimento 2 em comparação ao procedimento 1, mostram a importância de se considerar o efeito da energia advectiva, mesmo para um local que apresente valores médios de umidade relativa, velocidade do vento e temperatura iguais a 77,3%; 2,32 m/s e 21,2 °C, respectivamente.

4.2. Operação e desempenho dos lisímetros de lençol freático constante

Como já constatado por autores como ASSIS (1978); ENCARNÇÃO (1980); BARBIERI (1981); PAVANI (1985); ENCARNÇÃO (1987); PERES (1988) e MOURA (1990) o instrumento utilizado no experimento apresentou grande facilidade operacional, posto que, pôde ser operado por apenas um observador. As atividades diárias em seu manuseio limitaram-se apenas em ler as escalas graduadas solidárias aos reservatórios de alimentação e drenagem, reabastecer o reservatório de alimentação quando o seu volume estivesse reduzido a 30%, esvaziar os reservatórios de drenagem após dias chuvosos, limpar e desentupir mangueiras e bóias do conjunto.

A falta de uma cobertura móvel sobre a caixa principal dos lisímetros que pudesse ser retirada em dias secos e recolocada em dias chuvosos, proporcionou nos meses de alta pluviometria, como janeiro (134mm) e fevereiro (238mm), uma perda de aproximadamente 42% dos

dados diários. Tais perdas se devem ao efeito da "detenção incontrolada", que nos dias de precipitação elevada podem indicar valores de evapotranspiração maior que a verdadeira, uma vez que a umidade detida na caixa principal entra no balanço como sendo água evapotranspirada. Para os dias seguintes, porém, a elevada percolação, resultante das chuvas anteriores, é interpretada como se fôsse umidade não evapotranspirada e faz reduzir a medida da evapotranspiração que poderá, inclusive, se tornar negativa.

O mecanismo que regulou a profundidade do lençol freático, mostrou-se de fácil manuseio e permitiu seguramente que, o nível do lençol nas profundidades de 0,25; 0,50 e 0,75m permanecessem inalterados durante todo o ciclo da cultura.

4.3. Características agronômicas

As Tabelas 7,8,9 e 10 apresentam, respectivamente, a produtividade, altura média das plantas, número médio de capulhos por planta e o ciclo fenológico da cultura do algodoeiro, quando submetida nos lisímetros, a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75m. As referidas tabelas apresentam, também, as características agronômicas obtidas na área de bordadura (área circundante aos lisímetros), irrigada com base nas leituras do tanque classe A, segundo as recomendações de DOORENBOS & PRUITT (1977).

Tabela 7. Produtividade do algodoeiro, em Kg/ha, nos lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25, 0,50 e 0,75 metros de profundidade e na bordadura

	Lençol freático (m)			Bordadura
	0,25	0,50	0,75	
Algodão em caroço	1.658	1.835	3.921	3.590
Algodão em pluma	688	660	1.470	1.364

Tabela 8. Altura média das plantas, em metros, ao longo do ciclo fenológico da cultura, nos lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75 metros de profundidade e na bordadura

Lençol freático (m)	Dias após a emergência						
	48	63	78	93	108	123	138
0,25	0,204	0,386	0,646	0,730	0,745	0,750	0,750
0,50	0,192	0,375	0,634	0,765	0,810	0,810	0,810
0,75	0,236	0,483	0,761	0,903	0,958	0,970	0,970
Bordadura	0,243	0,498	0,785	0,936	0,985	1,010	1,010

Tabela 9. Número médio de capulhos, por planta, nos lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75 metros de profundidade e para a bordadura

	Lençol freático (m)			Bordadura
	0,25	0,50	0,75	
Número médio de capulhos	4,9	6,8	9,5	8,9

Tabela 10. Ciclo fenológico da cultura do algodoeiro nos lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75m de profundidade e para a bordadura, dado em dias após a emergência

Fases da cultura	Lençol freático (m)			Bordadura
	0,25	0,50	0,75	
Início da floração	62	65	66	61
Início da frutificação	75	84	81	79
Início da deiscência	125	133	129	127

As plantas contidas nos lisímetros submetidos as três profundidades do lençol freático em relação às da área de bordadura, apresentaram de uma forma geral uniformidade na germinação, início da floração, início da frutificação e início da deiscência. Não foram observadas diferenças maiores do que uma semana entre as fases do ciclo fenológico das plantas contidas nos lisímetros e na bordadura. Entretanto, esta uniformidade, não foi encontrada na produção, número de capulhos, altura e coloração das plantas.

