

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (K<sub>c</sub>) PARA CENOURA  
(*Daucus carota* L.) PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

THOMAZ CORRÊA ARAGÃO JUNIOR

---

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1982

Esta dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agrícola, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e se encontra à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

---

Thomaz Corrêa Aragão Junior

DISSERTAÇÃO APROVADA EM

07/04/82

---

Paulo Teodoro de Castro  
Orientador da Dissertação

---

Francisco de Souza

---

Alexandre R. da Costa Lima

Aos meus pais e  
à minha esposa,

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pela oportunidade de realização deste Curso.

Ao professor PAULO TEODORO DE CASTRO, pela amizade e orientação proporcionadas no presente trabalho.

Ao professor FRANCISCO DE SOUZA, pelas sugestões apresentadas neste trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos e consideração.

Aos colegas de Curso, pela amizade durante o período de nossa convivência.

Ao Engenheiro Agrônomo AUGMAR DRUMOND RAMOS, pela identificação do solo onde foi desenvolvido este trabalho.

Finalmente, agradecemos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	página
1 - <u>RESUMO</u> .....	ix
2 - <u>ABSTRACT</u> .....	x
3 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
4 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	3
5 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u> .....	11
5.1 - <u>Caracterização do experimento</u> .....	11
5.1.1 - <u>Localização geográfica</u> .....	11
5.1.2 - <u>Caracterização climática</u> .....	11
5.1.3 - <u>Características do solo</u> .....	12
5.1.3.1 - <u>Propriedades morfológicas</u> .....	12
5.1.3.2 - <u>Características físicas e químicas</u> .....	12
5.1.4 - <u>Cultura</u> .....	14
5.2 - <u>Princípios do método do balanço hídrico</u> .....	15
5.3 - <u>Processo utilizado na determinação dos componentes do balanço hídrico</u> .....	18
5.3.1 - <u>Variação do armazenamento de água no solo (<math>\Delta A</math>, mm)</u> .....	18
5.3.1.1 - <u>Tensiômetros</u> .....	20
5.3.1.2 - <u>Curvas de retenção de água</u> .....	20
5.3.1.3 - <u>Umidade do solo</u> .....	22
5.3.1.4 - <u>Armazenamento (<math>A</math>, mm)</u> .....	22
5.3.2 - <u>Drenagem profunda (<math>Q_L</math>, mm)</u> .....	23
5.3.3 - <u>Precipitação pluvial (<math>P</math>, mm)</u> .....	24
5.3.4 - <u>Irrigação (<math>I</math>, mm)</u> .....	24
5.3.5 - <u>Deflúvio superficial (<math>R</math>, mm)</u> .....	25
5.4 - <u>Medida direta da evaporação (<math>E</math>, mm . dia<sup>-1</sup>)</u> .....	25
5.5 - <u>Estimativa da evapotranspiração real (<math>ET_r</math>, mm)</u> .	25
6 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	26
6.1 - <u>Balanço hídrico</u> .....	26

	página
6.2 - <u>Coeficiente de cultura</u> (Kc).....	30
7 - <u>CONCLUSÕES</u> .....	40
8 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	42

## LISTA DE TABELAS

TABELA	página
1 - Características físicas do solo .....	13
2 - Características químicas do solo .....	13
3 - Valores dos componentes do balanço hídrico, evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A" e % de perdas de água por drenagem profunda para os intervalos do balanço ....	27
4 - Valores de evapotranspiração real ( $ET_r$ ) e evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de coeficientes de cultura (Kc). (2º estágio).	32
5 - Valores de evapotranspiração real ( $ET_r$ ) e evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de coeficientes de cultura (Kc). (3º estágio).	34
6 - Valores de evapotranspiração real ( $ET_r$ ) e evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de coeficientes de cultura (Kc). (4º estágio).	36

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	página
1 - Esquema do elemento de volume de solo para o balanço hídrico .....	19
2 - Corte longitudinal de um tensiômetro instalado no solo, onde $h_z$ = altura da coluna de mercúrio; $h_c$ = altura do nível de mercúrio na cuba em relação à superfície do solo e $z$ = profundidade de instalação .....	21
3 - Variação dos componentes do balanço hídrico, evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A" para os intervalos do balanço, na cultura da cenoura .....	29
4 - Curvas de regressão linear da evapotranspiração real ( $ET_r$ ) acumulada da cenoura e da evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) acumulada. (2º estágio) .....	33
5 - Curvas de regressão linear da evapotranspiração real ( $ET_r$ ) acumulada da cenoura e da evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) acumulada. (3º estágio) .....	35
6 - Curvas de regressão linear da evapotranspiração real ( $ET_r$ ) acumulada da cenoura e da evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) acumulada. (4º estágio) .....	37

## 1 - RESUMO

Mediante a aplicação da lei da conservação das massas num volume de controle de solo, este trabalho estuda os principais fatores envolvidos na determinação da evapotranspiração real na cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) em Podzólico-Vermelho-Amarelo.

Os valores de evapotranspiração real obtidos, através do método do balanço hídrico, foram correlacionados com os da evaporação corrigida de um tanque "Classe A", objetivando-se a obtenção de coeficientes que possibilitassem a estimativa da evapotranspiração da cultura, somente com o uso do tanque de evaporação.

Esses coeficientes, chamados coeficientes de cultura ( $K_c$ ), foram obtidos para os estágios de desenvolvimento, médio e final, resultando nos valores médios de 0,77; 0,99 e 0,86, respectivamente. Foi também determinado um coeficiente de cultura ( $K_c$ ) médio para todo o ciclo, obtendo-se o valor 0,87, que pode ser considerado como básico para fins de irrigação da cenoura.

2 - ABSTRACT

By using the mass conservation law in a control volume of soil, the major factors involved in the estimation of the crop evapotranspiration in carrot (*Daucus carota* L.) were analysed.

The values of crop evapotranspiration obtained by this procedure were correlated with data obtained from a Class A pan, with the objective of determining coefficients that could make the estimation of the crop evapotranspiration using the evaporation pan only.

These coefficients, called crop coefficients ( $K_c$ ), were obtained during the stages of crop development, mid-season and late season and the resulting mean values were 0,77; 0,99 and 0,86, respectively. It was also determined a mean crop coefficient ( $K_c$ ) for the whole growing season and the resulting mean value was 0,87 that can be taken as a basic value for irrigation purposes of the carrot crop.

### 3 - INTRODUÇÃO

A necessidade de obtenção de maiores índices na produção agrícola mundial é exigida pela crescente expansão demográfica. A agricultura de hoje exige o emprego de técnicas modernas e racionais de cultivo para atender à crescente demanda em produtos agrícolas e, também, para proporcionar uma maior rentabilidade para quem os produz.

O deficit hídrico decorrente da escassez de precipitações pluviométricas pode significar em perdas substanciais às atividades agrícolas. A necessidade de suplementação total ou parcial de água às culturas é quase que primordial em nossa região, constantemente ameaçada pelas adversidades climáticas, no que se refere à escassez de água de chuva. Esta suplementação de água, ou seja, a adoção da prática da irrigação, começa a difundir-se em nosso meio, embora com certa deficiência em informações básicas que possibilitem um aproveitamento adequado dos recursos hídricos disponíveis.

A cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) é a principal hortaliça de expressão econômica cultivada na micro-região cearense da Serra de Baturité, sendo também cultivada na micro-região da Ibiapaba. A prática da irrigação da cultura nestas micro-regiões é feita sem o conhecimento de informações importantes, tais como o coeficiente de cultura e evapotranspiração real.

O sucesso da aplicação da técnica de irrigação depende, entre outros requisitos, do conhecimento da demanda hídrica da cultura. Para tal, existe uma metodologia extensa que pode ser usada na determinação direta da evapotranspiração real das culturas ou na sua estimativa através da evapotranspiração potencial. No entanto, torna-se necessá-

rio o uso de coeficientes adequados, denominados coeficientes de cultura, que são específicos de cada cultivo estudado.

O trabalho desenvolvido apresenta como objetivos principais estudar os fatores envolvidos na determinação direta da evapotranspiração real na cultura da cenoura, pelo método do balanço hídrico e a determinação do coeficiente de cultura que possibilite estimar a evapotranspiração real, baseada na evaporação corrigida do tanque "Classe A".

#### 4. REVISÃO DE LITERATURA

A evaporação é definida como o processo físico no qual um líquido ou sólido é transferido para o estado de vapor. Este processo de perda de água para a atmosfera ocorre nas superfícies de oceanos, rios, lagos, solos e vegetação úmida. A evaporação através de plantas, chamada de transpiração, é o principal processo de transferência da água do solo para a atmosfera, sendo limitado por fenômenos biológicos.

Quando a superfície do solo é coberta por vegetação, há a evaporação através do solo, como também através das plantas. A ocorrência simultânea de ambos os processos é comumente conhecida como evapotranspiração.

Segundo REICHARDT (1975), o processo de evapotranspiração é de suma importância no ciclo hidrológico, notadamente em áreas cultivadas. Quando da absorção de uma grama de nutrientes do solo pela planta, centenas de gramas de água necessitam ser absorvidas. Daí ser a transpiração chamada comumente de evaporação produtiva e a evaporação do solo de não produtiva.

Sob o aspecto quantitativo, a evaporação caracterizada como não produtiva pode ser considerável. PETERS (1960), citado por REICHARDT (1975), observou que, durante o ciclo vegetativo normal de uma cultura, a perda de água através da evaporação do solo pode representar 50% da evapotranspiração.

Experimentos realizados por PENMAN (1948) demonstram que a taxa de evaporação em solos nus bastantes úmidos é aproximadamente igual à taxa de evaporação de uma superfície livre de água.

Oito anos depois, LEMON (1956) dividiu o processo de evaporação da água em um solo nu em três diferentes estágios. O primeiro é determinado por uma velocidade de evaporação constante e independe da umidade do solo. Para este estágio, as condições atmosféricas dominantes contíguas ao solo regem a evaporação. Já no segundo estágio, a velocidade de evaporação é uma função linear da umidade média do perfil do solo e as condições do solo determinam a velocidade de evaporação. Finalmente, o terceiro estágio é iniciado quando a função que correlaciona a velocidade de evaporação com a umidade média do perfil de solo começa a perder a linearidade. Este estágio apresenta-se caracterizado por um lento movimento de água no perfil de solo, devido às forças de adsorção presentes entre a água e as partículas do solo.

Posteriormente, REICHARDT (1972) estudou o processo de evaporação da água de solos arenosos, sem cobertura vegetal, com a utilização da atenuação da radiação gama, discutindo então os três estágios referidos do processo de evaporação.

A água é primariamente perdida pela planta através do processo de transpiração, controlado principalmente pelos estômatos. A taxa de transpiração é determinada por fatores ambientais que possuem grande influência no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos como luz, diferença de potencial da água entre as superfícies radiculares e os locais de evaporação no interior das folhas. As resistências ao fluxo da água provocadas pelas estruturas das raízes, caules e folhas têm uma considerável influência na perda de água pelas plantas (WINTER, 1976).

O termo evapotranspiração significa a soma da evaporação do solo e da transpiração das plantas, condicionando a perda de água para a atmosfera. Thornthwaite em 1944 conceituou a evapotranspiração potencial como "a perda de água de uma superfície de solo úmido, completamente vegetado e suficientemente grande para tornar desprezível o efeito de oásis". Já Penman em 1956 modificou o conceito anterior e

criou porém o conceito de transpiração potencial, definindo como "a perda de água por transpiração na unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e altura uniforme, cobrindo totalmente o solo, em ótimas condições de umidade".

De acordo com Penman, para uma cobertura de solo homogênea por plantas com mesmo albedo, a taxa de transpiração potencial é a mesma, independentemente do tipo de planta ou solo, sendo determinada apenas pelas condições climáticas (ASSIS, 1978).

Os métodos de estimativa da evapotranspiração, segundo TANNER (1968), podem ser relacionados de acordo com três classes principais: (a) os micrometeorológicos; (b) os do balanço hídrico e (c) os empíricos. Os métodos micrometeorológicos e os do balanço hídrico são caracterizados por possuírem um fundamento físico racional, enquanto que os métodos empíricos necessitam que seus resultados sejam corrigidos em função dos métodos já mencionados.

Os métodos micrometeorológicos utilizados em estimativas da evapotranspiração são os mais eficazes, no que se refere à precisão. Entretanto, necessitam instrumental sofisticado, pessoal especializado e uma superfície vegetal relativamente extensa e homogênea para que sejam aplicados. VIETS JUNIOR (1976), tecendo considerações sobre os métodos micrometeorológicos, afirma que os mesmos apresentam limitações quando empregados em pesquisas de países em processo de desenvolvimento. Já VILLA NOVA (1973) mostra a sua viabilidade, recomendando-os para as nossas condições.

Os métodos do balanço hídrico podem ser classificados principalmente nos seguintes tipos: um que utiliza o lisímetro na estimativa dos processos envolvidos no balanço e outro em que a estimativa é realizada diretamente num volume de controle de solo.

O método que utiliza lisímetro é o mais preciso, pois os resultados das estimativas da evapotranspiração podem ser obtidos em intervalos horários, mensais e sazonais, dependendo do tipo de lisímetro utilizado (RITCHIE, 1973;

VILLA NOVA, 1973; VIETS JUNIOR, 1976). Este método permite ainda determinações simultâneas e independentes da drenagem profunda e da evapotranspiração (BARRADA, 1971). Como limitação, o seu uso é condicionado a vários problemas, no tocante, principalmente, à construção e instalação que podem alterar as propriedades físicas do solo e o meio ambiente normal das plantas do lisímetro, em relação às condições que o circundam (SLATYER, 1967; BARRADA, 1971; VIETS JUNIOR, 1976).

