DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NA CULTURA DA CENOURA
(*Daucus carota*, L.) ATRAVES DOS METODOS LISIMETRICO E
BALANÇO HÍDRICO SOB CONDIÇÕES DE CAMPO.

MARIA VILMA TAVARES DE MOURA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

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
Drenagem.

PIRACICABA

Estado de São Paulo Brasil

Agosto - 1992

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

M929d Moura, Maria Vilma Tavares de
Determinação do consumo de água na cultura da cenoura
(Daucus carota, L.) através dos métodos lisimétrico e ba
lanço hídrico sob condições de campo. Piracicaba, 1992.
84p. ilustr.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Balanço hídrico 2. Cenoura - Água requerida - Deter
minação 3. Cenoura - Irrigação - Manejo 4. Evapotranspira
ção 5. Lisímetro I. Escola Superior de Agricultura Luiz de
Queiroz, Piracicaba

CDD 635.13
551.572

DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NA CULTURA DA CENOURA
(*Daucus carota*, L.) ATRAVES DOS METODOS LISIMETRICO E
BALANÇO HÍDRICO SOB CONDIÇÕES DE CAMPO.

MARIA VILMA TAVARES DE MOURA

Aprovada em: 14.09.92

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel ESALQ/USP

Prof. Dr. José Antônio Frizzone ESALQ/USP

Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova ESALQ/USP

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel
Orientador

Aos meus pais
Sebastião e Francisco,
aos meus irmãos
João, Dárc, Gorete e Bonifácio,
e aos meus sobrinhos,

Dedico este trabalho .

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel, pelo apoio e orientação indispensáveis para a realização deste trabalho;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pelos ensinamentos;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural: Laudelino Polizel, José Figueredo, Gilmar Batista Grigolon, Hélio Toledo Gomes e Renato Benedito Nicolau, pela colaboração;

Aos colegas Adunias, Roberto, Du, Eduardo, Jorge e Ana Rita pela cooperação e convívio amigável durante o curso de Pós-Graduação;

Aos colegas Carlos Brancildes Monte Calheiros, Alexandre Wilkenman de Araújo pelo auxílio na revisão do texto, e Edson Arruda Pereira pela confecção das figuras.

À Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Rio Grande do Norte pela oportunidade de realização do curso;

À amiga Solange Dias de Medeiros pelo apoio e incentivo;

Ao Dr. Osvaldo Chavez Carbajal, pelos ensinamentos e apoio durante o início do meu trabalho na área de Irrigação e Drenagem.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.

Agradecimento Especial

À Sergio Marques Junior, pelo companheirismo, carinho, confiança e incentivo em todos os momentos.

S U M Á R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS E TABELAS	x
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1. Evapotranspiração	03
2.2. Métodos para determinação da evapotranspiração	05
2.2.1. Métodos de medidas diretas	06
2.2.2. Métodos de medidas indiretas	12
2.3. Coeficiente de cultura	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Caracterização da área experimental	19
3.1.1. Solo	19
3.1.2. Clima	23
3.1.3. Planta	24
3.2. Lisímetros de nível freático constante.. ...	24
3.3. Balanço hídrico sob condições de campo	27
3.3.1. Variação do armazenamento de água no solo	30

3.3.2. Precipitação pluviométrica	32
3.3.3. Irrigação	32
3.3.4. Drenagem profunda.....	33
3.3.5. Deflúvio superficial	35
3.3.6. Evapotranspiração..	35
3.4. Instalação do experimento	36
3.4.1. Preparo do solo.....	36
3.4.2. Adubação	36
3.4.3. Plantio	36
3.5. Condução do experimento	39
3.5.1. Consumo de água nos lisímetros.....	39
3.5.2. Irrigação da área externa aos lisímetros	39
3.5.3. Leitura dos tensiômetros..	40
3.5.4. Capinas	40
3.5.5. Desbastes	40
3.5.6. Adubação em cobertura	40
3.5.7. Aplicação de defensivos	40
3.5.8. Colheita	41
3.6. Determinação da evapotranspiração de referência	41
3.6.1. Método do tanque Classe A	41
3.6.2. Método de Penman	42
3.7. Determinação dos coeficientes de cultura ...	43
3.8. Parâmetros avaliados	44
3.8.1. Produção	44
3.8.2. Dados biométricos	44

3.8.3. Eficiência de Uso da Água	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1. Evapotranspiração medida	46
4.1.1. Lisímetros	46
4.1.2. Balanço hídrico sob condições de campo	51
4.1.3. Evapotranspiração Máxima X Evapotranspiração Real	54
4.2. Evapotranspiração estimada	56
4.2.1. Métodos do Tanque Classe A e Penman.	56
4.3. Coeficiente de cultura (Kc)	59
4.4. Desempenho da cultura	64
4.4.1. Produtividade	64
4.4.2. Dados biométricos	66
4.4.3. Eficiência de Uso da Água (e.u.a.) .	67
5. CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
APÊNDICE	78

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01 - Esquema de montagem do lisímetro de nível freático constante	25
02 - Reservatórios de alimentação e intermediários	26
03 - Esquema do elemento de volume do solo considerado para o balanço hídrico sob condições de campo	29
04 - Corte longitudinal de um tensiômetro com manômetro de mercúrio instalado no campo	31
05 - Detalhes da área experimental	37
06 - Vista da área experimental	38
07 - Vista parcial da distribuição dos tensiômetros e coletores na área experimental	38
08 - Valores de Etm média por decêndio durante o ciclo vegetativo total	48
09 - Dados estimados e observados da Etm média versus decêndio para a cultura da cenoura.	50

10 - Valores de Etr média por decêndio durante o ciclo vegetativo total	53
11 - Valores de Etm e Etr acumulados durante o ciclo vegetativo total	54
12 - Valores de Eto estimada pelos métodos do tanque Classe A e Penman por decêndio durante o ciclo vegetativo da cultura	58
13 - Valores de coeficiente de cultura por decêndio estimados pelos métodos do Tanque Classe A e Penman	61
14 - Dados estimados e observados do KcmCA e KcmPn em função dos decêndios	64

Apêndice

01 - Valor médio de Kc para o estágio inicial em função da Etp (durante o estágio inicial e frequência de precipitações ou irrigações, ocorridas no período	79
---	----

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadros	Página
01 - Resultados das análises físicas do solo ...	20
02 - Resultados das análises químicas do solo ..	20
03 - Umidade Volumétrica em função dos potenciais matriciais (MPa) para as diferentes camadas	21
04 - Parâmetros para ajuste da curva de retenção	22
05 - Condutividade hidráulica do solo saturado.	22
06 - Elementos do clima local. Valores médios por decêndio, para o período experimental	23
07 - Valores médios por decêndio de Etm da cultura durante o ciclo vegetativo total...	47
08 - Valores médios de Etm por estágio de desenvolvimento da cultura	49
09 - Valores médios da Etr por decêndio, determinados pelo método do balanço hídrico	51
10 - Valores de Etm e Etr por estágio de desenvolvimento da cultura	55

11	- Evapotranspiração de referência segundo o método do Tanque Classe A	56
12	- Evapotranspiração de referência segundo o método de Penmam	57
13	- Comparação entre os valores de Eto estimados pelos métodos do Tanque Classe A e Penmam	59
14	- Valores de coeficiente de cultura estimados pelos métodos do Tanque Classe A e Penmam.	60
15	- Valores de coeficiente de cultura por fase de desenvolvimento vegetativo	62
16	- Produtividade da cultura	65
17	- Dados biométricos	66
18	- Valores de consumo de água, produtividade comercial e eficiência do uso da água	67

Tabelas

01	- Valores de coeficiente de conversão do Tanque Classe A (K_p), para a estimativa da evapotranspiração de referência (E_{to})	80
02	- Valores de Δ/γ entre 1 e 40 C	81
03	- Radiação extra-terrestre (Q_0), mm.ev.eq. .	82
04	- Duração máxima da insolação (N)	83
05	- Pressão máxima do vapor sobre a água (e_s)	84

DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NA CULTURA DA CENOURA
(*Daucus carota* L.) ATRAVÉS DOS MÉTODOS LISIMÉTRICO E
BALANÇO HÍDRICO SOB CONDIÇÕES DE CAMPO

Autor: MARIA VILMA TAVARES DE MOURA

Orientador: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade estimar a demanda hídrica de uma cultura de cenoura (cv Nantes Superior), mediante a utilização de três lisímetros de nível freático constante e pelo balanço hídrico sob condições de campo, para as condições de Piracicaba-SP ($22^{\circ}42'30''S$; $47^{\circ}30'00''W$ e 576 m).

Os valores da evapotranspiração máxima (E_{tm}) e real (E_{tr}) obtidos pelos dois métodos foram correlacionados com os valores da evapotranspiração de referência (E_{to}) estimados pelos métodos Tanque Classe A e Penman, objetivando a obtenção de coeficientes de cultura (K_c).

Os valores médios do consumo total de água pelo método do balanço hídrico apresentaram resultados inferiores em 4.3% o valor medido pelos lisímetros. Estes resultados viabilizaram a utilização deste método na

estimativa da demanda total de água tanto para o ciclo da cultura como para valores médios diários.

Os valores de estimativa da evapotranspiração de referência mostraram que o método de Penman apresentou, em geral, resultados inferiores ao método do Tanque Classe A para os períodos (10 dias) considerados.

DETERMINATION OF CARROT WATER CONSUMPTION
(*Daucus carota* L.) BY LYSIMETRIC METHOD AND WATER BALANCE
UNDER FIELD CONDITIONS.

Author: MARIA VILMA TAVARES DE MOURA

Adviser: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

SUMMARY

This research objective was to estimate the evapotranspiration of a carrot crop (cv. Nantes Superior), using three constant water table level lysimeters, and by the water Balance under field conditions.

Maximum (E_{tm}) and actual (E_{tr}) evapotranspiration determined by the two methods were correlated with the reference evapotranspiration estimated with the Class A Pan Method (E_{toCA}) and Penman Method (E_{toPn}), to get the crop coefficients (K_c).

The mean value of the total water consumption by the water balance method underestimated by 4.3% the values obtained with the lysimeter. Such results permit the method to be utilized to estimate either the total water consumption through out the whole cycle, or the mean daily values.

In general, estimated reference

evapotranspiration values showed that the Penman method resulted in lower values than those given the Classe A, through all periods (10 days) considered.

1. INTRODUÇÃO

Quando racionalmente planejada e conduzida, a horticultura é, dentro da agricultura, um segmento de elevada rentabilidade econômica.

Dentre as hortícolas mais utilizadas na alimentação da população brasileira, a cenoura (*Daucus carota* L.) destaca-se em razão do seu alto valor nutritivo e medicinal, sendo provavelmente, a melhor fonte de vitamina A. Associado a esses fatores, a grande aceitação da cultura por parte do mercado consumidor, deve-se à expansão das indústrias de conservas à razoável tolerância ao transporte e armazenamento.

No Brasil, a cenoura é cultivada em uma área de aproximadamente 11 mil hectares, da qual cerca de 80% utiliza a irrigação, o que demonstra a importância dessa técnica no seu processo produtivo (MARQUELLI & VIEIRA, 1990).

Apesar desta técnica ser muito utilizada, é executada, na maioria das vezes de forma inadequada, contribuindo para a obtenção de baixas produtividades e produtos de baixa qualidade, concorrendo ainda, para

aumentar os custos de utilização da água no cultivo irrigado de cenoura. Assim sendo, para que se garanta o êxito da aplicação da técnica da irrigação, é imprescindível o conhecimento da quantidade de água a ser aplicada, bem como da frequência de aplicação desta.

Com este fim, foram desenvolvidos ao longo do tempo, vários métodos que visam determinar a demanda hídrica nos diversos estágios de desenvolvimento das culturas. Estes métodos vão desde técnicas simples que envolvem dados climáticos à complexos processos que integram os sistema água-solo-planta-atmosfera.