Nos lisímetros com lençol freático à 0,25 e 0,50m a altura média das plantas e o número médio de capulhos por planta mostraram-se, com relação a bordadura, em média durante todo o ciclo da cultura, 21,3 e 20,1% mais baixas, respectivamente, e produziram em média 44,9 e 23,6% menos capulhos, respectivamente; a coloração das plantas apresentaram-se amareladas; e a produtividade foi muito baixa, 53,8 e 48,9% menor, respectivamente que a bordadura. De acordo com TOVEY (1969) a obtenção de tais resultados deve-se a problemas de aeração no solo.

Os lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,75m foram os que apresentaram características agronômicas mais uniformes com as obtidas na bordadura. As plantas submetidas a este nível freático em relação a bordadura apresentaram uma altura média, durante todo o ciclo da cultura, em média 3,2% mais baixas, produziram em média 6,7% mais capulhos e sua produtividade foi 9,2% mais alta.

Uma vez que qualquer uma das três profundidades freáticas adotadas proporcionassem condições ótimas de desenvolvimento à cultura dentro dos lisímetros, como aconteceu com o lençol freático à 0,75m, era esperado que suas características agronômicas superassem um pouco as obtidas pela bordadura. Esta pequena diferença deveu-se a execução mais cuidadosa das práticas culturais, durante todo o ciclo, dentro dos lisímetros do que em toda a área de bordadura e das condições ótimas de umidade do solo que as plantas encontram dentro deste instrumento.

4.4. Consumo de água pela cultura do algodoeiro

O consumo de água observado durante todo o ciclo da cultura do algodoeiro para os lisímetros com lençol freático à 0,25; 0,50 e 0,75m mostrou-se crescente com o aumento do lençol freático e foram da ordem de 682, 525 e 492mm, respectivamente. O aumento do requerimento d'água com o aumento do lençol freático concordam com resultados obtidos por CARTER & FLOYD (1975) e SHIH (1985,

1986).

A relação produção de algodão em caroço (Kg) por consumo de água durante o ciclo (m^3) para os lisímetros com lençol à 0,25; 0,50 e 0,75m, mostrou-se decrescente com aumento do lençol freático e foi da ordem de 0,24; 0,35 e 0,80Kg/ m^3 , respectivamente. A relação obtida para o lençol freático 0,75m é muito satisfatória, uma vez que DOORENBOS & KASSAM (1979) consideram para a cultura do algodoeiro, como bons resultados de eficiência de uso da água, os limites de 0,4 a 0,6Kg/ m^3 .

4.4.1. Análise da evapotranspiração máxima (ETm)

Os valores diários da evapotranspiração máxima (ETm) obtidos através dos lisímetros com lençol freático à 0,25 (ETm25); 0,50 (ETm50) e 0,75m (ETm75) foram agrupados em decêndios, onde se considerou somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas no ciclo. Os resultados estão apresentados na tabela 11, e podem ser vistos graficamente na figura 6.

Tabela 11. Valores médios decendiais da ETm, em mm/dia, para os lisímetros submetidos a um lençol freático de 0,25; 0,50 e 0,75m de profundidade

Decêndio	Valores de ETm		
	ETm25	ETm50	ETm75
1	5,3	—	—
2	4,3	1,1	1,4
3	4,2	2,0	—
4	5,2	—	1,6
5	—	2,3	2,2
6	4,8	—	2,8
7	4,3	3,5	3,0
8	4,5	5,3	3,7
9	3,8	5,4	4,1
10	4,5	5,4	4,7
11	—	—	—
12	3,2	3,3	4,3
13	2,9	3,0	3,1
14	2,8	2,4	2,6
15	2,8	2,3	2,4
16	2,0	2,1	2,4
17	1,7	1,4	1,3
18	1,4	1,3	1,2
19	1,6	1,4	1,0

Figura 6. Valores médios decendiais da evapotranspiração máxima (ETm), medidos em lisímetros com lençol freático a 0,25; 0,50 e 0,75m

De acordo com as fases de desenvolvimento da cultura, os lisímetros que operaram com lençol freático à 0,75m, apresentaram em média valores de evapotranspiração máxima (ET_m), da ordem de: 2,0 mm/dia entre as fases de germinação e início da floração; 3,4 mm/dia entre a floração até o início da frutificação; 4,1 mm/dia da frutificação até o início da deiscência; 2,5 mm/dia na deiscência e 1,2 mm/dia na fase final de colheita. Os maiores valores de ET_{m75} ocorreram no decêndio 10 (média 4,7 mm/dia), período compreendido pela fase de frutificação, e o maior valor diário observado no ciclo, para esta profundidade, se deu no dia 01/04/88 e foi da ordem de 6,3 mm/dia.