O método do balanço hídrico num volume de controle de solo considerado, empregado neste trabalho, tem sido apresentado por diversos autores (ROSE e STERN, 1966; ROSE, 1966; HOLMES *et alii*, 1967; SLATYER, 1967; BARRADA, 1971; REICHARDT, 1975). Os componentes deste método (precipitação, irrigação, deflúvio superficial, percolação profunda, variação do armazenamento de água do solo e evapotranspiração) são apresentados em uma equação geral de balanço de massa.

Os componentes da equação geral de balanço de massa integrantes do método do balanço hídrico são determinados por diferentes técnicas. A precipitação e a irrigação são mais facilmente estimadas, através do uso de pluviômetros e/ou pluviógrafos e pelo controle da água de irrigação (ROSE, 1966; SLATYER, 1967; REICHARDT, 1975). Segundo DOWNEY (1972), na determinação desses componentes, o erro varia na faixa de 1 a 5%, necessitando para tanto do uso de técnicas corretas.

Na determinação do deflúvio superficial são utilizadas técnicas e estruturas adequadas, porém às vezes, medidas diretas tornam-se dificultadas devido, particularmente, ao volume de água envolvido (ROSE, 1966). Devido a isto, técnicas alternativas têm sido usadas para sua determinação, obtendo-se considerável êxito. Desse modo, CRUCIANI (1972), estudou a estimativa desse componente em uma cultura de cana-de-açúcar, comparando os dados de intensidade de precipitação obtidos de um pluviógrafo com os de taxa de infiltração de um infiltrômetro "Muntz modificado". Já PEREIRA *et*

alii (1974) consideraram este componente desprezível em comparação com os outros componentes do balanço hídrico, baseando-se nas condições topográficas da área em estudo (declividade inferior a 3%).

A determinação do armazenamento de água pelo perfil de solo é feita a partir da integração de perfis consecutivos de umidade do mesmo. A medida do armazenamento pode ser feita através de amostragens periódicas ou pelo uso de instrumentos especializados (HILLEL, 1971). Esta pode também ser obtida pela moderação de neutrons (BARROS FERRAZ, 1968; CRUCIANI, 1972; REICHARDT et alii, 1974). Conforme TAYLOR (1961), citado por DOWNEY (1972), o erro que ocorre nas medidas da umidade está em torno de 10%, devido às determinações da densidade do solo.

A drenagem profunda é o componente mais difícil de ser estimado em um balanço hídrico. Na maioria dos balanços hídricos, esse componente é desprezado e considerado como parte integrante do armazenamento ou evapotranspiração (ROSE, 1966). A determinação da drenagem profunda tem sido enfatizada por muitos pesquisadores que testaram o uso de diversos métodos, como também, observaram a sua influência no balanço hídrico. Estudos realizados por WILCOX (1960) em solo cultivado e solo nu concluíram que a drenagem profunda era inferior em solo cultivado que em solo nu, mas o consumo total de água foi superior no primeiro caso. NIELSEN et alii (1964) afirmaram que a única maneira correta de apreciar o movimento de água no perfil de solo é mediante o uso de tensiômetros e não somente através das variações da umidade do solo. Afora isso, o fluxo de água pode ser ascendente ou descendente, dependendo da profundidade das raízes e da intensidade e frequência de irrigação adotadas (CRUCIANI, 1980). LA RUE et alii (1968), utilizando baterias de tensiômetros a várias profundidades e diferentes propriedades físicas do solo, visando a determinação da drenagem profunda em solo vegetado, observaram que ela é influenciada pelo crescimento da planta e também que essas perdas são

diretamente proporcionais à freqüência de irrigação. No que se refere à importância da drenagem profunda no balanço hídrico, trabalhos conduzidos por BLACK et alii (1970) e VACHAUD et alii (1973) verificaram que este componente nem sempre é negligenciável, pois pode constituir 30% ou mais do balanço hídrico total, notadamente quando os estudos são conduzidos em regiões de clima tropical.

O intervalo de tempo considerado para o balanço hídrico constitui-se numa considerável causa de erros. De acordo com JENSEN (1967), mesmo que todos os componentes do balanço hídrico sejam estimados, quando se considera intervalos de 3 a 5 dias, podem surgir erros na faixa de 15 a 30% quando se estima a evapotranspiração.

Nos métodos empíricos empregados na estimativa da evapotranspiração são utilizados tanques evaporimétricos, equações de balanço de energia e várias fórmulas teórico-empíricas. Segundo HARGREAVES (1974a), os tanques de evaporação têm sido largamente usados com eficiência para a obtenção da evapotranspiração potencial, notadamente em áreas com condições advectivas relativamente uniformes, durante o estágio de crescimento das culturas.

A estimativa dos requerimentos de irrigação e a freqüência de irrigação devem ser efetuadas mediante o uso de valores de evapotranspiração potencial e de coeficientes específicos, denominados coeficientes de cultura (HARGREAVES, 1974b). Os valores de evapotranspiração potencial devem ser corrigidos pelos coeficientes de cultura, fornecendo assim a estimativa da evapotranspiração real das culturas (JENSEN et alii, 1970; HARGREAVES, 1974a, 1974b; DOORENBOS e PRUITT, 1977). Os coeficientes de cultura têm os seus valores afetados, principalmente, pelos seguintes fatores: características da cultura, época de plantio, taxa de crescimento, duração da estação de crescimento, condições climáticas e, particularmente, durante o estágio inicial de desenvolvimento, a freqüência de chuva ou irrigação. (DOORENBOS e PRUITT, 1977).

O coeficiente de cultura tem sido objeto de muitos trabalhos de pesquisa realizados. Assim, SOUSA (1976) determinou o coeficiente de cultura da cana-de-açúcar através do método do balanço hídrico em um volume de controle de solo e do tanque "Classe A", considerando três estágios de desenvolvimento vegetativo da cultura: o primeiro, de 4 a 6 meses; o segundo, de 6 a 12 meses e o terceiro, de 12 a 14 meses, encontrando valores de 0,597; 0,720 e 0,705, respectivamente. LUCHIARI JUNIOR (1978), utilizando-se da mesma metodologia, obteve um valor médio para o coeficiente de cultura do feijão de 0,88, para períodos iguais ou superiores a 7 dias. Procedendo da mesma maneira, CASTRO (1979) obteve um valor médio para o coeficiente de cultura do milho de 0,75, para o 2º estágio de desenvolvimento, correspondente ao período compreendido do trigésimo ao septuagésimo dia após o plantio.

DOORENBOS e PRUITT (1977), descrevendo procedimentos para uma seleção adequada de valores de coeficientes de cultura, apresentam valores médios de 1,0 e 0,70 para o terceiro e quarto estágios de desenvolvimento da cultura da cenoura, sob condições de umidade relativa mínima acima de 70% e velocidade de vento entre 0 e 5m/s. No entanto, os mesmos autores apresentam valores de coeficientes de cultura médios de 1,10 e 0,80 para os mesmos estágios de desenvolvimento da cultura da cenoura, mas com umidade relativa mínima abaixo de 20% e velocidade de vento variando na faixa de 0 a 5m/s.