Dois destes métodos, o lisimétrico e do balanço hídrico sob condições de campo, foram adotados neste trabalho objetivando a determinação do consumo de água da cenoura, nas condições de Piracicaba (SP). Esta determinação fornecerá subsídios para o planejamento e manejo criteriosos de cultivos irrigados de cenoura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Evapotranspiração

A água é elemento essencial ao metabolismo vegetal, pois participa principalmente de sua constituição e do processo de fotossíntese. A planta, todavia, transfere para a atmosfera cerca de 98% da água retirada do solo. Por isto, o consumo de água das plantas normalmente se refere à água perdida pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração.

A evaporação é, portanto, o conjunto de fenômenos físicos, que propicia a mudança de estado da água da fase líquida para a gasosa, diretamente da superfície do solo. Quando esta mudança se dá através das plantas, recebe o nome de transpiração. No caso de solos parcialmente vegetados estes processos ocorrem simultânea e interdependentemente, daí a utilização do termo evapotranspiração.

Este termo foi introduzido na literatura por THORNTHWAITTE (1948), que definiu a evapotranspiração potencial como a perda de água de uma superfície completamente coberta por vegetação, em fase de crescimento

ativo, sem restrições hídricas e com dimensões grande o suficiente para minimizar os efeitos da advecção local. Para o autor, quando qualquer uma das condições citadas não for atendida tem-se a evapotranspiração real.

Procurando aperfeiçoar estes conceitos, muitos pesquisadores propuseram modificações. PENMAN (1956) redefiniu a evapotranspiração potencial como sendo o processo de transferência de água para a atmosfera na unidade de tempo, de uma superfície totalmente coberta por vegetação verde de porte baixo e altura uniforme, em pleno desenvolvimento vegetativo e sem restrições de água no solo. Esta definição causou polêmica entre os pesquisadores, uma vez que o tipo de vegetação e a altura da cobertura vegetal não foram especificados.

Neste sentido, WRIGHT & JENSEN (1972) sugeriram a alfafa como cultura de referência, com altura variando entre 30 e 50 cm, em fase de crescimento ativo, cultivada sem restrições de água, por apresentar valores de evapotranspiração semelhante ao valor máximo obtido para a maioria das culturas, em regiões áridas.

Posteriormente, DOOREMBOS & PRUITT (1977) acrescentaram novas idéias à definição de PENMAN (1956). Segundo estes autores, a superfície do solo deve estar totalmente vegetada com grama, com altura uniforme variando de 8 a 15 cm e denominaram então o termo anteriormente citado como evapotranspiração potencial ou de referência. Caso a cobertura vegetal seja uma cultura de interesse

agrícola qualquer, cultivada sem quaisquer restrições, define-se como evapotranspiração máxima.

Diversos fatores podem afetar a evapotranspiração. THORNTHWAITE (1948) cita o clima, disponibilidade de água, a cobertura vegetal e as técnicas de manejo adotadas. TANNER (1968) acrescenta outros fatores como capilaridade, arquitetura da planta, sistema radicular e variações fisiológicas. As condições de solo e as práticas agrícolas, são, segundo DOOREMBOS & PRUITT (1977), fatores que também influenciam na evapotranspiração.

Face a importância para a agricultura do conhecimento do balanço de água de uma região e a determinação das necessidades hídricas das culturas, cujos valores são potencialmente determinados pela evapotranspiração, inúmeros trabalhos foram desenvolvidos objetivando quantificar os parâmetros envolvidos nesta estimativa, utilizando para isto dados obtidos através de equipamentos instalados no campo e empregando modelos teóricos que variam desde métodos mais simples que correlacionam determinados elementos do clima até modelos mais complexos que fundamentam-se no processo físico da evaporação.

2.2. Métodos para determinação da evapotranspiração

Os métodos de determinação da evapotranspiração foram revistos por BURMAN et alii (1980)

que sugeriram classificá-los em dois grandes grupos: O grupo de medidas diretas e o grupo de medidas indiretas.

2.2.1. Métodos de medidas diretas

Os métodos de medidas diretas ou métodos do balanço hídrico podem ser divididos basicamente em dois tipos: os que utilizam lisímetros e aqueles em que a estimativa é feita diretamente num volume controlado de solo (balanço hídrico sob condições de campo).

Dentre os métodos citados, VAN BAVEL (1961) considera a lisimetria como sendo o único método para determinação da evapotranspiração com o nível de precisão adequado. Estes aparelhos são recomendados também como padrão para calibrar outros métodos utilizados na estimativa da evapotranspiração. Entretanto, BERLATO & MOLION (1981) argumentam que os lisímetros têm sua atuação restrita ao campo, devendo serem mais utilizados para pesquisas. Isto devido aos custos envolvidos e aos cuidados necessários a sua utilização.

Os lisímetros foram definidos por TANNER (1968) como um grande dispositivo, constituído de um volume de solo contido, podendo estar coberto com vegetação, que tem como propósito avaliar ou controlar os vários termos da equação geral do balanço de água.

ABOUKHALED et alii (1982) estudando a lisimetria, também definiram estes equipamentos como sendo recipientes grandes, cheios de solo e enterrados,

instalados em locais que representam as condições naturais do meio, de superfície desnuda ou coberta com vegetal, utilizados para determinar a evapotranspiração de uma cultura em fase de crescimento, ou uma cobertura vegetal de referência, ou para determinar a evaporação de um solo nu. Para estes autores, os lisímetros podem ser divididos em dois tipos principais: pesáveis e não pesáveis. Os lisímetros pesáveis apresentam maior precisão na obtenção de dados diários de evapotranspiração, enquanto os lisímetros de drenagem (não pesáveis) apresentam resultados satisfatórios para períodos iguais ou superiores a sete dias. Os tipos pesáveis, apesar de mais precisos, necessitam de equipamentos mais sofisticados, apresentando portanto, custos superiores.

Entre os lisímetros não pesáveis GANGOPADHYAYA et alii (1971) descrevem os tipos desenvolvidos por Thornthwaite e Venkstaraman, que possuem como característica principal a presença de lençol freático variável e constante, respectivamente.

Os lisímetros de nível freático constante são bastante utilizados em várias partes do mundo, devido a sua precisão, fácil operação e baixo custo, podendo apresentar dados diários de evapotranspiração. ASSIS & VILLA NOVA (1980) utilizando um equipamento deste tipo, concluíram que este melhor representa a evapotranspiração máxima das culturas, pois ao mínimo valor de tensão de água no solo na zona radicular, aliou-se um máximo em condições de aeração,

o que não ocorre em lisímetros convencionais.

Em nosso meio, este tipo de equipamento também encontra-se bastante difundido. Autores como ENCARNAÇÃO (1980), BARBIERI (1981), CURY (1985), COSTA (1988), MOURA (1990) e HERNANDEZ (1991) concordam com a viabilidade de utilização deste tipo de lisímetro na determinação da evapotranspiração máxima, por apresentar simplicidade operacional e homogeneidade de desempenho em todas as fases de desenvolvimento da cultura.

Apesar da lisimetria ser considerada como o método mais preciso na determinação da evapotranspiração, o balanço hídrico num volume de controle do solo é fundamental, do ponto de vista agrônômico, pois define as condições hídricas nas quais as culturas se desenvolvem, (REICHARDT, 1985). Esta metodologia nada mais é que a somatória das quantidades de água que entram e saem de um determinado elemento de volume de solo, num dado intervalo de tempo. Como resultado tem-se a quantidade de água líquida disponível às plantas.

O método do balanço hídrico num volume de controle de solo, tem sido estudado por vários autores, dentre estes, ROSE & STERN (1967), LUCHIARI JUNIOR (1978), REICHARDT et alii (1979), ARAGÃO JUNIOR (1982), COSTA (1986) e SAAD (1991). Os componentes deste método (precipitação, irrigação, deflúvio superficial, percolação profunda ou ascensão capilar, variação de armazenamento de água no solo e evapotranspiração) são apresentados em uma

equação geral de balanço de massa, e determinados através de diferentes técnicas.

Os dados de precipitação e irrigação são facilmente obtidos por meio de pluviômetros (ou pluviográficos). De acordo com DOWNEY (1972) os erros inerentes a estes componentes variam de 1 a 5%, o que mostra a necessidade de uso criterioso da técnica empregada.

REICHARDT (1985) considera o deflúvio superficial de difícil determinação, uma vez que depende das propriedades do solo e da declividade da superfície.

A drenagem profunda e ascensão capilar são os componentes de mais complexa determinação, sendo por isso desprezados por alguns autores. Todavia, pesquisas desenvolvidas por VACHAUD et alii (1973) mostraram que este parâmetro pode constituir até 30% do balanço hídrico total, implicando assim em erros na estimativa da evapotranspiração.

Para a estimativa da drenagem profunda, utiliza-se comumente a equação de Buckingham-Darcy, que é dada pelo produto da condutividade hidráulica, na umidade volumétrica considerada, pelo gradiente de potencial total nos perfis e tempos considerados.

A condutividade hidráulica é, portanto, um parâmetro imprescindível para utilização desta teoria. Neste sentido, foram desenvolvidos diversos métodos para sua determinação, estes métodos, de acordo com GREEN et

alii (1986), podem ser divididos em: métodos analíticos, que tem como base a curva de retenção, métodos de laboratório e métodos de campo, que destacam-se dos demais por representar as condições reais existentes.

Dentre os métodos analíticos que tem como base a curva de retenção, VAN GENHUTCHEN (1980) propôs um método para estimar a condutividade hidráulica de solos não saturados, a partir do trabalho de Mualen, que fornece a condutividade hidráulica relativa $K_r(\phi)$, representada pela relação entre a condutividade hidráulica na umidade volumétrica considerada $K(\theta)$ e a condutividade hidráulica do solo saturado K_s .

Diversos autores realizaram trabalhos científicos utilizando esta metodologia comparada às outras existentes. DANE (1980) avaliando quatro métodos de determinação de $K(\theta)$ concluiu que o método de VAN GENUCHTEN (1980) representa bem os valores de condutividade hidráulica quando comparado aos outros métodos, ressaltando como dificuldade de utilização do método a suposição de que a condutividade hidráulica do solo saturado, determinada em laboratório, represente os valores obtidos em campo. Enquanto VAUCLIN et alii (1982), ao comparar os métodos de VAN GENUCHTEN (1980) e Libardi et alii para determinação de $K(\theta)$ no Senegal, observaram que o método de VAN GENUCHTEN (1980) superestimou os valores de $K(\theta)$, mas destacaram a facilidade deste método por necessitar apenas de dados de umidade no processo de movimentação de água no solo. Já

BACCHI (1988) quando comparou o método de VAN GENUTCHEN (1980) com outros métodos na determinação da condutividade hidráulica, onde o de Hillel et alii foi considerado como padrão, concluiu que este subestima em média o valor de $K(\theta)$, principalmente para umidades próximas a saturação.

A determinação do armazenamento de água no perfil de solo considerado é feita a partir da integração de perfis consecutivos de umidade do mesmo. Para a medida do teor de água no solo várias técnicas de amostragem podem ser utilizadas, com o uso de instrumentos especializados, tais como: sonda de nêutrons, tensiômetros, amostragem gravimétrica. Conforme DOWNEY (1972) o erro que ocorre nas medidas de umidade giram em torno de 10%.

O intervalo de tempo considerado para o balanço hídrico, constitui-se também numa causa de erros. JENSEN (1967) comenta que mesmo que todos os componentes do balanço hídrico sejam estimados, em intervalos de 3 a 5 dias, podem surgir erros na faixa de 15 a 20% na estimativa da evapotranspiração. COSTA (1986) ressalta ainda a limitação de medida da evapotranspiração em períodos chuvosos, devido à dificuldade para medir mudanças na lâmina armazenada no solo com precisão maior que $\pm 2\text{mm}$ de água, impedindo assim o uso de determinações diárias, de evapotranspiração.

O balanço hídrico completo, apesar das inúmeras dificuldades e erros técnico-experimentais, constitui-se numa importante forma de subsidiar o manejo de

diferentes culturas, nos mais diversos tipos de solo. Dessa forma, pode-se estimar "in loco" os vários processos que envolvem a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera.

2.2.2. Métodos de medidas indiretas

Os métodos de medidas indiretas ou métodos de estimativas determinam a evapotranspiração a partir de fórmulas empíricas, semi-empíricas e evaporímetros. A opção por um ou outro método dependerá na maiorias das vezes, da precisão requerida ou do tipo de dado climatológico disponível, uma vez que nenhum dos métodos propostos parece desfrutar de preferência absoluta.