Para os lisímetros com lençol freático a 0,50m os maiores valores de ET_m ocorreram nos decêndios 8, 9 e 10 (média de 5,4 mm/dia), período compreendido pelas fases de floração e frutificação. O maior valor diário da ET_m, para esta profundidade, também se deu em 01/04/88 e foi da ordem de 6,5 mm/dia.

Os maiores valores da ET_m para os lisímetros com lençol freático à 0,25m mostraram-se inconsistentes e, ocorreram de forma geral, em sentido decrescente do início do ciclo da cultura para o final. Esta inconsistência verificada deveu-se, principalmente, nos primeiros decêndios, a grande quantidade de água perdida por evaporação, uma vez que nas observações de campo a superfície do solo para este lençol freático,

mesmo em períodos sem precipitação apresentava-se com aspecto molhado.

4.5. Coeficiente de cultura (K_c)

Os coeficientes de cultura (K_c), determinados a partir dos valores médios decendiais correspondentes da evapotranspiração máxima da cultura do algodoeiro (ET_m) e referência (ET_o), estão apresentados na tabela 12 e podem ser vistos graficamente na figuras 7.

Por se apresentarem mais consistentes e com correlações mais estreitas, apenas os valores médios decendiais, da ET_m e ET_o , agrupados considerando somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas no experimento (procedimento 2), foram utilizadas no cálculo do K_c . Somente os valores de ET_m obtidos através dos lisímetros com lençol freático à 0,75m (ET_{m75}), foram utilizados no cálculo também, uma vez que das três profundidades analisadas apenas esta se mostrou com maior uniformidade em relação as características agrônômicas obtidas na bordadura.

Tabela 12. Coeficientes de cultura (K_c) determinados a partir da relação entre os valores médios decendiais da ET_{m75} e da E_{To}

Decêndio	Valores de K_c			
	K_{cEt}	K_{cPe}	K_{cTw}	K_{cA2}
1	—	—	—	—
2	0,40	0,30	0,36	0,25
3	—	—	—	—
4	0,37	0,26	0,33	0,27
5	0,56	0,42	0,54	0,49
6	1,12	0,74	0,97	0,58
7	0,97	0,81	0,94	0,71
8	1,19	0,88	1,06	0,82
9	1,28	1,00	1,28	1,05
10	1,42	0,96	1,57	1,38
11	—	—	—	—
12	1,48	1,26	1,54	1,02
13	1,29	0,89	1,11	0,91
14	1,13	0,81	1,00	0,81
15	1,00	0,80	0,92	0,73
16	1,09	0,86	0,96	0,92
17	0,76	0,68	0,68	0,62
18	1,00	0,52	0,80	0,71
19	0,56	0,48	0,77	0,40

Figura 7. Coeficientes de cultura (K_c), determinados a partir da relação entre os valores médios decendiais da evapotranspiração máxima (ET_{m75}) e referência (E_{ToEt} , E_{ToPe} , E_{ToTw} , E_{ToA2})

De forma geral, observando-se a distribuição dos valores dos coeficientes de cultura (Kc), durante o ciclo da cultura constata-se a tendência destes valores em se distribuírem segundo à curva de Gauss, o que relaciona o desenvolvimento da cultura com o consumo de água. Estes resultados estão de acordo com PRUITT et alii (1972) que admite a tendência dos valores de coeficiente de cultura (Kc) ao longo de seu ciclo fenológico com uma distribuição normal.

As análises de regressão linear com seus respectivos coeficientes de correlação entre os valores de Kc estão apresentados na tabela 13. Como já esperado, devido os resultados encontrados na análise da ETo realizadas anteriormente, as correlações mais estreitas verificadas com os valores de coeficiente de cultura relativos ao evapotranspirômetro (KcEt), foram as obtidas a partir da ETo estimada pelo método de Thornthwaite (0,9483**), seguidas pelos métodos de Penman (0,9383**) e Tanque classe A2 (0,9163**).