Já HARGREAVES (1976), estudando os requerimentos de água para culturas irrigadas, apresenta valores médios de coeficientes de cultura de 1,15 e 0,85 para hortaliças em condições de cobertura total e para todo o ciclo, respectivamente.

Conforme PRUITT *et alii* (1972), a evapotranspiração de várias culturas pode variar significativamente com diferenças em resistência estomatal, índice de área foliar, refletividade, natureza aerodinâmica das culturas e umidade

do solo. Ainda segundo esses autores, em condições de cobertura total do solo, a taxa de evapotranspiração de uma cultura aumenta, atingindo valores que variam de 1,20 a 1,30 vezes o valor da evapotranspiração potencial para climas tropicais. BRUNINI et alii (1975), estudando a necessidade em água na cultura de arroz, apresentaram valores médios de 4,75mm e 3,88mm de evapotranspiração por dia para espaçamentos de 0,30m e 0,60m entre linhas, respectivamente. Este consumo mostrou uma correlação com o índice de área foliar e com o estágio de desenvolvimento do vegetal, concluíram os autores.

## 5 - MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 - Caracterização do experimento

#### 5.1.1 - Localização geográfica

O experimento foi desenvolvido em área experimental pertencente à EPACE - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará localizada no município de Guaramiranga, Estado do Ceará, cujas coordenadas geográficas são:

Latitude: 4°17' S

Longitude: 39°00' W

Altitude: 872 metros

#### 5.1.2 - Caracterização climática

Segundo dados da Estação Agrometeorológica da EPACE, o clima apresenta-se com:

Precipitação média anual: 1.691mm

Temperatura média anual: 20,6°C

Umidade Relativa média anual: 88%

### 5.1.3 - Características do solo

O solo enquadra-se no grande grupo Podzólico-Vermelho-Amarelo A moderado, fase floresta subperenifólia. Geologia e litologia: pré-cambriano; granito.

#### 5.1.3.1 - Propriedades morfológicas

A descrição morfológica do perfil de solo é apresentada a seguir:

A<sub>11</sub> - 0 - 10cm; areia-franca; moderada pequena e mé-dia granular e fraca pequena e blocos subangulares; transição clara e plana.

A<sub>12</sub> - 10 - 32cm; areia-franca com cascalho; fraca pequ-ena e média granular e blocos subangulares; transição clara e plana.

A<sub>2</sub> - 32 - 58cm; areia-franca com cascalho; massiva; transição abrupta e descontínua.

B<sub>2t</sub> - 58 - 78cm; areia-franca; moderada média e gran-de prismática; transição clara e plana.

C - 78 - 90cm<sup>+</sup>; material semi-intemperizado do granito.

#### 5.1.3.2 - Características físicas e químicas

Os resultados das análises mecânica e química realizadas pelo Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará estão demonstrados nas TABELAS 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1 - Características físicas do solo

Camadas (cm)	Análise mecânica (%)				Densidade aparente g/cm <sup>3</sup>	Classificação textural
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila		
0-25	47,2	30,8	12,2	9,8	1,61	Franco-Arenoso
25-50	47,0	31,9	11,5	9,6	1,64	Franco-Arenoso
50-80	43,1	27,4	10,6	18,9	1,69	Franco-Arenoso

TABELA 2 - Características químicas do solo

Camadas (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	% C orgânico	Complexo Sortivo (mE/100g de solo)						
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>
0-25	5,30	0,918	2,70	1,80	0,06	0,49	5,05	3,30	0,24
25-50	5,70	0,234	1,90	1,80	0,05	0,14	3,89	1,32	0,26
50-80	6,00	0,246	3,90	2,10	0,15	0,05	6,20	1,65	0,23

#### 5.1.4 - Cultura

Foi utilizada a cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) variedade Meio Comprida de Nantes, ciclo médio de 100 dias, com 95% do seu sistema radicular situado até a profundidade de 18cm.

O preparo da área constou de desmatamento, limpeza, aração e gradagem. Foi aplicado o nematicida Furadan-50 PM na dose de 5g/m<sup>2</sup>, visando o controle de nematoides comuns na área experimental.

A semeadura foi realizada manualmente em 31 de agosto de 1981. As plantas foram espaçadas de 20cm entre linhas e após o 2º e último desbaste, foram espaçadas de 5cm entre plantas. A adubação constou de 50 toneladas de esterco de curral curtido/ha, 160kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (superfosfato triplo) e 40kg de K<sub>2</sub>O/ha (cloreto de potássio). Foi realizada uma suplementação de nitrogênio em cobertura com 65kg de N/ha, parceladamente aos 15 e 50 dias após a semeadura.

A germinação ocorreu em 12 de setembro de 1981. Foram realizados dois desbastes aos 30 e 50 dias após a semeadura, bem como quatro capinas durante o decorrer do ciclo da cultura.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram efetuadas quatro aplicações de Manzate D-80 + Dithane M-45 preventivamente, sob a forma de pulverização, nas doses respectivas de 20g + 20g por 20 litros de água, para combate às doenças de folhagem que porventura ocorressem.

A colheita foi efetuada manualmente em 8 de dezembro de 1981.

## 5.2 - Princípios do método do balanço hídrico

O balanço hídrico num elemento de volume de solo de profundidade  $Z$ , de 0 a  $L$ , durante um intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$  é descrito mediante uma equação regida pela lei da conservação das massas. Esta equação mostra que a soma algébrica dos fluxos durante um intervalo de tempo  $\Delta t$  é igual à variação da quantidade de água armazenada no mesmo intervalo em um elemento de volume considerado, podendo ser escrita como:

$$\int_{t_1}^{t_2} (p + i - e \pm q_L - r) dt = \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} dt dz \dots \quad (1)$$

onde:  $p$  = fluxo de precipitação;  $i$  = fluxo de irrigação;  $e$  = fluxo de evapotranspiração;  $q_L$  = fluxo da água no solo em  $Z=L$  e  $r$  = deflúvio superficial.  $\theta$  representa a umidade volumétrica do solo ( $\text{cm}^3$  de água  $\cdot \text{cm}^{-3}$  de solo) enquanto que  $\partial \theta / \partial t$  representa as variações do conteúdo volumétrico de água do solo no intervalo de tempo  $(t_2 - t_1)$ . As dimensões dos componentes da equação (1) são  $\text{LT}^{-1}$ .