DOOREMBOS & PRUITT (1977) apresentaram 31 métodos para a estimativa da evapotranspiração, mostrando a enorme gama de métodos existentes. Já SEDYAMA (1987) comenta a existência de cerca de 50 métodos. Para este autor, estes métodos podem ser divididos em quatro classes: Os métodos que tem como base a temperatura, dentre estes destacam-se o de Thornthwaite e Blaney Criddle, os métodos baseados em temperatura e radiação, destacando o de Jensen-Haise, a equação de Makkink modificada pela FAO e a equação de Hargreaves, os métodos combinados que compreendem o fato de que as equações propostas associam os efeitos do balanço de energia à superfície e os termos de energia convectiva para estimar as perdas de água de superfícies cultivadas, sendo a equação de PENMAN (1956) a

mais conhecida entre os pesquisadores, e os métodos de evaporação em tanques, onde o tanque USWB (United State Weater Bureau) Classe A é o mais utilizado em todo o mundo.

Chang¹ (1968) citado por BERLATO & MOLION (1981) afirma, com base em dados experimentais, que o método de PENMAN (1956) é o melhor método para estimar a evapotranspiração. Posteriormente, dados analisados por JENSEN (1973) continuam evidenciando a superioridade do método. Entretanto, STANHILL (1961) observando a precisão, os custos envolvidos, o tempo gasto em leituras e cálculos, considera o tanque Classe A como o método mais indicado para a determinação da evapotranspiração à nível de campo.

Avaliações feitas por DOOREMBOS & PRUITT (1977) apresentam como melhor método de estimativa de evapotranspiração de referência o método de PENMAN modificado, com erros de $\pm 10\%$ no verão e 20% sob condições de baixa demanda evaporativa. O método do tanque Classe A aparece em segundo lugar com erros de $\pm 15\%$, dependendo do local de instalação do tanque. Em seguida os autores recomendam os métodos que envolvem o termo radiação solar na sua formulação que podem apresentar erros superiores a 20% no verão. Finalmente citam que, os métodos que envolvem apenas dados de temperatura devem ser evitados

¹ CHANG, Jen-Hu. *Climate and Agricultural; an ecological survey*. Chicago, Aldine. 1968. 304 p.

ou utilizados para períodos de 30 dias. Em regiões úmidas, com ventos fortes estes métodos podem subestimar a evapotranspiração em até 25%.

As diferenças encontradas nos resultados pelos diversos métodos, quando utilizados em diferentes regiões, tem sido motivo de preocupação para os pesquisadores, que têm desenvolvido estudos visando avaliar e ajustar as relações existentes (SILVA, 1989).

ORTOLANNI et alii (1966), trabalhando em condições de clima de São Paulo, correlacionaram valores decendiais de evapotranspiração obtidos em lisímetros de drenagem, com os valores estimados pelas fórmulas de PENMAN (1956) e Thornthwaite, onde foi permitido constatar que o método de Thornthwaite subestimou em 9% a evapotranspiração medida no período e o método de PENMAN (1956) superestimou em 2%.

ASSIS (1978) estudando as relações entre a evapotranspiração medida para a grama, e a estimada pelos métodos de PENMAN (1956) e tanque Classe A, para valores diários e médios por pântadas, encontrou valores para o método de PENMAN (1956) que subestimaram a evapotranspiração em aproximadamente 19%. Para o autor, esta diferença ocorreu devido ao fato de que a evapotranspiração medida pode ter sido influenciada pela advecção local, que não é computada no método de PENMAN (1956).

SAAD & SCALOPPI (1988) apresentam um estudo

para avaliação de onze métodos climatológicos na estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando dados relatados por JENSEN (1974), para Kimberly, Idaho, EUA. Os resultados quando comparados com valores de evapotranspiração medidos em lisímetro pesável de precisão, para a cultura da alfafa, mostraram que o método combinado de Penman-Monteith forneceu melhores resultados, seguido pelos métodos de Jensen-Haise e da Radiação. Enquanto os métodos baseados na temperatura média do ar, como Thornthwaite e Blaney-Criddle, apresentaram os maiores desvios. As discrepâncias reveladas por estes métodos foram atribuídas às diferenças climáticas entre o local considerado e aqueles para os quais os métodos foram desenvolvidos.

2.3. Coeficiente de cultura

A determinação da evapotranspiração potencial para uma cultura de referência, simplifica a estimativa de evapotranspiração de outras culturas irrigadas nos diferentes estádios fenológicos, através de relações empíricas denominadas coeficiente de cultura (K_c) (SAAD & SCALOPPI, 1988). Este é um coeficiente adimensional, proposto inicialmente por Van Wijk & De Uries, sendo dado pela razão entre a evapotranspiração máxima de uma cultura (ET_m), cultivada sem restrições de água e a evapotranspiração de referência (ET_o).

BURMAN et alii (1980) recomendam que tanto o método de estimativa da evapotranspiração potencial como o K_c , devem estar baseados na mesma cultura de referência. Portanto, os coeficientes determinados em relação a grama não devem ser utilizados com métodos cuja cultura de referência seja a alfafa. O contrário também deve ser evitado.

Os coeficientes de cultura variam com o estágio de desenvolvimento da planta, densidade de plantio, condições de umidade e clima. HANKS & ASHCROFT (1980) acrescentam a latitude como outro fator de variação do K_c . Estas variações que ocorrem ao longo do ciclo vegetativo da cultura, de acordo com DOOREMBOS & KASSAN (1979), assumem valores baixos na fase de emergência, valores máximos durante o período de desenvolvimento vegetativo e declinam na fase de maturação.

PRUITT et alii (1972) constataram que os coeficientes, para uma mesma cultura cultivada sob diferentes condições climáticas e épocas de plantio, podem variar, já que os parâmetros locais, tais como temperatura, umidade relativa, vento, radiação solar e as variações fisiológicas e aerodinâmica da planta influenciam diretamente a evapotranspiração.

OMETTO (1981) concorda com o pesquisador anteriormente citado e comenta que, para as condições climáticas de Piracicaba (SP), quando o teor de água no solo permanece entre -0,06 e -1,00 atm, o K_c é muito pouco

dependente do tipo de solo e da sua umidade, variando apenas em função das características da planta.

HILLEL (1990) enfatiza que estas variações em K_c são devidas principalmente às alterações ocorridas nas plantas, ou seja, diferenças de altura, rugosidade, grau de cobertura e resistência à transpiração.

A utilização de K_c inadequado para determinados locais pode provocar erros na determinação de lâminas de irrigação. JAGTAP & JONES (1989) encontraram diferenças superiores a 190 mm nas lâminas de irrigação aplicadas, quando estudaram o efeito do clima e de práticas de manejo no consumo de água para a cultura da soja, em solos arenosos.

O coeficiente (K_c) para a cultura da cenoura, é pouco estudado, sendo a literatura bastante escassa.

Neste contexto, DOOREMBOS & PRUITT (1977) desenvolveram um estudo completo sobre a necessidade de água das culturas tendo como base inúmeras pesquisas desenvolvidas em diferentes partes do mundo. Estes autores recomendam a adoção, com razoável precisão, dos valores de K_c para os diferentes estádios de desenvolvimento da cenoura, da seguinte forma: etapa inicial (20 a 30 dias) - obtido a partir da figura 1 do apêndice, em função do valor da ETP observada no período e da frequência de precipitação ou irrigação, que condicionam o teor de água no solo; etapa de desenvolvimento (30 a 40 dias) obtido interpolando-se graficamente os valores da etapa inicial e média estação;

média estação (30 a 80 dias) de 1,00-1,15 e a etapa final (20 dias) de 0,70 - 0,85.

ARAGÃO JUNIOR (1981) determinou os valores de K_c para a mesma cultura, utilizando o método do balanço hídrico sob condições de campo, em Guaramiranga (CE), considerando três estádios de desenvolvimento. Os resultados obtidos mostraram-se coerentes com os apresentados por DOOREMBOS & PRUIT (1977) para os dois últimos estádios: 0.99 e 0.86, respectivamente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O presente estudo foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, no Campus da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, da Universidade de São Paulo - USP, situada no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: latitude $22^{\circ}42'30''\text{S}$, longitude $47^{\circ}30'00''\text{W}$ e altitude 576 metros.

O local do experimento constou de uma área com 7,0 metros de largura por 10,0 metros de comprimento, totalizando 70 metros quadrados.

3.1.1. Solo

O solo do local foi classificado por RANZANI et alii (1966) como Terra Roxa Estruturada série Luiz de Queiroz. Sendo enquadrado na classificação americana (USDA, 1976) como um Oxic Palendafic, cujos materiais de origem são as rochas eruptivas básicas. Os quadros 01 e 02 mostram, respectivamente, os resultados das análises físicas e químicas do solo.

Quadro 01 - Resultados das análises físicas do solo

Camada (cm)	Granulometria (%)			Massa Específica (g/cm ³)	
	Areia	Silte	Argila	Real	Aparente
0-20	26,42	17,78	45,79	2,52	1,65
20- 40	40,55	15,69	43,76	2,64	1,49

FONTE: MOURA (1990)

Quadro 02 - Resultados das análises químicas do solo

Camada (cm)	P mg/cm ³	MO %	pH (CaCl ₂)	K	Ca	Mg	Al	H+Al meq/100cm ³	SB	T	V %
0 - 40	6	2,0	5,4	0,55	2,8	0,8	0,1	2,8	4,1	6,9	59

Análise feita no Laboratório do Departamento de Ciências do Solo da ESALQ/USP.

Para a determinação da curva de retenção de água no solo, foram coletadas amostras de solo indeformadas através de anéis volumétricos de 54 cm³ para as profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com cinco repetições. As amostras foram previamente saturadas em laboratório e submetidas à processo de secagem com tensões que variaram de 0,001 a 1,5 (MPa). Foi utilizada mesa de tensão e câmara de pressão de Richards. Os valores obtidos, para cada profundidade, foram ajustados ao modelo proposto por VAN GENUTCHEN (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot h)^n]^m} \quad [01]$$

onde θ , θ_s e θ_r representam, respectivamente, a umidade volumétrica, umidade volumétrica de saturação e umidade volumétrica residual, obtida à 1,5 (MPa) e α , m e n parâmetros que dependem do solo.

Os Quadros 03 e 04 apresentam, respectivamente, os dados da curva de retenção da água no solo e os parâmetros necessários para o ajuste através da equação [01].

Quadro 03 - Umidade volumétrica em função dos Potenciais Matriciais (MPa), para as diferentes camadas.

ψ_m (MPa)	Camadas (cm)			
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40
0	0,482	0,453	0,449	0,502
0,001	0,405	0,387	0,413	0,455
0,002	0,372	0,362	0,393	0,432
0,003	0,354	0,348	0,381	0,418
0,004	0,342	0,339	0,373	0,409
0,007	0,321	0,322	0,357	0,391
0,010	0,309	0,312	0,348	0,381
0,030	0,279	0,287	0,323	0,354
0,050	0,268	0,278	0,313	0,344
0,100	0,255	0,267	0,302	0,332
0,500	0,235	0,248	0,283	0,311
1,500	0,226	0,239	0,274	0,301

Quadro 04 - Parâmetros de ajuste da curva de retenção à equação de VAN GENUTCHEN (1980).

Camadas (cm)	α	m	n	θ_r	θ_s	c. a.
				$(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$		
0 - 10	0,226815	0,237574	1,311603	0,204	0,482	0,978
10 - 20	0,272234	0,210704	1,266951	0,213	0,453	0,967
20 - 30	0,146031	0,201289	1,252018	0,244	0,449	0,935
30 - 40	0,174394	0,204991	1,257847	0,271	0,502	0,944

c. a. representa o coeficiente de ajuste

Para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado K_s , foram coletadas amostras indeformadas utilizando-se o cilindro de Uhland (volume de 273 cm^3), nas profundidades descritas anteriormente para a obtenção da curva de retenção. Foram utilizadas cinco repetições. Estas determinações foram feitas em laboratório através do método do permeâmetro de carga constante. Os resultados obtidos são mostrados no Quadro 05.