Tabela 13. Análise de regressão entre os valores decendiais dos coeficientes de cultura (Kc)

Correlação y x	Regressão linear	r	Σx	Σy
KcEt x KcPe	$y = 0,0917 + 1,2128x$	0,9383**	11,67	15,62
KcEt x KcTw	$y = 0,1124 + 0,9320x$	0,9483**	14,83	15,62
KcEt x KcA2	$y = 0,1922 + 1,0749x$	0,9163**	11,67	15,62

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t

Na tabela 14 estão apresentados os valores dos coeficientes de cultura (K_c), determinados de acordo com as fases de desenvolvimento da cultura citadas por DOORENBOS & PRUITT (1977) e os referidos coeficientes sugeridos por DOORENBOS & KASSAM (1979).

Tabela 14. Coeficientes de cultura (K_c) para as fases de desenvolvimento da cultura

Métodos	Fases de desenvolvimento			
	I	II	III	IV
Evapotranspirômetro	0,39	1,02	1,26	0,85
Penman	0,28	0,77	0,94	0,64
Thorntwaite	0,35	0,96	1,23	0,80
Tanque classe A	0,26	0,73	0,97	0,66
DOORENBOS & KASSAM (1979)	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,9

O coeficiente de cultura (K_c) relativo ao evapotranspirômetro e ao método de Thorntwaite, com exceção da fase de desenvolvimento II, mostrou-se praticamente dentro dos limites recomendados pelos dois autores. Os valores médios de K_c obtidos pelos métodos de Penman e Tanque classe A, muito embora tenham se mostrados dentro dos limites recomendados na fase II, apresentaram para as demais fases um desvio médio em torno de -0,2.

4.6. Evaporação do Tanque classe A

A tabela 15 e a figura 8 apresentam os valores médios, em pântadas, da evaporação dos tanques classe A (EVA), instalados na estação agrometeorológica (A1) e sobre a unidade gramada, sem a cobertura (A2) e com a cobertura (A3) da tela de arame. No agrupamento dos valores diários da evaporação em pântadas, foram desconsiderados os dias em que houve ocorrência de precipitação e de limpeza dos tanques, visto que nestes dias os transbordamentos, respingos e maior número de leituras, promovem erros grosseiros e inconsistência dos resultados.

Tabela 15. Valores de evaporação dos tanques A1, A2 e A3 agrupados em pântadas

Pântada	Evaporação em mm/dia			Pântada	Evaporação em mm/dia		
	EVA1	EVA2	EVA3		EVA1	EVA2	EVA3
1	-	-	-	20	5,5	5,3	5,2
2	6,7	6,5	5,9	21	5,2	6,0	5,1
3	6,4	-	-	22	5,0	5,8	5,1
4	5,7	7,1	6,3	23	3,9	4,1	3,7
5	-	-	-	24	4,0	5,0	4,3
6	4,9	6,4	6,1	25	3,6	4,2	3,2
7	6,7	7,4	7,3	26	3,3	3,6	3,8
8	7,6	7,4	7,5	27	3,9	3,7	3,7
9	7,1	7,6	7,1	28	3,1	3,6	2,5
10	5,6	6,3	4,7	29	4,0	4,4	3,9
11	-	-	-	30	3,3	4,3	4,0
12	5,4	5,9	5,0	31	3,9	4,5	3,4
13	3,2	3,8	3,6	32	3,3	3,2	3,3
14	4,9	5,1	5,8	33	2,9	3,0	2,9
15	5,8	5,4	4,7	34	2,6	3,3	3,2
16	4,5	5,6	4,1	35	2,3	2,3	2,4
17	5,3	5,6	4,5	36	3,0	3,5	2,7
18	6,1	6,4	6,1	37	2,5	2,9	1,8
19	5,0	5,9	4,0	38	-	-	-

Figura 8. Valores médios, em pentadas, da evaporação dos tanques classe A instalados sobre a unidade gramada, com proteção (A3) e sem a proteção (A2) da tela de arame, e na estação agrometeorológica (A1)

Foram observados durante todo o experimento para os tanques A1, A2 e A3 uma evaporação acumulada de 868, 957 e 851mm, respectivamente.

As análises de regressão linear entre os valores médios da evaporação, em pentadas, para os tanques A1, A2 e A3 e seus respectivos coeficientes de correlação (r), estão apresentados na tabela 16 e podem ser visualizados através dos diagramas de dispersão mostrados nas figuras 9, 10 e 11.