O primeiro membro pode ser desdobrado em uma soma algébrica de integrais, transformando-se a equação (1) em:

$$\int_{t_1}^{t_2} p dt + \int_{t_1}^{t_2} i dt - \int_{t_1}^{t_2} e dt \pm \int_{t_1}^{t_2} q_L dt - \int_{t_1}^{t_2} r dt = \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} dt dz \dots \quad (2)$$

A equação (2), quando analisada separadamente, mostra no primeiro membro:

$$\int_{t_1}^{t_2} p dt = P \quad \dots\dots\dots (3)$$

que representa a quantidade de água por unidade de área que chega à superfície do volume de controle de solo em ( $Z = 0$ ) sob a forma de precipitação pluvial ( $P$ ). O segundo termo caracteriza a quantidade de água por unidade de área que chega à superfície do solo ( $Z = 0$ ) sob a forma de irrigação ( $I$ ), conforme é indicado:

$$\int_{t_1}^{t_2} i dt = I \quad \dots\dots\dots (4)$$

O terceiro termo representa a quantidade de água por unidade de área que sai do volume de controle em ( $Z = 0$ ), em consequência da evaporação do solo somada à transpiração vegetal, sendo denominado de evapotranspiração ( $ET_r$ ), isto é:

$$- \int_{t_1}^{t_2} e dt = - ET_r \quad \dots\dots\dots (5)$$

O quarto termo diz respeito à quantidade de água ( $Q_L$ ) por unidade de área que passa pelo limite inferior ( $Z = L$ ) do volume de controle de solo, denominando-se drenagem profunda se negativo ou ascensão capilar se positivo, ou seja:

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} q_L dt = \pm Q_L \quad \dots\dots\dots (6)$$

A estimativa deste termo pode ser obtida através da equação de Darcy escrita abaixo:

$$q_L = -K_L(\theta) \left(\frac{\partial \Psi}{\partial z}\right)_L \dots\dots\dots (7)$$

onde:  $K_L(\theta)$  = condutividade hidráulica do solo ( $LT^{-1}$ ) na profundidade  $L$ , que é função da umidade do solo  $\theta$  ( $L^3 \cdot L^{-3}$ );  $(\partial \Psi / \partial z)_L$  = gradiente de potencial total da água do solo na profundidade  $Z = L$ . Considera-se como potencial total da água do solo ( $\Psi$ ) o somatório dos componentes matricial ( $\zeta$ ) e gravitacional ( $z$ ), sendo desprezados os demais.

O sentido de  $q_L$  ascendente ou descendente é dado pelo sinal do gradiente de potencial total em  $Z = L$ , justificando-se portanto, a origem dos sinais (+) e (-) na equação (6).

O último termo do primeiro membro,

$$- \int_{t_1}^{t_2} r dt = -R \dots\dots\dots (8)$$

representa a porção da quantidade de água que chega à superfície do solo em ( $Z = 0$ ) sob a forma de precipitação pluvial que não é infiltrada, escoando superficialmente, daí ser denominado escoamento ou deflúvio superficial ( $R$ ). Este componente depende da capacidade atual do solo em favorecer a infiltração e o armazenamento de água, da intensidade e quantidade de precipitação e da declividade local.

O segundo membro da equação (2),

$$\pm \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right) dt dz = \pm \Delta A \dots\dots\dots (9)$$

determina que o somatório das variações ( $\partial\theta/\partial t$ ) do conteúdo de água do solo ( $\theta$ ) no intervalo de tempo ( $t_2 - t_1$ ) integradas ao longo da profundidade 0 a L é igual à variação da quantidade de água armazenada no solo ( $\Delta A$ ) no mesmo intervalo de tempo. Este componente do balanço hídrico ( $\Delta A$ ) pode ser positivo ou negativo, conforme seja a magnitude dos outros termos da equação (2).

A equação (2) pode ser escrita a partir das equações (3) a (9) sob a seguinte forma:

$$P + I - ET_r \pm Q_L - R = \pm \Delta A \quad \dots\dots\dots (10)$$

que é mais comumente utilizada em estudos de balanço hídrico.

Na FIGURA 1, pode-se observar o esquema do elemento de volume de solo considerado para o balanço hídrico de uma cultura.

### 5.3 - Processo utilizado na determinação dos componentes do balanço hídrico

Foi considerado um volume de solo de profundidade  $L = 22,5\text{cm}$  e uma área experimental de  $65\text{m}^2$ , distribuídos em cinco parcelas, onde foram determinados os diversos componentes do balanço hídrico.

#### 5.3.1 - Variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ , mm)

Este componente foi estimado a partir de perfis consecutivos de umidade do solo  $\theta$  ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ), obtidos indiretamente mediante as leituras de tensiômetros.

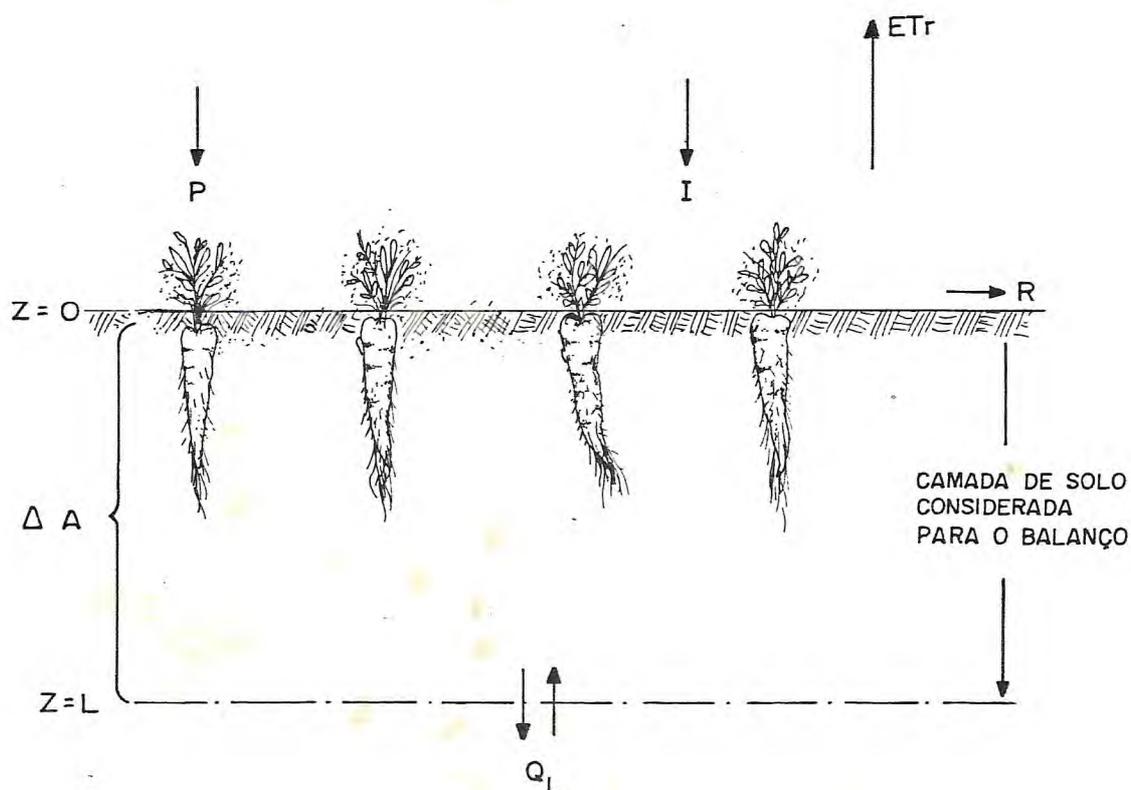


FIGURA 1 - Esquema do elemento de volume de solo para o balanço hídrico.