Quadro 05 - Condutividade hidráulica do solo saturado

Camada (cm)	K_s (cm/h)	Camada (cm)	K_s (cm/h)
0 - 10	2,17	20 - 30	1,32
10 - 20	3,57	30 - 40	3,21

3.1.2. Clima

O clima da região foi denominado tipo CWA (subtropical úmido, com estiagens no verão) segundo a classificação climática de Köppen, com a temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e no mês mais quente superior a 22°C . Este clima foi também classificado por CAMARGO et alii (1974) como Tropical de Altitude.

Os dados climáticos do local durante o período em que foi conduzido o ensaio foram obtidos junto ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP e são apresentados no Quadro 06. Estes dados refere-se a média para períodos de dez dias (decêndios), sendo que o último período representa a média de onze dias.

Quadro 06 - Elementos do clima local. Valores médios por decêndio, para o período experimental.

Decêndio	Período	Ins. (h/dia)	Prec. (mm)	UR %	Vento (Km/dia)	Temp. $^{\circ}\text{C}$	ECA (mm/dia)
I*	12 - 21/08	9,50	0,00	66,00	132,02	18,69	4,90
II	22 - 31/08	7,98	0,00	55,00	83,11	21,97	5,19
III	01 - 10/09	7,94	0,00	60,00	160,35	19,55	5,69
IV	11 - 20/09	7,65	15,10	59,00	109,65	21,41	5,69
V	21 - 30/09	5,86	53,80	74,00	117,43	21,37	4,69
VI	01 - 10/10	2,46	45,70	81,00	137,99	20,02	3,34
VII	11 - 20/10	9,52	13,60	67,00	113,37	23,55	6,98
VIII	21 - 30/10	8,99	0,00	60,00	85,04	24,75	7,27
IX	31/10 - 10/11	7,04	13,90	72,00	141,48	23,25	6,22

* 10 dias após a sementeira, quando se deu a emergência

3.1.3. Planta

A cultura utilizada foi a cenoura (*Daucus carota*, L.), cultivar Nantes Superior, recomendada pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (CAMARGO, 1984) para o período em que se realizou o experimento, tendo esta apresentado um ciclo fenológico de 101 dias.

3.2. Lisímetros de nível freático constante

Foi utilizado um conjunto constituído por três lisímetros. Estes equipamentos consistiram de tanques enterrados (1,30 x 1,10 x 0,72 m) apresentando uma área exposta de 1,43 m². Cada tanque encontrava-se acoplado a um reservatório intermediário (0,30 x 0,30 x 0,25 m) através de uma tubulação de PVC de 22mm de diâmetro e tubulação flexível com o mesmo diâmetro. O reservatório intermediário era munido de um sistema de bóia e regulação de nível, sendo ligado ao reservatório de alimentação (0,25 m de diâmetro x 0,75 m de altura) através de uma tubulação flexível de 13 mm de diâmetro. Os reservatórios de alimentação e intermediário encontravam-se protegidos em um abrigo de madeira coberto com telhas de cimento amianto.

Visando evitar a entrada de água nos lisímetros foram utilizadas coberturas removíveis. Nas figuras 01 e 02 pode-se observar o esquema de montagem do lisímetro.

Figura 01 - Esquema de montagem do lisímetro de nível freático constante.

Figura 02 Reservatórios de alimentação e intermediários

A água era fornecida aos reservatórios de alimentação, que permitiam estimar o consumo diário. Estes reservatórios possuíam graduação a cada 0,05 litros o que proporcionava leituras de evapotranspiração de até 0,035 mm. Para que o sistema entrasse em operação, foi necessário abastecer o reservatório de alimentação várias vezes até que por ascensão capilar o solo estivesse umedecido. Após a estabilização, água foi fornecida ao reservatório de alimentação até que a marcação no tubo de vidro indicasse o nível zero.

Na ausência da evapotranspiração o nível permanecia constante. Quando esta ocorria, o nível de água do lençol freático baixava, acionando a abertura do sistema válvula-bóia nos reservatórios intermediários, possibilitando assim, a entrada de água dos reservatórios de alimentação.

O nível do lençol freático em relação à superfície do solo foi mantido à 25 cm nos tanques até o 60^o dia após o plantio, quando foi ajustado para 30 cm.

3.3. Balanço hídrico sob condições de campo

A equação do balanço hídrico fundamenta-se na lei da conservação das massas. Esta equação mostra que a soma algébrica dos fluxos de água em um determinado volume de solo é igual à variação da quantidade de água nele armazenada em um intervalo de tempo $t_0 - t_1$.

$$\int_{t_0}^{t_1} (p+i-ds-e\pm qz) dt = \int_0^L \int_{t_0}^{t_1} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt \cdot dz \quad [02]$$

onde p , i , ds , e , qz , representam os fluxos de precipitação, irrigação, deflúvio superficial, evapotranspiração, drenagem profunda (+) ou ascensão capilar (-) e $\partial\theta/\partial t$ a variação de armazenamento de água em uma camada de solo (L), em um período de tempo (t_1 a t_0), respectivamente.

A equação [02] poderá ser simplificada, integrando-se com relação a profundidade e ao tempo, resultando:

$$P + I - DS - E \pm QZ = \pm \Delta A \quad [03]$$

onde P , I , DS , E , QZ e ΔA , representam respectivamente, os fluxos de precipitação, irrigação, deflúvio superficial, evapotranspiração, drenagem profunda ou ascensão capilar e variação de armazenagem.

Para efeito de balanço hídrico, a equação acima é comumente utilizada. Entretanto, para o seu uso em solos cultivados necessita que a profundidade considerada para o volume de controle corresponda à profundidade efetiva do sistema radicular. O esquema do elemento de volume de solo considerado para o balanço hídrico da cultura em estudo pode ser observado na figura 03. No caso em questão, z corresponde a 0,25 m.

Figura 03 - Esquema do elemento de volume de solo considerado para o balanço hídrico sob condições de campo.

3.3.1. Variação no armazenamento de água no solo

(ΔA , mm)

Este componente foi estimado a partir de perfis consecutivos de umidade do solo (θ , cm^3/cm^3), obtidos indiretamente mediante determinação do potencial mátrico, onde foi também utilizada a curva de retenção de água no solo.

Na área onde realizou-se o experimento foram instaladas três baterias de tensiômetros com manômetros de mercúrio (figura 04), nas profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm, cuja finalidade foi determinar o potencial mátrico (ψ_m) através da expressão:

$$\psi_m = - 12.6h + hc + z \quad [04]$$

onde h , hc e z , representam respectivamente, a leitura da coluna de mercúrio (cmHg), a altura da cuba de mercúrio em relação à superfície do solo (cm) e z a profundidade de instalação do tensiômetro (cm).

De posse dos valores de potencial mátrico, obtidos das leituras dos tensiômetros, foi possível determinar o teor de água no solo para cada profundidade, através da curva característica do solo.

Para estimativa do armazenamento de água no solo, foi utilizada a seguinte expressão:

Figura 04 - Corte longitudinal de um tensiômetro com manômetro de mercúrio instalado no campo.

$$A = \int_0^L \theta. dz = \bar{\theta}. z \quad [05]$$

sendo $\bar{\theta}$, a umidade média (cm^3/cm^3), do perfil do solo até a profundidade considerada (z).

Dessa forma, a variação do armazenamento (ΔA) para um determinado período ($t_1 - t_0$) pode ser obtida pela equação:

$$\Delta A = A_1 - A_0 \quad [06]$$

sendo A_1 e A_0 armazenamentos de água no solo (mm) nos tempos 1 e 0, respectivamente.

3.3.2. Precipitação pluviométrica (P , mm)

Os dados de precipitação pluviométrica utilizados neste estudo, foram obtidos junto ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, cujo posto meteorológico situa-se à aproximadamente 870 metros do local do experimento.

3.3.3. Irrigação (I , mm)

O método de irrigação utilizado foi o de aspersão convencional, com frequência diária até o 40^o dia após o plantio e variável até o final do ciclo. Isto porque, segundo SILVA (1982), no início do ciclo vegetativo da cultura, para que haja boa germinação e emergência, as

irrigações devem ser leves e frequentes, visando evitar principalmente a formação de crostas na superfície do terreno.

O controle das irrigações foi feito com base no consumo diário de água nos lisímetros e por meio de tensiômetros, onde procurou-se manter as mesmas condições de umidade existente nos lisímetros à 10 cm de profundidade.

A lâmina líquida de irrigação no período considerado representava a média de 12 (doze) coletores uniformemente distribuídos na área.

3.3.4. Drenagem profunda (q_z , mm)

Os componentes drenagem profunda e ascensão capilar foram dados pelo fluxo de água no solo ($\vec{q}_z$), na profundidade e tempo considerados, podendo ser estimado pela equação de Buckingham-Darcy:

$$\vec{q}_z = - K(\theta) \cdot \frac{\partial H}{\partial z} \quad [07]$$

onde, $K(\theta)$ representa a condutividade hidráulica em relação ao valor da umidade do solo, $\vec{\partial H / \partial z}$ o gradiente do potencial total da água no solo na profundidade z e o sinal negativo o sentido do fluxo de água no solo do maior para o menor potencial.

A drenagem profunda foi determinada no limite

do volume de solo considerado para o balanço hídrico.

Os valores de condutividade hidráulica foram obtidos a partir da condutividade hidráulica relativa $[K_r(\phi)]$ que é dada pela relação entre a condutividade hidráulica na umidade considerada $[K(\theta)]$ e a condutividade hidráulica saturada $[K_s]$ ou seja:

$$K_r(\phi) = \frac{K(\theta)}{K_s} \quad [08]$$

$$K(\theta) = K_r(\phi) \cdot K_s \quad [09]$$

Por sua vez, a condutividade hidráulica relativa $[K_r(\phi)]$ foi determinada através da equação descrita por Mualen e modificada por VAN GENUCHTEN (1980):

$$K_r(\phi) = \phi^{1/2} (1 - (1 - \phi^{1/m})^m)^2 \quad [10]$$

sendo m um parâmetro adimensional que depende do solo (Quadro 04) e ϕ a umidade adimensional dada por:

$$\phi = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad [11]$$

onde θ , θ_r e θ_s representam respectivamente, a umidade volumétrica, umidade volumétrica residual e umidade volumétrica de saturação (Quadro 04).

A condutividade hidráulica saturada $[K_s]$ foi

determinada em laboratório, sendo apresentada no Quadro 05.

A determinação do gradiente de potencial total para a profundidade estudada, foi calculado pela expressão:

$$\frac{\partial H}{\partial z} = \frac{-12.6 (h_{20} - h_{30})}{10} \quad [12]$$

onde, ∂H representa a variação de potencial total entre as profundidades de $z = 20$ a 30 cm, respectivamente, ∂z a distância entre os tensiômetros e h as leituras fornecidas pelos tensiômetros instalados nas profundidades consideradas.

3.3.5. Deflúvio superficial (ds, mm)

No presente trabalho, este componente do balanço hídrico foi desconsiderado devido à intensidade das precipitações e irrigações não terem atingido valores que viessem a favorecer o escoamento superficial, além dos canteiros estarem nivelados.

3.3.6. Evapotranspiração (ETr, mm)

A evapotranspiração foi estimada por diferença, através da equação simplificada do balanço hídrico [03], já que os demais componentes foram determinados de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

3.4. Instalação do experimento

3.4.1. Preparo do solo

Foi efetuada uma calagem com 28 dias de antecedência ao plantio. Em seguida a área foi preparada utilizando uma enxada rotativa com a finalidade de facilitar a incorporação e revolver o solo.

Numa área de 70 m² foram preparados cinco canteiros com 1,0 m de largura e 10,0 m de comprimento, espaçados em 0,5 m entre si. Os detalhes da área experimental são mostrados nas figuras 05, 06 e 07.

3.4.2. Adubação

A adubação foi feita com base na análise química do solo e na recomendação de CAMARGO (1984), que constou de 30 ton/ha de esterco de curral curtido e peneirado, 400 Kg/ha de P₂O₅, 100 Kg/ha de K₂O e 34 Kg/ha de N. Como fonte de N, P e K foram usados respectivamente, uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Os adubos foram pesados separadamente na quantidade a ser utilizada por metro quadrado, misturados e aplicados à lança. Em seguida foram incorporados manualmente através de enxada.