Tabela 16. Análise de regressão entre os valores da evaporação dos tanques A1, A2 e A3 agrupados em pântadas

Correlação	Regressão Linear	r	Σx	Σy
EVA2 X EVA1	$y = 0,5610 + 0,9783x$	0,9479	149,8	165,1
EVA1 X EVA3	$y = 0,8873 + 0,9242x$	0,9230	146,9	165,1
EVA2 X EVA3	$y = 0,5516 + 0,8958x$	0,9230	146,9	149,8

A comparação entre os 3 tanques classe A, realizou-se com base no desvio (em percentagem) existente entre o valor correspondente da evaporação de cada pântada. O valor do desvio padrão (s) destes desvios estão apresentados abaixo.

O tanque classe A instalado sobre a unidade gramada sem tela (A2), evaporou em média 14,53% (s = 0,1702) a mais que o tanque classe A com tela (A3), instalado sobre a mesma unidade. Este resultado discorda em 3,7 e 4,3% dos encontrados por MARTINS et alii (1988) e SILVA (1979), respectivamente.

O tanque classe A instalado na estação agrometeorológica (A1) apresentou em média uma evaporação 11,12% (s = 0,1064) menor e 2,8% (s = 0,1501) maior, respectivamente que a evaporação dos tanques classe A, sem proteção (A2) e com proteção (A3) da tela de arame, sobre a unidade gramada. O pequeno desvio médio (2,8%), existente entre os valores da evaporação dos tanques A1 e A3 mostra que a presença da tela de arame que circunda a estação meteorológica, bem como a dos instrumentos que ali se encontram instalados, proporcionaram ao tanque A1

efeitos de redução da radiação solar e do vento junto a superfície d'água, aproximadamente iguais ao da tela de arame usada para cobrir o tanque A3.

Figura 9. Diagrama de dispersão entre os valores de evaporação, em pentadas, obtidos pelos tanques classe A instalados sobre a unidade gramada, sem proteção da tela de arame (A2) e na estação agrometeorológica (A1)

Figura 10. Diagrama de dispersão entre os valores de evaporação, em pântadas, obtidos pelos tanques classe A instalados sobre a unidade gramada, com proteção (A3) e sem a proteção (A2) da tela de arame

Figura 11. Diagrama de dispersão entre os valores de evaporação, em pântadas, obtidos pelos tanques classe A instalados sobre a unidade gramada, com proteção da tela de arame (A3) e na estação agrometeorológica

5. CONCLUSÕES

De acordo com as informações coletadas e analisadas no presente estudo concluiu-se que:

a) O efeito da energia advectiva proporcionado pela área adjacente ao evapotranspirômetro, mesmo para uma região com características climáticas iguais a de Lavras - MG, deve ser considerada através do agrupamento dos dados (conforme o procedimento 2) ou evitada com a utilização de irrigações numa área o mais extensa possível;

b) O método de Thornthwaite mostra-se como o mais indicado para se estimar a evapotranspiração de referência (E_{To}) na região de Lavras - MG no período compreendido pelos meses de janeiro a maio, posto que, além de ser um método muito simples de cálculo, seus resultados decendiais apresenta-se próximos e com estreita correlação aos obtidos por medição no evapotranspirômetro;

c) Muito embora os métodos de Penman e Tanque classe A tenham superestimado acentuadamente a evapotranspiração de referência (E_{To}) do período estudado, eles apresentam-se como excelentes métodos alternativos, uma vez que seus resultados mostram-se também, estreitamente correlacionados com as medidas do evapotranspirômetro;

d) O lisímetro utilizado na pesquisa presta-se muito bem a medida da evapotranspiração e estudo do lençol freático, no entanto a falta de uma cobertura móvel, sobre a caixa principal do lisímetro nos dias de maior concentração pluviométrica, pode levar a uma perda considerável das leituras diárias do instrumento;

e) A cultura do algodoeiro é sensível a profundidade do lençol freático e exige para que se mantenha suas condições ótimas de desenvolvimento, que os solos pobres em drenagem ou que apresentem características físicas semelhantes ao utilizado no estudo, permaneça durante o ciclo com uma profundidade freática próxima ou superior a 0,75m;

f) A evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura do algodoeiro submetida a um lençol freático de 0,75m, durante o ciclo foi de 492mm (média de 2,7 mm/dia) e mostrou-se crescente com o desenvolvimento da cultura, atingindo seu valor máximo no período de frutificação com uma lâmina de 4,4mm/dia;