### 5.3.1.1 - Tensiômetros

Foram instalados dois tensiômetros em cada uma das parcelas experimentais, perfazendo um total de dez, sendo cinco à profundidade de 15cm e cinco à profundidade de 30cm. Estes instrumentos tinham seus manômetros ligados a uma cuba de mercúrio individual a cada um dos tensiômetros, situada a 25cm da superfície do solo. O potencial matricial ( $\zeta$ ) foi calculado mediante o uso da fórmula:

$$\zeta = -12,6 h_z + h_c + z \dots\dots\dots (11)$$

onde:  $h_z$  = leitura (cm de Hg) do tensiômetro instalado na profundidade  $z$ ;  $h_c$  = altura do nível de mercúrio na cuba em relação à superfície do solo, 25cm;  $z$  = profundidade de instalação (cm). A FIGURA 2 mostra um corte longitudinal de um tensiômetro instalado no solo.

### 5.3.1.2 - Curvas de retenção de água

Foi elaborada uma curva de retenção para cada profundidade de instalação dos tensiômetros. As amostras de solo utilizadas para a confecção das curvas (duas amostras para cada profundidade) foram retiradas de uma trincheira próxima da área experimental, com estrutura indeformada. Para isto, foi utilizado um trado especial para retirada de amostras com estrutura indeformada. Estas amostras foram postas em funis de Buechner e submetidas às pressões de 0,03; 0,05; 0,07; 0,10 atmosferas e em câmara de pressão de Richards onde foram submetidas às pressões de 0,20; 0,33; 0,50; 0,70; 1,00; 5,00 e 15,00 atmosferas. A umidade ( $\theta$  ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )), referente a cada potencial matricial, foi calculada através do método gravimétrico, conforme a seguinte

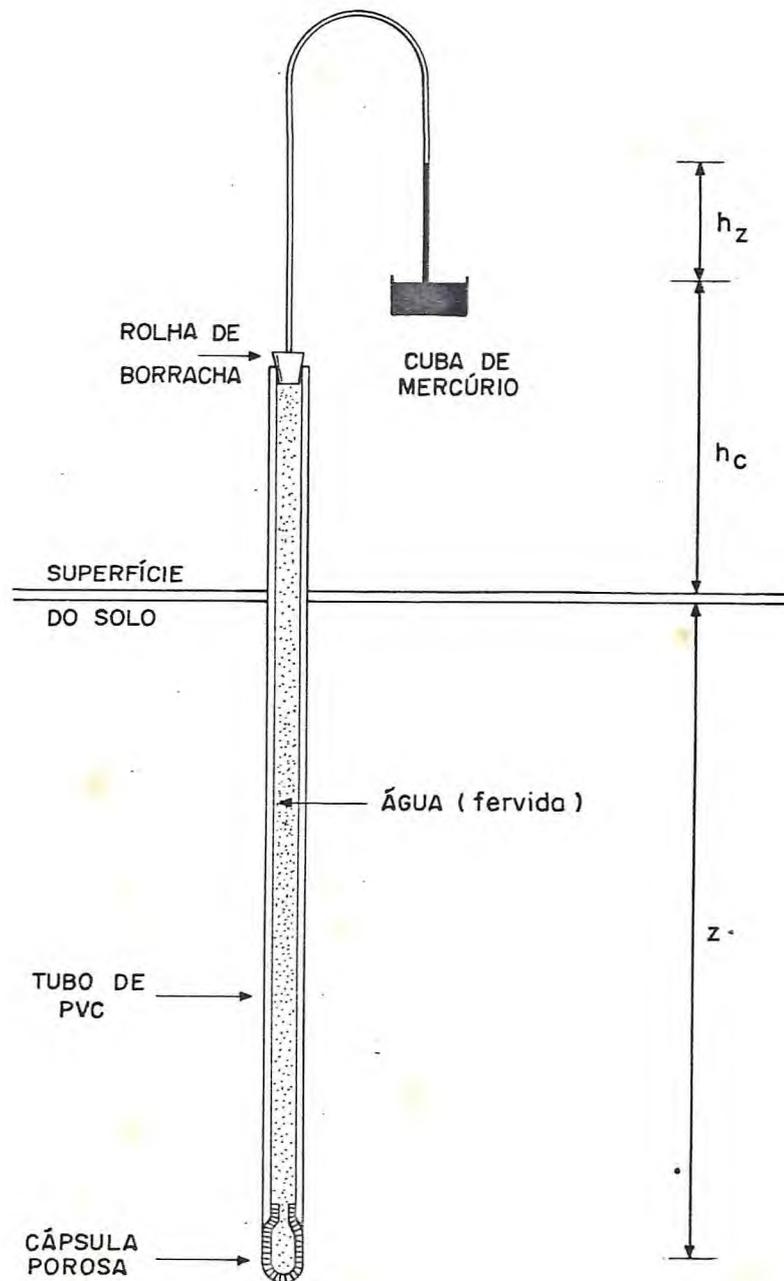


FIGURA 2 - Corte longitudinal de um tensiômetro instalado no solo, onde  $h_z$  = altura da coluna de mercúrio;  $h_c$  = distância do nível de mercúrio na cuba à superfície do solo e  $z$  = profundidade de instalação.

equação:

$$\theta = \left( \frac{m_u - m_s}{m_s} \right) \frac{m_s}{V} = \frac{m_u - m_s}{V} \dots\dots\dots (12)$$

onde:  $\theta$  = umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )

$m_u$  = massa úmida (g)

$m_s$  = massa seca, em estufa a  $105^\circ\text{C}$  após 48 horas (g)

$V$  = volume do anel ( $\text{cm}^3$ )

#### 5.3.1.3 - Umidade do solo $\theta$

Com os valores de potencial matricial ( $\zeta$ ) obtidos através das leituras dos tensiômetros e da curva característica do solo ( $\zeta \times \theta$ ) para cada profundidade, foram obtidos os valores correspondentes a  $\theta$  ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ).

#### 5.3.1.4 - Armazenamento (A, mm)

Para a estimativa do armazenamento foi utilizada a fórmula:

$$A = \int_0^L \theta dz \approx \bar{\theta} \cdot L \dots\dots\dots (13)$$

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

L = profundidade do perfil (cm)

Assim, a variação do armazenamento num intervalo  $\Delta t = t_2 - t_1$  foi obtida pela fórmula:

$$\Delta A = 10 (\bar{\theta}_2 - \bar{\theta}_1) \cdot L \dots\dots\dots (14)$$

onde:  $\Delta A$  = variação do armazenamento (mm)

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

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

$L$  = profundidade do perfil (cm)

### 5.3.2 - Drenagem profunda ( $Q_L$ , mm)

O cálculo deste componente, no limite inferior ( $Z = 22,5\text{cm}$ ) do elemento de volume de solo considerado para o balanço, foi realizado mediante a equação de Darcy (item 5.2, equação 7). Os valores de condutividade hidráulica em  $Z = 22,5\text{cm}$  ( $K_{22,5}$ ) em mm/dia para os vários valores de umidade  $\theta$  nesta profundidade foram obtidos através da expressão

$$K_{22,5} = 10 \exp 27,2 (3,3447 \bar{\theta} - 1) \dots\dots\dots (15)$$

elaborada por ARAGÃO JUNIOR et alii (1981).