3.4.3. Plantio

A semeadura foi realizada manualmente no dia 02 de agosto de 1991, em linhas de plantio com

LEGENDA

(1)(2)(3) - LISÍMETROS

(4) - ABRIGO COM OS RESERVATÓRIOS DE ALIMENTAÇÃO E INTERMEDIÁRIOS

(.) - DISPOSIÇÃO DOS TENSÍMETROS

(x) - DISTRIBUIÇÃO DOS ASPERSORES

(---) - TUBULAÇÃO DE LIGAÇÃO DOS LISÍMETROS

(—) - TUBULAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

(o) - DISPOSIÇÃO DOS COLETORES

Figura 05 - Detalhes da área experimental

Figura 06 - Vista da área experimental.

Figura 07 - Vista parcial da distribuição dos tensiômetros e coletores na área experimental.

aproximamente 1,0 cm de profundidade e espaçadas de 20,0 cm entre linhas, onde as sementes foram uniformemente distribuídas. Superficialmente foram cobertas com terra peneirada (MALHA 2,0mm) e aplicada uma cobertura morta (bagaço de cana-de-açúcar seco). Logo após, a área foi irrigada por 30 minutos, aplicando-se uma lâmina bruta de 3.97 mm. A germinação teve início no 10^o dia após o plantio.

3.5. Condução do experimento

3.5.1. Consumo de água nos lisímetros

Os valores de consumo de água nos lisímetros foram obtidos através de leituras diárias feitas às 7:30 h, a partir do 10^o dia após o plantio, quando ocorreu a germinação. Periodicamente foi necessário acrescentar água aos tanques, sendo esta água somada ao consumo do dia em questão.

3.5.2. Irrigação da área externa aos lisímetros

A área externa aos lisímetros foi considerada como área útil para estimativa do balanço hídrico. O processo de irrigação e controle encontra-se descrito no item 3.3.3.

3.5.3. Leituras dos tensiômetros

Os dados de leitura dos tensiômetros, foram também obtidos diariamente, a partir do 10^o dia após o plantio, sendo estas leituras feitas às 7:45hs.

3.5.4. Capinas

Para o controle de plantas daninhas, utilizou-se capinas manuais feitas durante todo o desenvolvimento da cultura.

3.5.5. Desbastes

Dada à dificuldade de semear a cenoura no espaçamento definitivo, e visando obter um bom número de plantas, foi necessário semear uma quantidade superior a desejada, o que exigiu dois desbastes. O primeiro foi realizado 20 dias após a germinação e o segundo 20 dias após o primeiro, deixando as plantas espaçadas na linha em aproximadamente 0,05 metros. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,20 metros.

3.5.6. Adubação em cobertura

A adubação em cobertura foi feita aplicando-se 66 Kg/ha de N, na forma de Uréia, parcelada em duas vezes, aos 30 e 50 dias após o plantio.

3.5.7. Aplicação de defensivos

Durante o desenvolvimento da cultura foi

necessário a aplicação de inseticidas visando o controle da lagarta rosca (*Agrotis spp*) e pulgões (*Dysaplis spp*) e fungicida no controle da queima da folha (*Alternária dauci*, L.).

3.5.8. Colheita

A colheita foi efetuada manualmente em 11 de novembro de 1991, quando ocorreu o ponto de consumo, ou seja, quando as folhas inferiores começaram a amarelar e as inferiores tendiam a abrir, chegando a encostar as extremidades na superfície do solo (DEMATTE, 1984).

3.6. Determinação da evapotranspiração de referência (Eto)

Para a estimativa da evapotranspiração de referência, foram utilizados os seguintes métodos:

3.6.1. Método do Tanque Classe A (EToCA)

De acordo com o trabalho de DOOREMBOS & KASSAN (1979) estimou-se a evapotranspiração de referência através da relação:

$$Eto = ECA \cdot Kp \quad [13]$$

sendo, ECA a evaporação do tanque Classe A (mm/dia) e Kp um coeficiente de conversão da evaporação do tanque Classe A

em evapotranspiração de referência, que é função da umidade relativa do ar (%), velocidade média do vento (Km/dia) e das condições de exposição do tanque (Apêndice, Tabela 01).

3.6.2. Método de PENMAN (EToPn)

Considerando o balanço de energia radiante e os princípios aerodinâmicos, PENMAN (1948) propôs a seguinte equação para estimar a evapotranspiração de referência:

$$EToPn = \frac{H + Ea}{\Delta/\gamma + 1} \quad [14]$$

sendo, uma constante determinada em função da temperatura média do ar, (Apêndice, Tabela 02), H o balanço de energia diário, determinado pela expressão:

$$H = \frac{Q_0}{59}(a+b.n/N)(1-r) - \frac{\sigma T_a^4}{59}(0,56-0,09\sqrt{ea})(0,1+0,9n/N) \quad [15]$$

sendo $Q_0/59$ a radiação solar global na ausência da atmosfera, função da latitude local e época do ano (Apêndice, Tabela 03), a e b parâmetros locais definidos para Piracicaba por OMETTO (1968) como 0,26 e 0,51 respectivamente, n a insolação média real medida (h/dia), N a insolação máxima diária em horas e décimos, função da latitude local e do mês em questão (Apêndice, Tabela 04), e r o poder refletor da superfície (albedo) tomado como 0,25

para superfície gramada, $\sigma T_a^4/59$ produto da quarta potência da temperatura média do ar (K), pela constante de Stefan Boltzman ($11,90 \cdot 10^{-8} \text{ Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e e_a o valor médio diário da pressão de vapor de água (mmHg), calculada por:

$$e_a = UR / 100 \cdot e_s \quad [16]$$

onde e_s representa a tensão de saturação de vapor de água obtida em função da temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$) (Apêndice, Tabela 05), UR a umidade relativa do ar (%) e, E_a o poder evaporante do ar (mm/dia), obtido pela equação:

$$E_a = 0,35 (1 + U/160) (e_s - e_a) \quad [17]$$

sendo U a velocidade média do vento (Km/dia), obtida à 2 metros de altura.

3.7. Determinação dos coeficientes de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura (K_c), é dado pela relação entre a evapotranspiração de uma cultura (ET), sem restrições hídricas e a evapotranspiração de referência (ET_o), observadas num período de tempo, ou seja:

$$K_c = ET / ET_o \quad [18]$$

O valor da Evapotranspiração (ET) consistiu na evapotranspiração medida nos lisímetros (ETm) e estimada pelo balanço hídrico sob condições de campo (ETr). Para a estimativa da evapotranspiração de referência foram utilizados os métodos do tanque Classe A (EToCA) e Penman (EToPn), tendo os valores de coeficiente de cultura (Kc) sido calculados para períodos decendiais (10 dias).

3.8. Parâmetros avaliados

Foram estudados os dados referentes a produção, dados biométricos e a eficiência de uso da água.

3.8.1. Produção

Para análise de produção utilizaram-se todas as plantas aproveitáveis por metro quadrado, onde foram consideradas as seguintes variáveis: peso total e peso médio das raízes comerciais e não comerciais¹.

3.8.2. Dados biométricos

Na avaliação dos dados biométricos as seguintes variáveis foram mensuradas (média de 20 plantas por metro quadrado): altura da parte aérea logo após a

¹ Foram consideradas plantas não comerciais aquelas que apresentaram rachaduras, bifurcações, verrugas, ombro verde e diâmetros inferiores à 12 centímetros.

colheita (com a folha alongada), peso úmido das folhas, número de folhas por planta, comprimento das raízes, diâmetro no terço superior e inferior e número de raízes comerciais e não comerciais.

3.8.3. Eficiência de Uso da Água (e.u.a.)

A eficiência de uso da água consiste na relação entre a produtividade da cultura e a quantidade de água consumida no processo de evapotranspiração. Neste trabalho, a e.u.a. foi calculada pela razão entre o rendimento e o volume de água consumido pela cultura durante o ciclo, para cada lisímetro e para a área externa onde foi calculado o balanço hídrico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Evapotranspiração medida

Os valores de evapotranspiração máxima medida, utilizando lisímetro de nível freático constante e evapotranspiração real medida através de balanço hídrico sob condições de campo, foram obtidos num período de 91 (noventa e um) dias, a partir do décimo dia após o plantio. O ciclo fenológico da cultura, portanto, foi de 101 (cento e um) dias. Estes valores foram divididos em 09 (nove) subperíodos de 10 (dez) dias (decêndio), sendo o último subperíodo de 11 (onze) dias.

4.1.1. Lisímetros

No Quadro 07, encontram-se os resultados obtidos por decêndio da evapotranspiração máxima onde se observa que o valor médio do consumo total de água no ciclo foi de 381,35 mm, o que corresponde a uma lâmina média diária de 3,78 mm.

Quadro 07 - Valores médios por decêndio de Etm da cultura durante o ciclo vegetativo total.

Decêndio	Etm01 (mm)	Etm02 (mm)	Etm03 (mm)	EtmMédia (mm/dia)	EtmAcum (mm)
I	3,01	2,81	3,00	2,94	29,40
II	3,08	2,67	2,92	2,89	58,30
III	3,50	3,07	3,06	3,21	90,40
IV	4,20	3,75	3,75	3,90	129,40
V	3,97	3,73	3,83	3,84	167,83
VI	2,51	3,01	2,56	2,69	194,77
VII	6,16	6,08	6,16	6,13	256,10
VIII	6,93	6,53	6,89	6,78	323,93
IX	5,42	5,13	5,11	5,22	381,35

Os resultados acima apresentam-se coerentes com o consumo de água no ciclo total da cultura da cenoura, proposto por MARQUELLI & VIEIRA (1990), que varia de 350 - 500 mm, porém, inferior ao consumo médio diário obtido por ARAGÃO JUNIOR (1990), em experimento realizado em Guaramiranga (CE), o que é plenamente justificável, face as condições climáticas predominantes neste local proporcionarem uma demanda evapotranspirativa maior.

Os valores de Etm média por decêndio podem ser observados na Figura 08, que ilustra o comportamento do consumo de água, ao longo do ciclo vegetativo da cultura.

Figura 08- Valores de ETM média por decêndio durante o ciclo vegetativo total.

Observa-se no sexto decêndio uma queda acentuada no consumo de água, que pode ser explicada pela menor demanda evapotranspirativa no período (Figura 12).

Nota-se também um aumento na evapotranspiração entre o sétimo e nono decêndio, que serão discutidos juntamente com os dados do Quadro 08.

Quadro 08 - Valores médios de Etm, por estádios de desenvolvimento da cultura.

Estádios	Duração (dias)	EtmMédia (mm/dia)	EtmAcumulada (mm)
Inicial	20 *	2,94	29,40
Desenvolvimento	30	3,33	129,30
Médio	31	4,29	262,29
Final	20	6,00	381,35

* Média de 10 dias após a semeadura, quando se deu a emergência.

Através dos dados acima, pode-se verificar que o consumo de água foi crescente de acordo com o estágio de desenvolvimento, tendo apresentado um consumo mínimo da ordem de 2,94 mm/dia (estádio inicial) e um consumo máximo de 6,00 mm/dia (estádio final).

Nota-se que na fase final os valores de Etm apresentaram-se superiores ao da fase média. Nesta fase, foi observado nos tensiômetros que o nível do lençol freático se mostrou insuficiente para atender a demanda hídrica da cultura. Dessa forma, foram necessárias irrigações superficiais, cujas lâminas aplicadas foram acrescentadas ao consumo diário, o que elevou a demanda de água durante este período.

Realizada uma análise de regressão entre os dados obtidos de Etm média (variável dependente - Etm) e os decêndios (variável independente - D) encontrou-se o melhor ajuste na relação cúbica cuja equação obtida é apresentada

a seguir:

$$E_{tm} = 3,9501 - 1,12D + 0,3179D^2 - 0,0188D^3 \quad [19]$$

para $D = 1, 2, \dots, 9$.

Através da análise realizada o coeficiente de correlação encontrado foi de $R = 0,8004$.