g) Os coeficientes de cultura (K_c), determinados a partir dos valores da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Thornthwaite pode ser utilizado de forma eficiente no manejo da irrigação da cultura do algodoeiro, no período compreendido pelo experimento;

h) As diferenças observadas nas medidas de evaporação, para os tanques classe A utilizados no experimento mostram-se pequenas. Os valores mais similares foram os obtidos pelo tanque classe A com tela e o instalado na estação agrometeorológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABBE, C. A first report on the relations between climates and crops. U.S. Dept. Agr. Weather bureau Bul., Washington (36): 1905.
- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. Lisimeters. Rome, FAO, 1982. 68p. (Irrigation and Drainage Paper, 39)
- AL-SHA'LAN, S. & SALIH, A.M.A. Evapotranspiration estimates in extremely arid areas. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, New York, 113(4): 565-74, Nov. 1987.
- ANDRADE, H. Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do município de Lavras - MG, em correlação com a geomorfologia da área. Lavras, 1979. 76p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura de Lavras)
- ASSIS, F.N. de. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, 1978. 65p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar. Piracicaba, 1981. 82p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5.ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 1989 596p.
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLAKE, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling, p.374-90.

- BLAKE, G.R. Particle density. In: BLAKE, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling, p.371-3.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. Physiological Reviews, Ithaca, 27: 779-87, 1926.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia. Normais climatológicas. Rio de Janeiro, 1969. v.3, 99p.
- BURMAN, R.D.; NIXON, P.R.; WRIGHT, J.L.; PRUITT, W.O. Water requirements. In: JENSEN, M.E., ed. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, ASAE, 1983. cap. 6, p.189-232.
- CAMARGO, A.P. de. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1966. 59p. (IAC. Boletim Técnico, 16)
- CARTER, C.E. & FLOYD, J.M. Inhibition of sugarcane yields by high water table during dormant season 1. Proc. ISSCT, 4(NS): 18-14, 1975.
- CASTRO NETO, P. & SOARES, A.M. Avaliação sazonal de métodos para a estimativa da evapotranspiração potencial diária em Lavras, estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., Maceió, 1989. Anais. São José dos Campos, INPE, 1989. p.265-74.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLAKE, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling, p.545-66.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water. Rome, FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.D. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO, 1977. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, 24)
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. da. Estudo da demanda de água do feijoeiro. Piracicaba, 1980. 62p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

- ENCARNAÇÃO, C.R.F. da. Exigências e coeficientes culturais da batata (*Solanum tuberosum* L.). Piracicaba, 1987. 62p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- FREIRE, J.C. & SCARDUA, R. Influência da matéria orgânica na retenção de umidade de um Latossolo Roxo Distrófico do município de Lavras, Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, 3(1): 29-36, jan./jun. 1979.
- GARCIA, A.G. Algodonero. In: GARCIA, A.G. Cultivos herbáceos extensivos. 4. ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1990. p.317-36
- HILLEL, D.; GAIRON, S.; FALKENFLUG, V.; RAWITZ, E. New design of low-cost hydraulic lysimeter system for field mensurament of evapotranspiration. Israel Journal of Agricultural Research, Bet-Dagan, 19(2): 57-63, Apr. 1969.
- JAGTAP, S.S. & JONES, J.W. Stability of crop coefficients under different climate and irrigation management pratices. Irrigation Science, Heidelberg, 10(3): 231-44, July/Sept., 1989.
- JAMES, L.G. Irrigation requerimentos and scheduling. In: JAMES, L.G. Principles of farm irrigation system design. New York, John Wiley, 1988. cap.1, p.1-50.
- MARTINS, S.R.; APARÍCIO, D.J.; CASTILLO, F.E. Contribuição ao estudo da evaporação e evapotranspiração de referência - determinação de coeficientes de tanque classe A. In: CONGRESSO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. Anais. Florianópolis, ABID, 1988. v.2, p.1023-37.
- MOURA, M.C.F.L. Determinação da consumo de água para a cultura do milho (*Zea mays* L.) pelo método lisimétrico. Piracicaba, 1990. 94p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- OLIVEIRA, F.A. Determinação da época do plantio e uso consuntivo do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. Coker 100A) no sub-médio São Francisco. Campina Grande, 1976. 71p. (Mestrado - Universidade Federal da Paraíba)
- OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. 25.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 440p.

- ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, A.P. de.; VILLA NOVA, N.A. Correlação entre evapotranspiração potencial calculada segundo os métodos de Penman e de Thornthwaite e de dados de evapotranspirômetros na região de Ribeirão Preto. *Bragantia*, Campinas, 25(2): LXV, dez. 1966. (Nota, 15)
- PAVANI, L.C. Evapotranspiração e produtividade em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano Precoce) sob três níveis de potencial de água do solo. Piracicaba, 1985. 171p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, 4: 9-29, 1956.
- PERES, J.G. Determinação dos coeficientes de cultura (Kc) da cana de açúcar: ciclo de cana-soca. Piracicaba, 1988. 94p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- PRUITT, W.O.; LOURENCE, F.J.; VON OETTINGEN, S. Water use by crops as affected by climate and plant factors. *California Agriculture*, Berkeley, 26(10): 10-5, Oct. 1972.
- RAIJ, B.van; SILVA, M.N. da.; BATAGLIA, O.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico, 1985. 107p. (IAC. Boletim Técnico, 100)
- SAMMIS, T.W.; MAPEL, C.L.; LUGG, D.G.; LANSFORD, R.R.; MCGUCKIN, J.T. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree-days. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 28(3): 773-80, May/June 1985.
- SAUNDERS, L.C.U. Procedimento na determinação da evapotranspiração real utilizando a equação da lei da conservação das massas com as culturas milho e algodão. Fortaleza, 1990. 57p. (Livre Docência - Universidade Federal do Ceará)
- SEDIYAMA, G.C. Necessidade de água para os cultivos. Brasília, ABEAS, 1987. 145p. (Engenharia da Irrigação. Módulo, 4)
- SHIH, S.F. Evapotranspiration and yield of sweet corn grown with shallow water tables. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 28(5): 1578-82, Sept./Oct. 1985.

- SHIH, S.F. Evapotranspiration, water-use efficiency, and water table studies of sweet sorghum. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 29(3): 763-73, May/June 1986.
- SILVA, A.A.G. da. Avaliação da eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Parnaíba - Pi. Piracicaba, 1989. 80p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- SILVA, W.J. da. Estimativa da evaporação potencial em condições de campo, usando o tanque classe A modificado. Viçosa, 1979. 60p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa)
- THORNTHWAITTE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, New York, 38(1): 55-94, 1948.
- TOVEY, R. Alfalfa water table investigations. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, 995(IR4): 525-35, Dec. 1969.
- VILELA, E.A. & RAMALHO, M.A.P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras, Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, 3(1): 71-9, jan./jun. 1979.
- VILLA NOVA, N.A. Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação. Piracicaba, ESALQ/ Departamento de Física e Meteorologia, 1983. 22p.
- VILLA NOVA, N.A. & REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P.C. de; CLEARY, R.W. Engenharia hidrológica. Rio de Janeiro, UFRJ, 1989. cap.3, p.143-97.
- WRIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, 108(IR1): 57-74, Mar. 1982.
- WRIGHT, J.L. & JENSEN, M.E. Peak water requeriments in southern Idaho. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, 98(IR 2): 193-201, June 1972.

APENDICE

Tabela 1. Coeficientes de tanque (Kp) para o tanque classe A para diferentes coberturas vegetais e níveis médios de umidade relativa e vento em 24 horas

Vento em Km\dia	TANQUE INSTALADO EM ÁREA GRAMADA			
	Tamanho da bordadura (grama) em metros	UR média em %		
		<40	40 -70	>70
Leve < 175	1	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,70	0,80	0,85
	1000	0,75	0,85	0,85
Moderado 175 - 425	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,60	0,70	0,75
	100	0,65	0,75	0,80
	1000	0,70	0,80	0,80
Forte 425 - 700	1	0,45	0,50	0,60
	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,60	0,65	0,70
	1000	0,65	0,70	0,75
Muito forte > 700	1	0,40	0,45	0,50
	10	0,45	0,55	0,60
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,55	0,60	0,65
Vento em Km\dia	TANQUE INSTALADO SOBRE SOLO NÚ			
	Tamanho da bordadura (solo nú) em metros	UR média em %		
		<40	40-70	>70
Leve < 175	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425 - 700	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 700	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,35	0,40	0,45

Fonte: DOORENBOS & PRUITT (1977)

Tabela 2. Fatores de Correção da evapotranspiração de referência mensal, dada pelo nomograma de Thornthwaite, para ajustá-la ao número de dias do mês e à duração do brilho solar diário, nos vários meses do ano e latitude (ϕ) entre 15 graus norte e 37 graus sul