A determinação do gradiente de potencial total da água em  $Z = 22,5\text{cm}$ ,  $\left. \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right|_{22,5}$  foi obtida por

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right|_{22,5} \approx \frac{\Delta \Psi}{\Delta z} \Big|_{22,5} = \frac{-12,6(\bar{h}_{15} - \bar{h}_{30})}{15} \dots\dots (16)$$

onde:  $\Delta \Psi$  = diferença de potencial total entre  $z = 15$  e  $z' = 30\text{cm}$

$\Delta z$  = distância entre os tensiômetros (15cm)  
 $\bar{h}_{15}$  e  $\bar{h}_{30}$  = média das leituras dos tensiômetros instalados em  $z = 15$  e  $z = 30$ cm, respectivamente.

Substituindo-se as equações (15) e (16) na equação (7), tem-se a equação para o cálculo do fluxo de drenagem profunda em  $Z = 22,5$ cm, que pode ser escrita como:

$$q_{22,5} = 10 \exp 27,2 (3,3447 \bar{\theta} - 1) \cdot \frac{-12,6 (\bar{h}_{15} - \bar{h}_{30})}{15} \quad (17)$$

Esta equação, ao ser integrada para um certo período de tempo em dias, fornece a drenagem profunda ( $Q_{22,5}$ ) em mm que houve nesse intervalo.

### 5.3.3 - Precipitação pluvial (P, mm)

Este componente não foi considerado por não ter ocorrido precipitação pluviométrica no período em que foi realizado o balanço hídrico.

### 5.3.4 - Irrigação (I, mm)

A irrigação da área experimental foi realizada manualmente, mediante o emprego de regadores, conforme é feita tradicionalmente pelos horticultores da região. Foi controlada com o auxílio dos tensiômetros que ao indicarem o "stress" de 0,2 atm de potencial matricial, era então feita a irrigação. A frequência média de irrigação foi de 3 dias.

### 5.3.5 - Deflúvio superficial (R, mm)

Este componente do balanço hídrico foi negligenciado, devido a intensidade das irrigações não ter alcançado valores elevados que viessem favorecer o escoamento superficial e também por ser a declividade da área experimental praticamente nula.

### 5.4 - Medida direta da evaporação (E, mm . dia<sup>-1</sup>)

A medida deste parâmetro foi realizada em um tanque da evaporação "Classe A", instalado em área gramada, próximo à área experimental.

A leitura do tanque era realizada diariamente às 8:00 horas da manhã.

### 5.5 - Estimativa da evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>, mm)

A evapotranspiração real foi estimada mediante o uso da equação (10), já que os demais componentes do balanço hídrico foram calculados conforme a metodologia descrita nos itens 5.3.1 a 5.3.5.

## 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 - Balanço hídrico

O balanço hídrico foi realizado em 13 períodos de 6 dias de intervalo e 1 período de 2 dias, sendo este último na etapa final do ciclo, em que a cultura encontrava-se próxima do ponto de colheita (ver TABELA 3).

Segundo JENSEN (1967), a precisão do estudo do balanço hídrico é dependente do intervalo de tempo levado em consideração. Fundamentado nas faixas de erro consideradas pelo autor, o erro contido nas determinações da evapotranspiração neste estudo é menor que o limite mínimo por ele mencionado (15%). Espera-se a minimização do erro devido ao fato de o intervalo de tempo considerado para os 13 períodos ter sido maior (6 dias) e para o último período, este com intervalo de 2 dias, portanto menor. LUCHIARI JUNIOR (1978) levanta a hipótese da diminuição do intervalo de tempo considerado no balanço para menos de 7 dias, principalmente nos períodos em que os componentes P, I e R são desprezíveis. Neste estudo, os componentes P e R são nulos. Já I ocorreu freqüentemente, favorecendo a possibilidade de ocorrência de erros. Desta maneira, os erros provenientes da estimativa da evapotranspiração através do balanço hídrico serão originários, primordialmente, dos componentes armazenamento (A), irrigação (I) e drenagem profunda ( $Q_L$ ).

Na TABELA 3 encontram-se todos os valores dos componentes considerados no balanço hídrico, obtidos de acordo com a metodologia descrita em Material e Métodos. Os valores de evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) foram estimados em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A" e % de perdas de água por drenagem profunda também são relaciona-

TABELA 3 - Valores dos componentes do balanço hídrico, evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A" e % de perdas de água por drenagem profunda para os intervalos do balanço.

Período	Dia	A mm	$\Delta A$ mm	I mm	$Q_L$ mm	$ET_r$ mm	$ET_p$ mm	$Q_L$ (%)
1	19/9	45,20	+2,07	30,00	-2,76	25,17	33,57	9,88
2	25/9	47,27	+2,88	30,00	-2,33	24,79	31,79	8,59
3	01/10	50,15	+5,39	30,00	-2,53	22,08	27,26	10,28
4	07/10	55,54	-1,06	30,00	-7,47	23,59	28,09	24,05
5	13/10	54,48	-3,98	30,00	-6,37	27,61	31,38	18,75
6	19/10	50,50	+2,96	30,00	-4,30	22,74	25,02	15,90
7	25/10	53,46	-1,18	30,00	-1,30	29,88	30,00	4,17
8	31/10	52,28	-5,45	30,00	-1,15	34,30	29,88	3,24
9	06/10	46,83	+6,44	30,00	-0,74	22,82	22,15	3,14
10	12/11	53,27	+1,65	30,00	-4,75	23,60	25,49	16,75
11	18/11	54,92	+3,76	30,00	-5,01	21,23	23,86	19,09
12	24/11	58,68	+2,07	30,00	-4,47	23,46	27,93	16,00
13	30/11	60,75	+2,63	30,00	-3,30	24,03	29,63	12,07
14	06/12	63,38	+3,56	15,00	-4,61	6,83	9,23	40,29
	08/12	66,94						

dos para os intervalos do balanço.

O componente irrigação (I) foi o responsável pelos menores erros ocorridos durante os intervalos do balanço, pois houve um bom controle da aplicação da água de irrigação.

O armazenamento (A) foi estimado a partir de perfis consecutivos de umidade do solo  $\theta$  ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) obtidos indiretamente mediante as leituras dos tensiômetros instalados na área e curvas de retenção de água para as profundidades estudadas. As leituras dos tensiômetros foram as médias de cinco locais diferentes que, por sua vez, forneciam dados bastante representativos da área experimental.

A drenagem profunda ( $Q_L$ ), para os intervalos do balanço, foi obtida mediante a integração dos fluxos de água diários, estes calculados pela equação de Darcy. Assim, a obtenção deste componente através do somatório dos valores diários dos fluxos reduz a margem de erros, pois quando se utiliza, para o intervalo, o valor de somente um dia de leitura, pode-se cometer erros.