Aplicando o teste t , onde utilizou-se 7 graus de liberdade ($N - 2$) encontrou-se o valor de $t = 3,53$, que mostra-se significativo ao nível de 5% de probabilidade. Os dados experimentais juntamente com a curva representante da equação podem ser visualizados através da Figura 09.

Figura 09- Dados estimados e observados da E_{tm} média versus decêndio para a cultura da cenoura.

4.1.2. Balanço Hídrico sob condições de campo

No Quadro 09 encontram-se os resultados do balanço hídrico, para os períodos anteriormente citados, cujas componentes foram determinadas de acordo com a metodologia já descrita.

Quadro 09 - Valores médios da Etr por decêndio, determinados pelo método do balanço hídrico.

Decêndio	ΔA (mm)	P (mm)	I (mm)	Qz (mm)	EtrMédia (mm/dia)	EtrAc (mm)
I	+0,993	00,00	15,84	-2,097	1,27	12,70
II	+0,996	00,00	25,98	-0,422	2,46	37,30
III	+2,415	00,00	29,28	-0,706	2,62	63,50
IV	-2,035	15,10	35,20	-1,037	5,13	114,80
V	+6,248	53,80	16,55	-1,906	6,22	177,00
VI	-4,318	45,70	00,00	-3,568	4,65	223,50
VII	-10,846	13,60	27,41	-1,383	5,05	274,00
VIII	-4,373	00,00	47,55	-0,059	5,22	326,20
IX	+7,616	13,90	33,74	-1,215	3,53	365,03

Durante o período em que foi conduzido o experimento, os parâmetros que representaram a contribuição de água foram precipitação(P) e irrigação(I).

Através do Quadro 09 observa-se que as precipitações ocorridas contribuíram para um aumento na Etr, durante o quinto e o sexto decêndio, quando comparados aos dados obtidos nos lisímetros (Figura 08). O evento pode ser melhor visualizado observando-se a Figura 10.

Nos períodos compreendidos entre as leituras

diárias (às 7:45 hs), os valores de umidade do solo podem diferir daqueles observados, o que conduz à imprecisão no cálculo da variação do armazenamento de água, principalmente em períodos chuvosos, pois existem variações que podem ter afetado os valores de evapotranspiração real. COSTA (1986) também ressalta dificuldades na determinação da Etr para períodos com ocorrência de precipitações.

O controle feito durante todas as irrigações, através de coletores uniformemente distribuídos na área, permite a confiabilidade desta componente na equação do balanço hídrico.

Os valores das perdas de água por drenagem profunda ($\bar{q}_z$), comparados com os valores das precipitações ocorridas, foram consideradas pequenas. O uso da equação de Buckingham-Darcy para a estimativa do fluxo de água em condições de campo, exige o conhecimento de parâmetros que sofrem variações espaciais no solo, além da adoção de valores médios, podendo levar a erros na estimativa desta componente.

Foi observado ainda que durante alguns dias o fluxo de água apresentou resultados positivos, indicando a ocorrência de ascensão capilar. No entanto, para efeito do balanço hídrico foi considerado o somatório das componentes ascensão capilar e drenagem profunda ocorridas no decêndio, onde o fluxo resultante foi sempre a drenagem profunda.

Quanto a variação de armazenamento de água no

solo (ΔA) observa-se que esta componente apresenta uma oscilação cujos valores variam de -10,846 a +7,616 mm, o que mostra que em alguns decêndios ocorreu perda de água no solo, ou seja, o consumo de água foi superior a quantidade de água aplicada ($P + I$).

O valor médio de Etr no período foi de 3,61 mm/dia, sendo o valor mínimo obtido no estágio inicial de 1,27 mm/dia, o valor máximo de 5,30 mm/dia no estágio médio, e o valor do consumo de água total durante o ciclo foi de 365,03 mm.

Figura 10 - Valores de Etr média por decênio durante o ciclo vegetativo total.

4.1.3. Evapotranspiração Máxima X Evapotranspiração Real

A Figura 11 ilustra os valores de E_{tm} e E_{tr} acumulados durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, onde se verifica que nos períodos inicial, médio e final a E_{tm} apresenta resultados superiores a E_{tr} . Entretanto, durante o período de desenvolvimento a E_{tr} superou a E_{tm} , o que foi atribuído em parte a variabilidade espacial do solo e a dificuldade de contabilização na variação do armazenamento de água em períodos chuvosos.

Figura 11 - Valores de E_{tm} e E_{tr} acumulados durante o ciclo vegetativo total.

Os valores da Etm e Etr acumulados no período foram de 381,35 e 365,03 mm, respectivamente, o que demonstra que o consumo total de água obtido pelo balanço hídrico apresentou resultados inferiores em 4,3% o valor medido pelo lisímetro. Estes resultados viabilizam a utilização do método do balanço hídrico na estimativa da demanda total de água para o ciclo da cultura, nas condições em que o experimento foi conduzido, ou valores médios diários, que apresentam-se bem próximos aos obtidos pelo método lisimétrico.

Analisando-se os resultados da Etr para os diferentes estádios fenológicos da cultura, estes apresentam-se bastante distintos dos valores obtidos para Etm, com exceção do estágio de desenvolvimento (Quadro 10). Neste caso, devido ao fato de que a metodologia empregada no balanço hídrico apresenta limitações, como os erros inerentes à cada componente e a variabilidade espacial do solo, foram adotados apenas os valores de Etm como referência para o cálculo dos coeficientes de cultura para os diferentes estádios de desenvolvimento.

Quadro 10 - Valores de Etm e Etr por estágio de desenvolvimento da cultura.

Estádio	Duração (dias)	Etm (mm/dia)	Etr (mm/dia)	Etm/Etr
Inicial	20*	2,94	1,27	2,31
Desenvolvimento	30	3,33	3,40	0,98
Médio	31	4,29	5,30	0,81
Final	20	6,00	4,23	1,42

* Média de 10 dias após a semeadura.

4.2. Evapotranspiração estimada

Da mesma forma que a evapotranspiração máxima medida através dos lisímetros e a evapotranspiração real medida através do balanço hídrico sob condições de campo, a evapotranspiração de referência estimada pelos métodos do tanque Classe A e Penman foi agrupada em subperíodos decêndiais.

4.2.1. Métodos do Tanque Classe A e Penman

No Quadro 11, são apresentados os dados necessários à determinação dos valores da evapotranspiração de referência (Eto), pelo método do tanque Classe A.

Quadro 11 - Evapotranspiração de referência segundo o método do tanque Classe A.

Decêndio	UR (%)	Vento (Km/dia)	ECA (mm)	Kp	EtoCA (mm)
I	66,00	132,02	4,90	0,75	3,68
II	55,00	83,11	5,19	0,75	3,89
III	60,00	160,35	5,69	0,75	4,27
IV	59,00	109,65	5,69	0,75	4,27
V	74,00	117,43	4,69	0,85	3,99
VI	81,00	137,99	3,34	0,85	2,84
VII	67,00	113,37	6,98	0,75	5,24
VIII	60,00	85,04	7,27	0,75	5,45
IX	72,00	141,48	6,22	0,85	5,29

O quadro 12 refere-se aos parâmetros necessários para a estimativa de Eto pelo método de Penman.

Quadro 12 - Evapotranspiração de referência segundo o método de Penman.

Decêndio	ea (mmHg)	$\sigma T_a^4/59$ (mmeq)	Rs (mmeq)	H (mmeq)	Δ/γ	Ea (mmeq)	EtoPn (mm)
I	10,62	14,60	7,97	2,60	2,00	3,54	2,92
II	10,97	15,27	7,17	2,40	2,60	4,71	3,05
III	10,20	14,77	8,13	3,30	2,00	4,84	3,81
IV	11,29	15,15	7,96	3,34	2,36	4,61	3,72
V	14,16	15,14	6,93	3,39	2,35	3,00	3,27
VI	14,21	14,87	5,63	3,32	2,00	2,17	2,94
VII	14,53	15,60	10,08	4,93	2,60	4,38	4,78
VIII	14,12	15,85	9,74	4,71	2,75	5,00	4,79
IX	15,42	15,54	9,05	4,91	2,60	3,97	4,65

Com base nos resultados apresentados foi possível notar que para todos os decêndios, com exceção do sexto, o método de Penman apresentou resultados de Eto inferiores aos determinados pelo método do tanque Classe A, comprovando as conclusões obtidas por PEREIRA (1991). Para este autor, esta diferença ocorreu devido ao fato de que a evapotranspiração estimada pelo método do tanque Classe pode ter sido influenciada pela advecção, que não é computada no método de Penman. Tendências similares foram

verificadas por CURY (1985) e MOURA (1990).

Analisando a Figura 12 observa-se que apesar da EtoPn ter apresentado resultados inferiores a EtoCa, mostrou a mesma tendência de variação, durante todo o desenvolvimento da cultura.

Figura 12 - Valores da Eto estimada pelos métodos do Tanque Classe A e Penman por decêndio durante o ciclo vegetativo da cultura.

Resultados referentes à comparação das médias decêndiais para os valores obtidos para a Eto estimada pelos dois métodos, encontram-se apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 - Comparação entre os valores de Eto estimados pelos métodos do Tanque Classe A e Penman.

Decêndio	EtoCA (mm)	EtoPn (mm)	EtoPn/EtoCA
I	3,68	2,92	0,79
II	3,89	3,05	0,78
III	4,27	3,81	0,89
IV	4,27	3,72	0,87
V	3,99	3,27	0,82
VI	2,84	2,94	1,04
VII	5,24	4,78	0,91
VIII	5,45	4,79	0,88
IX	5,24	4,65	0,89

De uma forma geral o método de estimativa da Eto utilizando a equação de Penman apresentou resultados inferiores ao método do tanque Classe A, em média 12,56%.

4.3. Coeficiente de cultura (Kc)

Os valores do coeficiente de proporcionalidade entre a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração de referência (Kcm), em função do método de estimativa utilizado, foram calculados por decêndio e são apresentados no Quadro 14. A ilustração destes valores são mostrados pela Figura 13.

Quadro 14 - Valores de coeficiente de cultura estimados pelos métodos do Tanque Classe A e Penman.

Decêndio	KcmCA	KcmPn	KcmPn/KcmCA
I	0,80	1,01	1,26
II	0,74	0,95	1,28
III	0,75	0,84	1,12
IV	0,91	1,05	1,15
V	0,96	1,17	1,22
VI	0,95	0,91	0,96
VII	1,17	1,28	1,09
VIII	1,24	1,42	1,15
IX	1,00	1,12	1,12

Verifica-se que os coeficientes de cultura assumem valores distintos de acordo com o método de estimativa empregado. Pode-se observar também, que os valores obtidos pelo método de Penman, são sempre superiores aos valores obtidos através do método do tanque Classe A, com exceção do sexto decêndio, o que era esperado uma vez que a Eto estimada por este método apresentou resultados inferiores aos do tanque Classe A (Figura 12).

Figura 13 - Valores de coeficiente de cultura, por decêndio, estimado pelos métodos do tanque Classe A e Penman.

Para uma maior adequação ao manejo da irrigação, estes coeficientes foram agrupados de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, sendo apresentados pelo Quadro 15. Este Quadro apresenta ainda os valores de Kc propostos por DOOREMBOS & PRUITT (1977).

Quadro 15 - Valores de coeficiente de cultura por fase de desenvolvimento vegetativo.

Fases	Kcm		Kc FAO*
	KcmCA	KcmPn	
Inicial	0,80	1,01	0,90 - 0,95
Desenvolvimento	0,80	0,95	0,97 - 1,07
Médio	1,03	1,12	1,00 - 1,15
Final	1,12	1,27	0,70 - 0,85

* Kc FAO corresponde aos coeficientes propostos por DOOREMBOS & PRUITT, 1977.

Nota-se que os coeficientes de cultura obtidos pelos dois métodos de estimativa, apresentaram uma certa variabilidade em relação aos valores propostos por DOOREMBOS & PRUITT (1977). No entanto verifica-se uma tendência de crescimento para os estádios de desenvolvimento e médio. Para o estágio final não ocorreu declínio, o que pode ser atribuído às irrigações suplementares ocorridas no final do ciclo vegetativo, que elevou o consumo de água neste período.