ϕ	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
15°	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10°	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	1,98	0,99
5°	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
eq.	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5°	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10°	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15°	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20°	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22°	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23°	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24°	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25°	1,17	1,02	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26°	1,17	1,02	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27°	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28°	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29°	1,19	1,04	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30°	1,20	1,04	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31°	1,20	1,04	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32°	1,21	1,04	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33°	1,22	1,04	1,06	0,94	0,90	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34°	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,16	1,24
35°	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
36°	1,24	1,04	1,06	0,94	0,88	0,81	0,86	0,94	1,00	1,13	1,17	1,26
37°	1,25	1,05	1,06	0,94	0,88	0,80	0,86	0,93	1,00	1,14	1,18	1,27

Fonte: CAMARGO (1966)

TABELA 3. Dados climáticos decendiais médios, obtidos na estação agrometeorológica de Lavras no período de 16/12/87 a 20/06/88.

Decên- dias	Precip. mm	NP dias	$\bar{T}$ °C	$\bar{U}$ Km/dia	es mm/Hg	es mm/Hg	UR %	$\bar{n}$ horas
1	40,6	6	22,2	221	19,83	15,95	80,4	6,1
2	95,1	3	23,2	223	21,07	16,62	78,9	6,0
3	69,3	8	21,4	214	18,95	16,02	84,5	3,2
4	1,4	1	25,6	202	24,43	16,20	66,3	9,4
5	79,5	6	24,2	239	22,42	16,25	72,5	6,6
6	136,8	8	21,5	184	19,04	16,32	85,7	2,0
7	51,0	5	22,3	189	20,07	16,82	83,8	5,6
8	81,6	5	23,3	139	20,53	17,57	85,6	5,5
9	0,0	-	21,9	249	19,58	13,88	70,9	7,6
10	64,7	4	21,4	231	18,94	14,51	76,6	6,8
11	0,0	-	22,8	193	20,62	14,57	70,7	8,3
12	24,1	2	21,3	219	18,82	14,82	78,7	5,5
13	2,6	3	21,2	223	18,67	15,00	80,3	4,7
14	0,0	1	20,5	219	17,97	13,71	76,3	7,0
15	0,7	1	20,9	139	18,60	13,61	73,2	7,4
16	18,7	3	20,2	179	17,66	13,05	73,9	6,7
17	12,8	3	17,7	182	14,28	11,54	80,8	4,3
18	13,6	2	16,4	181	14,10	10,86	77,0	5,3
19	7,8	1	15,3	190	13,04	9,52	73,0	7,1

NP = número de precipitações ocorridas no decêndio;

$\bar{T}$ = temperatura média do ar;

$\bar{U}$ = velocidade média do vento;

es = tensão de saturação do vapor;

ea = tensão atual de vapor;

UR = umidade relativa do ar;

$\bar{n}$ = total diário de insolação.

Tabela 4. Temperatura média mensal normal (T_n), em °C

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
21,9	21,9	21,3	19,3	16,9	15,6	15,4	17,4	19,1	20,5	20,9	21,2

Fonte: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS
(1969)

Figura 1. Diagrama de dispersão entre os valores médios decenciais da E_{To} , medidos no evapotranspirômetro (E_{ToEt}) e estimados pelo método de Penman (E_{ToPe}), agrupados conforme o procedimento 1

Figura 2. Diagrama de dispersão entre os valores médios decenciais da E_{To} , medidos no evapotranspirômetro (E_{ToEt}) e estimados pelo método de Thornthwaite (E_{ToTw}), agrupados conforme o procedimento 1

Figura 3. Diagrama de dispersão entre os valores médios decendiais da E_{To} , medidos no evapotranspirômetro (E_{ToEt}) e estimados pelo método do Tanque classe A (E_{ToA2}), agrupados conforme o procedimento 1

Figura 4. Diagrama de dispersão entre os valores médios decendiais da E_{To} , medidos no evapotranspirômetro (E_{ToEt}) e estimados pelo método de Penman (E_{ToPe}), agrupados conforme o procedimento 2

Figura 5. Diagrama de dispersão entre os valores médios decendiais da ETo, medidos no evapotranspirômetro (EToEt) e estimados pelo método de Thornthwaite (EToTw), agrupados conforme o procedimento 2

Figura 6. Diagrama de dispersão entre os valores médios decendiais da ETo, medidos no evapotranspirômetro (EToEt) e estimados pelo método do Tanque classe A (EToA2), agrupados conforme o procedimento 2