Em relação aos valores de Kc obtidos com base na evapotranspiração real (Kcr), face as limitações já discutidas relativas ao método de medida, tornou-se inadequada a determinação do Kc para os diferentes estádios de desenvolvimento vegetativo. Por este motivo foi determinado um valor de Kcr médio para todo o ciclo fenológico da cultura. Os resultados obtidos foram 0,97 e 1,10, para os métodos do tanque Classe A e Penman,

respectivamente.

Os resultados de Kcr médio acima citados, apresentam-se próximos aos obtidos utilizando a Etm, que são de 0,93 e 1,06. Estes dados permitem afirmar que, para as condições em que o experimento foi desenvolvido, o balanço hídrico sob condições de campo, mostrou-se viável para a determinação do Kc médio para o ciclo vegetativo da cultura.

De forma análoga à evapotranspiração máxima, procurou-se realizar uma análise de regressão entre os valores de coeficiente de cultura obtidos através dos métodos tanque classe A e Penmam cujas equações são apresentadas a seguir:

$$K_{cmCA} = 1,0058 - 0,2731D + 0,0803D^2 - 0,0055D^3 \quad [20]$$

$$K_{cmPn} = 1,2631 - 0,3148D + 0,08118D^2 - 0,0053D^3 \quad [21]$$

para $D = 1, 2, \dots, 9$.

Os coeficientes de correlação (R) encontrados foram 0,9354 e 0,7470 respectivamente. Neste caso, utilizando o teste t encontrou-se os valores de $t = 19,80$ e $2,96$, que mostraram-se significativos ao nível de 5% de probabilidade. A figura 14 ilustra a distribuição dos valores estudados.

Figura 14 - Dados estimados e observados de KcmCA e KcmPnm em função dos decêndios.

4.4. Desempenho da cultura

A cultura de uma forma geral, apresentou uniformidade na germinação, desenvolvimento e maturação, tanto dentro quanto fora dos lisímetros, o que pode ser explicado pelas condições de umidade mantidas e tratamentos culturais empregados.

4.4.1. Produtividade

Com o objetivo de avaliar o desempenho da

cultura, obteve-se a produtividade média por metro quadrado, sendo contabilizada por hectare. Os resultados obtidos encontram-se expressos no Quadro 16.

Quadro 16 - Produtividade da cultura

Local de Cultivo	PRODUTIVIDADE (Kg/ha)		TOTAL (Kg/ha)
	Comercial	Não Comercial	
Area interna ao lisímetro	62.400	14.800	77.200
Area externa ao lisímetro (B, Hídrico)	49.300	23.100	72.400

Os resultados acima mostram em termos percentuais que a produtividade total da cultura nos lisímetros foi 6,2% superior a área onde foi determinado o balanço hídrico. Estes valores encontram-se próximos dos resultados encontrados por ORZOLEK & CARROLL (1976), para mesma variedade cultivada em solos irrigados, em GEORGETOWN, EUA.

No entanto, a produtividade comercial da área interna se mostrou 20,99% superior à área externa, embora a quantidade total de água consumida no balanço hídrico tenha sido apenas 4,3% inferior ao lisímetro.

A produtividade comercial esperada para esta cultivar varia de 20 - 30 ton/ha (CAMARGO, 1988), a qual foi superada tanto pelo rendimento do lisímetro quanto da área onde foi determinado o balanço hídrico. SILVA et alii

(1982) obteve produtividade comercial de 26.55 ton/ha, mantendo uma tensão máxima, que considerou recomendável para a cultura da cenoura, da ordem de 0.029 MPa.

4.4.2. Dados biométricos

O Quadro 17 apresenta o comportamento da cultura da cenoura em relação aos seus dados biométricos.

Quadro 17 - Dados biométricos

Parâmetros Avaliados	Área interna ao lisímetro	Área externa ao lisímetro (B. Hídrico)	PaBH/PaL**
N ^o Plantas/m ²	94,00	93,00	0,99
. Comerciais	77,00	65,00	0,84
. Não Comerciais	17,00	28,00	1,65
Peso médio/raiz(g)	82,13	77,85	0,95
Comp. raízes(cm)*	14,14	14,36	1,06
Diâmetro raízes(mm)*			
. 1/3 superior	41,66	37,82	0,91
. 1/3 inferior	27,34	26,86	0,98
Alt. parte aérea(cm)*	60,00	56,00	0,93
Peso parte aérea(g)*	28,75	27,45	0,95
N ^o folhas/planta*	7,00	6,00	0,86

* Média de 20 plantas/m²

** Parâmetros aval. b. hídrico/Parâmetros aval. lisímetros.

Com base nos dados obtidos verifica-se que as diferenças entre as variáveis analisadas, podem ser

consideradas pequenas, exceção feita ao número de plantas não comerciais por metro quadrado, onde a área em que foi determinado o balanço hídrico apresentou resultados 60,7% superior aos valores observados nos lisímetros.

4.4.3. Eficiência de Uso da Água (e.u.a.)

A e.u.a. refere-se a um parâmetro de rendimento total da colheita por unidade de água utilizada, sendo maior objetivo das pesquisas nesta área alcançar valores altos de eficiência, mantendo-se altas produtividades (HERNANDEZ, 1991).

O Quadro 18 mostra o consumo total de água, durante o ciclo vegetativo da cultura (mm), a produtividade comercial (kg/ha) e a eficiência de uso da água.

Quadro 18 - Valores de consumo de água, produtividade total e eficiência de uso de água.

Métodos de Medida	Consumo de água (mm)	Produtividade Comercial(kg/ha)	e. u. a. (g/m ² /mm)
Lisímetros	381,35	62.400	16,40
B. Hídrico	365,03	49.300	13,50

Analisando os resultados obtidos nota-se que a e.u.a. utilizando o método do balanço hídrico, apresenta-se 18% inferior ao método lisimétrico, quando avaliada em relação a produtividade comercial.

5. CONCLUSÕES

De posse dos resultados obtidos para as condições em que foi desenvolvido o experimento, pode-se concluir que:

- O lisímetro de nível freático constante, mostrou-se viável na determinação da evapotranspiração máxima, pela precisão dos resultados e facilidade operacional;

- O valor da evapotranspiração máxima acumulada para a cultura da cenoura, durante o ciclo foi de 381,35 mm, com um consumo médio de 3,78 mm/dia;

- O balanço hídrico sob condições de campo, comparando-se com os dados obtidos pelo lisímetro, apresentou resultados que viabilizaram a sua utilização na determinação da demanda de água da cultura, para valores médios diários ou totais;

- Os valores encontrados para evapotranspiração de referência pelo método de Penman foram inferiores em 12,56% aos valores estimados pelo método do tanque Classe A;

- Os coeficientes culturais (K_c) médios, determinados pelos métodos lisimétrico e balanço hídrico sob condições de campo, assumiram valores aproximados da ordem de 0,93 e 1,06; 0,97 e 1,10 em função do método de estimativa de evapotranspiração de referência utilizado: tanque Classe A e Penman, respectivamente;

- A diferença observada entre os coeficientes culturais em função do método de estimativa de Eto proposto, não invalida a sua aplicação, desde que seja utilizado o coeficiente específico para o método que deu origem;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A. ALFARO, A.; SMITH, M. *Lisimeters*. Rome, FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).
- ARAGÃO JUNIOR, T. C. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para cenoura (*Daucus carota* L.) pelo método do balanço hídrico. Fortaleza, 1982. 45p. (Mestrado - Universidade Federal do Ceará).
- ASSIS, F. N. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, 1978. 69p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- ASSIS, F. N. & VILLA NOVA, N. A. Adaptação do evapotranspirômetro de Thorthwaite para registro da evapotranspiração. *Agros*, Pelotas, 15 (1): 1-7, 1980.
- BACCHI, O. O. S. Teoria dos fatores de escala na análise comparativa de métodos de determinação da condutividade hidráulica de um solo. Piracicaba, 1988. 94p. (Doutorado - 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).

BERLATO, M. A. & MOLION, L. C. B. **Evaporação e transpiração.** Porto Alegre, IPAGRO, 1981. 95p. (IPAGRO Boletim Técnico, 7).

BURMAN, R. D.; NIXON, P. R.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W.O. Water requeriments. In: JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems.** St. Joseph, ASAE, 1980. cap. 6. p.189-232.

CAMARGO, A. P. de; PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. F. Clima do Estado de São Paulo. In: SÃO PAULO, Secretaria da Agricultura. **Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo.** São Paulo, 1974. v.1, cap.2, p.51-87.

CAMARGO, L. S. **As hortaliças e seu cultivo.** 2. ed. Campinas, Fundação Cargill, 1984. 448p.

COSTA, A. C. S. da. Balanço hídrico em culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e de milho (*Zea mays* L.) sob condições de campo. Piracicaba, 1986. 166p. (Mestrado Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

COSTA, M. B. Determinação do consumo de água na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) através de lisímetro. Piracicaba, 1989. 74p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

CURY, D. M. Avaliação da demanda hídrica da cultura do repolho (*Brassica oleracea*, var. capitata L.) e suas interrelações climáticas. Piracicaba, 1985. 79p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- DANE, J. H. Comparison of field and laboratory determined hydraulic conductivity values. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **44**: 228-31, 1980.
- DEMATTE, J. B. I.; IGUE, T.; NAGAI, V.; CAMARGO, L. S.; CAMPOS, H. R.; ALVES, S.; SCARDUA, R.; DEMATTE, J. L. I. **Efeitos da irrigação na precocidade da cenoura, alface e ervilha**. Campinas, IAC, 1981. 25p. (IAC. Circular, 31).
- DOOREMBOS, J. & KASSAN, A. H. **Yeild response to water**. Rome, FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOOREMBOS, J. & PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome, FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DOWNEY, L. A. Water-yeild relation for nonforage crops. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, **98**: 107-15, 1972.
- ENCARNAÇÃO, C. R. G. **Estudo da demanda de água do feijoeiro**. Piracicaba, 1981. 62p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G. E.; NORDENSON, T. J.; OMAR, M. H.; ORYVAEV, V. A. **Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration**. Genova, World Meteorological Organization, 1971. 121p.

- GREEN, R. E.; AHUJA, L. R.; CHONG, S. K. Hydraulic conductivity, diffusivity and sorptivity of unsaturated soils: field methods. In: KLUTE, A. de. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, ASA/SSSA, 1986. pt1: Physical and mineralogical methods, p.771-98. (Agronomy, 9).
- HANKS, R. J. & ASHCROFT, G. L. Soil-plant-atmosphere relations. In: HANKS, R. J. & ASHCROFT, G. L. **Applied soil physics-soil water and temperature applications**. Berlin, Springer-Verlag, 1980. v.1, cap.4, p. 111-3.
- HERNANDEZ, F. B. T. Determinação do consumo de água na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) na Região de Jaboticabal. Jaboticabal, 1991. 77p. (Mestrado - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP).
- HILLEL, D. Role of irrigation in agricultural systems. In: STEWART, B. A. & NIELSEN, D. R., ed. **Irrigation of agricultural crops**. Madison, ASA, 1990. cap.2, p.5-20.
- JAGTAP, S. S. & JONES, J. W. Stability of crop coefficients under different climatic and irrigation management pratics. **Irrigation Science**. Heidelberg, 10 (3):231-44, july/sept., 1989.
- JENSEN, M. E. Evaluating irrigation efficiency. **Journal of Irrig. and Drainage Division**. 95: 83-98, 1967.
- JENSEN, M. E. Water consupction by agricultural plants. In: KOSLOWSKI, T. T., ed. **Water deficits and plant growth**. 2.ed. New York, Academic Press, 1969. v.2, cap. 1., p. 1-22.

- LUCHIARI JUNIOR, A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelo método do balanço hídrico. Piracicaba, 1978. 59p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- MARQUELLI, W. A. & VIEIRA, J. V. A irrigação na produção de raízes e sementes de cenoura. ITEM, Brasília, 42: 29-31, set. 1990.
- MOURA, M. C. F. L. Determinação do 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).
- OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- ORTOLANNI, 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: LXV-III, 1966.
- ORZOLEK, M. D. & CARROLL, R. B. Method for Evaluation Excessive Secondary Root Development in Carrots. HortScience. 11(5): 479-80.
- PENMAN, H. L. Evaporation: an introduction survey. Netherland. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 4: 9-29, 1956.
- PEREIRA, A. B. Demanda climática ideal de água e produtividade da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L. cv. Itararé). Botucatu, 1991. 158p. (Mestrado Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP).

- PRUITT, W. O.; LOURENCE, F. J.; VAN OETTINGEN, S. Water use by crops as affected by climate and plant factors. **California Agriculture**, Berkeley, p. 10-4. 1972.
- RANZANI, G. O.; FREIRE, O. KINJO, T. **Carta de solos do município de Piracicaba**. Piracicaba, ESALQ, 1966. 95p.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; SAUNDERS, L. C. U. Dinâmica da água em solos cultivados com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 3:1-5, 1989.
- ROSE, C. W. & STERN, W. R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. **Australian Journal Soil Research**, East Melbourne, 5:11-19. 1969.
- SAAD, A. M. **Uso de tensiômetro no controle da irrigação por pivô central em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Piracicaba, 1991. 144p. (Mestrado Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SAAD, J. C. C. & SCALOPPI, E. J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. **Anais**. Florianópolis, ABID, 1988. v. 2, p. 999-1021.
- SEDYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília. ABEAS, 143p. 1987. (Curso de Engenharia de Irrigação. Módulo 4).

- 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. L. C.; VIEIRA, J. V.; CARRIJO, D. A. Efeito de diferentes tensões de umidade do solo sobre a cultura da cenoura em fase de desenvolvimento ativo do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17 (2): 211-4, 1982.
- STANHILL, G. A comparision of methods of calculating potential evapotranspiration from climatic data. *Israel Journal of Agricultural Research*, Bet-Dagan, 11: 159-71, 1961.
- TANNER, C. B. Evaporation of water from plants and soil. In: KOZLOWSKI, T. T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, 1968. v.1., p. 73-106.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, 38: 55-94, 1948.
- VAN BAVEL, C. H. M. Lysimeters measurement of evapotranspiration rates in the eastern United States. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 23 (2): 138-41, 1961.
- VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hidraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society America Journal*, Madison, 44: 892-98, 1980.

VAUCHAUD, G.; TEHEL, J.; BOCALATO, R. Controle automatique "in situ" des transferts d'eau des la zone non saturée. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies.** Vienna, 1973. p. 1-5.

VAUCLIM, M; IMBERNON, J.; VAUCHAUD, G. Analyse comparative de différentes méthodes de détermination de la conductivité hydraulique des sols non saturés de la zones center-nord des Senegal. **Agronomie Tropicale.**, Nogent-sur-Marne. 38: 186-97, 1982.

VILLA NOVA, N. A. A estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1967. 66p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

WRIGHT, J. L. & JENSEN, M. E. Peak water requirements in southern Idaho. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 98 (IR 2): 193-201, 1972.

APENDICE

Figura 01 - Valor médio de K_c para o estágio inicial em função da ETP (durante o estágio inicial) e frequência de precipitações ou irrigações, ocorridas no período (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

Tabela 01 - Valores do coeficiente de conversão do tanque Classe A (Kp), para a estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) (DOOREMBOS & KASSAN, 1979).

VENTO (Km/dia)	Tamanho da bordadura (grama)m.	TANQUE COLOCADO EM ÁREA CULTIVADA COM VEGETAÇÃO BAIXA		
		Umidade relativa média (%)		
		Baixa < 40	Média 40-70	Alta > 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
M. 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	0,85

Tabela 02 - Valores de Δ/γ entre 1 e 40 °C.

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

FONTE: VILLA NOVA (1967).

Tabela 03 - Radiação Extra-terrestre (Q_0), em mm.ev.eq.
($Q_0/59$).

L	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
12	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
20	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
36	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
38	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
40	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,8	5,9	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3

FONTE: OMETTO (1981).

Tabela 04 - Duração Máxima da Insolação (ND).

LAT	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5N	11,74	11,85	11,97	12,11	12,22	12,28	12,25	12,15	11,98	11,90	11,78	11,72
4N	11,80	11,88	11,98	12,09	12,18	12,22	12,20	12,12	12,02	11,91	11,82	11,77
3N	11,85	11,90	11,98	12,06	12,13	12,17	12,15	12,09	12,01	11,94	11,87	11,83
2N	11,90	11,93	11,98	12,04	12,09	12,11	12,10	12,06	12,01	11,95	11,91	11,88
1N	11,94	11,96	11,99	12,02	12,04	12,05	12,04	12,03	12,00	11,97	11,95	11,94
0	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
1S	12,05	12,02	12,00	11,97	11,95	11,94	11,04	11,97	11,99	12,02	12,04	12,05
2S	12,09	12,05	12,01	11,95	11,91	11,88	11,89	11,93	11,98	12,03	12,08	12,10
3S	12,15	12,08	12,01	11,93	11,86	11,83	11,84	11,90	11,97	12,05	12,12	12,16
4S	12,20	12,12	12,01	11,90	11,82	11,77	11,80	11,87	11,97	12,08	12,18	12,22
5S	12,24	12,15	12,01	11,86	11,78	11,71	11,74	11,83	11,97	12,10	12,22	12,28
6S	12,30	12,18	12,02	11,85	11,73	11,66	11,69	11,80	11,95	12,12	12,26	12,33
7S	12,35	12,18	12,02	11,84	11,68	11,61	11,65	11,77	11,95	12,14	12,30	12,39
8S	12,40	12,25	12,03	11,81	11,63	11,55	11,59	11,74	11,95	12,16	12,34	12,44
9S	12,45	12,28	12,04	11,79	11,59	11,50	11,54	11,70	11,93	12,18	12,40	12,50
10S	12,50	12,31	12,04	11,76	11,54	11,44	11,49	11,66	11,93	12,20	12,42	12,55
11S	12,55	12,33	12,05	11,74	11,50	11,37	11,43	11,63	11,92	12,22	12,48	12,61
12S	12,60	12,36	12,05	11,73	11,45	11,32	11,38	11,61	11,90	12,24	12,52	12,69
13S	12,65	12,38	12,05	11,70	11,40	11,24	11,34	11,57	11,89	12,28	12,58	12,75
14S	12,71	12,41	12,05	11,68	11,34	11,18	11,28	11,53	11,88	12,30	12,62	12,80
15S	12,76	12,43	12,06	11,62	11,28	11,12	11,23	11,48	11,85	12,33	12,69	12,88
16S	12,81	12,48	12,06	11,61	11,24	11,05	11,18	11,43	11,83	12,36	12,74	12,93
17S	12,88	12,51	12,06	11,55	11,20	11,03	11,12	11,39	11,80	12,38	12,76	13,00
18S	12,92	12,58	12,07	11,52	11,15	10,95	11,06	11,37	11,85	12,44	12,80	13,06
19S	13,00	12,62	12,07	11,50	11,08	10,89	11,00	11,30	11,90	12,46	12,88	13,10
20S	13,06	12,65	12,07	11,48	11,00	10,80	10,96	11,28	11,92	12,50	12,92	13,15
21S	13,10	12,67	12,07	11,45	10,97	10,72	10,92	11,25	11,96	12,56	12,98	13,21
22S	13,14	12,70	12,07	11,41	10,92	10,69	10,87	11,20	12,00	12,60	13,02	13,30
23S	13,20	12,80	12,07	11,38	10,85	10,60	10,80	11,14	12,00	12,70	13,10	13,40
24S	13,26	12,86	12,08	11,33	10,80	10,55	10,74	11,10	12,00	12,72	13,16	13,47
25S	13,35	12,87	12,08	11,30	10,78	10,48	10,68	11,09	12,00	12,74	13,20	13,54
26S	13,40	12,88	12,08	11,29	10,76	10,40	10,62	11,08	12,00	12,76	13,24	13,61
27S	13,46	12,90	12,10	11,28	10,70	10,35	10,60	11,10	12,01	12,78	13,26	13,68
28S	13,50	12,91	12,11	11,27	10,65	10,29	10,58	11,12	12,01	12,80	13,30	13,72
29S	13,55	12,93	12,12	11,24	10,62	10,20	10,50	11,13	12,01	12,82	13,34	13,80
30S	13,60	13,00	12,15	11,20	10,55	10,10	10,40	11,15	12,01	12,85	13,40	13,90
31S	13,68	13,07	12,18	11,17	10,49	10,00	10,34	11,11	12,01	12,88	13,46	13,98
32S	13,78	13,16	12,21	11,14	10,42	9,92	10,28	11,08	12,01	12,92	13,53	14,08
33S	13,86	13,25	12,25	11,10	10,34	9,86	10,20	11,04	12,02	12,95	13,60	14,19
34S	13,96	13,32	12,30	11,07	10,26	9,78	10,14	11,00	12,02	13,00	13,66	14,27
35S	14,08	13,39	12,34	11,04	10,20	9,70	10,09	10,95	12,03	13,04	13,72	14,38
36S	14,20	13,46	12,39	11,01	10,16	9,64	10,00	10,90	12,03	13,08	13,84	14,50

FONTE: OMETTO (1981).

Tabela 05 - Pressão Máxima do Vapor sobre a Água em mmHg
(es).

t	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,58	4,61	4,65	4,68	4,72	4,75	4,79	4,82	4,86	4,89
1	4,93	4,96	5,00	5,03	5,07	5,11	5,14	5,18	5,22	5,26
2	5,29	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65
3	5,69	5,73	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,97
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,57	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,05	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,59	9,65	9,71	9,78
11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,01	11,09	11,16
13	11,23	11,31	11,38	11,45	11,53	11,60	11,68	11,76	11,83	11,91
14	11,99	12,07	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71
15	12,79	12,87	12,95	13,04	13,12	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
16	13,63	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38
18	15,48	15,58	15,67	15,77	15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
19	16,48	16,58	16,69	16,79	16,89	17,00	17,11	17,21	17,32	17,43
20	17,54	17,64	17,75	17,86	17,97	18,09	18,20	18,31	18,42	18,54
21	18,65	18,77	18,88	19,00	19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,07	20,19	20,32	20,44	20,57	20,69	20,82	20,94
23	21,07	21,20	21,37	21,45	21,58	21,71	21,85	21,98	22,11	22,24
24	22,38	22,51	22,65	22,79	22,92	23,06	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,90	24,04	24,18	24,33	24,47	24,62	24,76	24,91	25,06
26	25,21	25,36	25,51	25,66	25,81	25,96	26,12	26,27	26,43	26,58
27	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,54	27,70	27,86	28,02	28,19
28	28,35	28,51	28,68	28,85	29,02	29,18	29,35	29,53	29,70	29,87
29	30,04	30,22	30,39	30,57	30,75	30,92	31,10	31,28	31,46	31,64
30	31,82	32,01	32,19	32,38	32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,50
31	33,70	33,89	34,08	34,28	34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
32	35,66	35,87	36,07	36,27	36,48	36,68	36,89	37,10	37,31	37,52
33	37,73	37,94	38,16	38,37	38,58	38,80	39,02	39,24	39,46	39,68
34	39,90	40,12	40,34	40,57	40,80	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
35	42,18	42,41	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,84	44,08	44,32
36	44,56	44,81	45,05	45,30	45,55	45,80	46,05	46,30	46,56	46,81
37	47,07	47,32	47,58	47,84	48,10	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
38	49,69	49,96	50,23	50,50	50,77	51,05	51,32	51,60	51,88	52,16
39	52,44	52,73	53,01	53,29	53,58	53,87	54,16	54,45	54,74	55,02
40	55,32	55,61	55,91	56,21	56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03
41	58,34	58,65	58,96	59,27	59,58	59,90	60,22	60,54	60,86	61,18
42	61,50	61,82	62,14	62,47	62,80	63,13	63,46	63,79	64,12	64,46
43	64,80	65,14	65,48	65,82	66,16	66,51	66,86	67,21	67,56	67,91
44	68,26	68,61	68,97	69,33	69,69	70,03	70,41	70,77	71,14	71,51

FONTE : OMETTO (1981).