Na TABELA 3 pode-se observar os percentuais de perdas de água por drenagem profunda. Para o cálculo destes percentuais, foi considerada como 100% a soma de  $Q_L$  mais  $ET_r$ . Pode-se ainda observar, ao analisar a mesma tabela, que a drenagem profunda  $Q_L$  não pode ser desprezada em estudos de balanço hídrico. Neste caso, ela foi responsável por cerca de 14,4% das perdas totais de água, alcançando 40,29% no último período (06 a 08/12) considerado. Se fosse desprezada, ocultaria totalmente os resultados da evapotranspiração deste período. Esta ocorrência confirma a importância da drenagem profunda dada por BLACK et alii (1970) e VACHAUD et alii (1973) em estudos de balanço hídrico.

A variação dos componentes do balanço hídrico e evapotranspiração potencial estimada em função do tanque "Classe A" para os intervalos do balanço, na cultura da cenoura, são mostradas na FIGURA 3. Os valores constantes desta figura foram obtidos na TABELA 3.

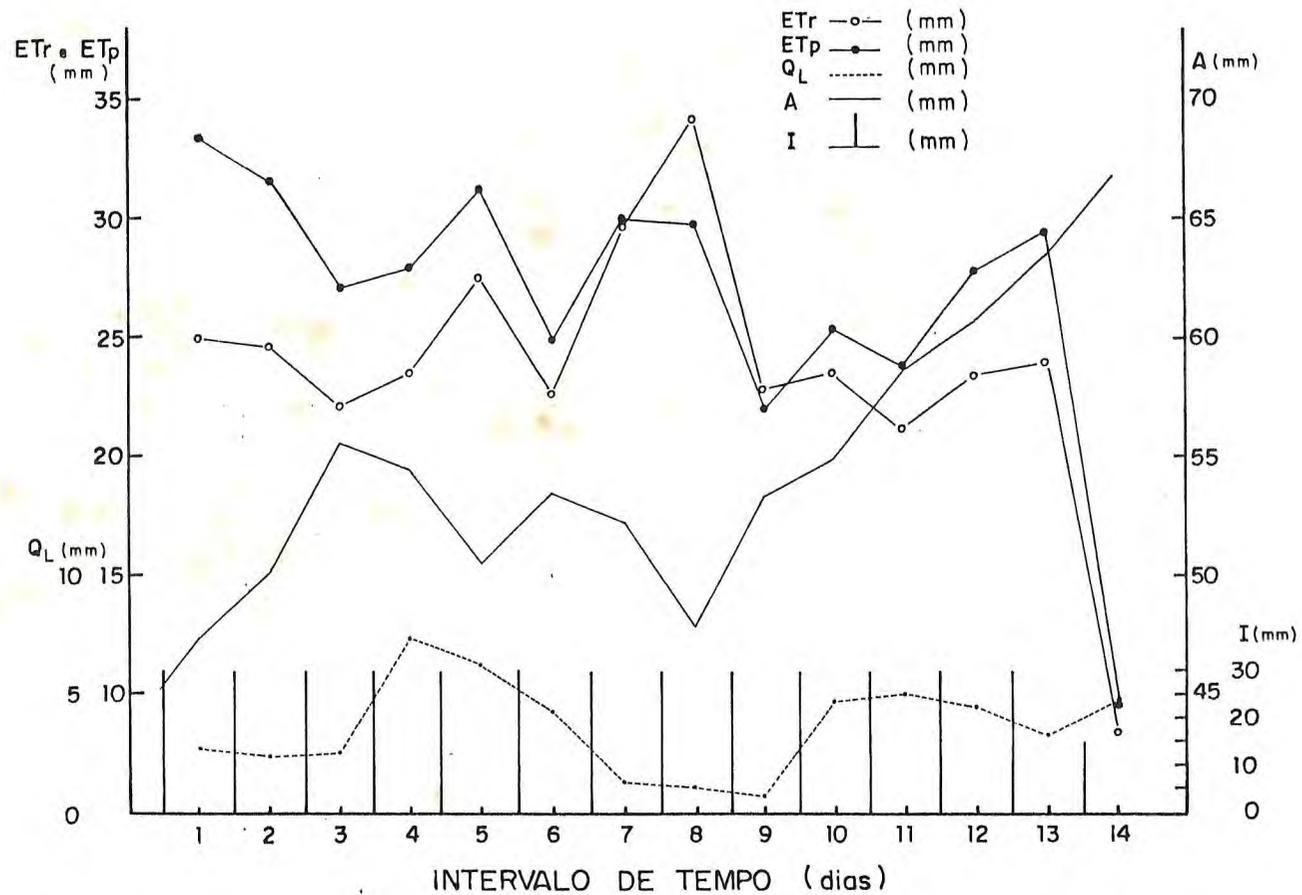


FIGURA 3 - Variação dos componentes do balanço hídrico, evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A" para os intervalos do balanço, na cultura da cenoura.

## 6.2 - Coefficiente de cultura (Kc)

De acordo com DOORENBOS e PRUITT (1977), o coeficiente de cultura Kc pode ser obtido através da seguinte equação:

$$Kc = \frac{ET_r}{ET_p} \dots\dots\dots (18)$$

onde:  $ET_r$  = evapotranspiração real  
 $ET_p$  = evapotranspiração potencial  
 Kc = coeficiente de cultura

Ainda segundo os mesmos autores, a evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) pode ser obtida conforme a equação:

$$ET_p = K_p \cdot ECA \dots\dots\dots (19)$$

onde:  $ET_p$  = evapotranspiração potencial  
 ECA = evaporação do tanque "Classe A"  
 Kp = coeficiente do tanque

Esse coeficiente foi obtido pela metodologia recomendada por DOORENBOS e PRUITT (1977). O tanque foi instalado sobre uma área circundada por grama, estando numa faixa de exposição a correntes de ar de aproximadamente 100 metros, sob condições de ventos moderados (175 a 425 km/dia) e umidade relativa média acima de 70%. Portanto, para essas condições, o coeficiente médio do tanque  $K_p$  foi de 0,80.

Devido à freqüência constante da irrigação, à ausência de precipitações pluviométricas durante o período experimental e à boa precisão do método adotado para a determinação de  $ET_r$ , com intervalos de 6 dias, pôde-se determinar o Kc em cada estágio de desenvolvimento da cultura.

Conforme DOORENBOS e PRUITT (1977), dividiu-se o ciclo da cultura da cenoura (100 dias) em quatro estágios distintos, sendo: inicial, de desenvolvimento, médio e final. O estágio inicial não foi considerado neste estudo, pois o "stand" ainda estava em início de formação, uma vez que o plantio foi realizado em 31/08/81 e a germinação ocorreu em 12/09/81. Como o Kc apresentou variações no decorrer de cada estágio, procurou-se determinar um Kc médio para cada estágio de desenvolvimento, relacionando-se as curvas dos valores acumulados de  $ET_r$  e  $ET_p$ , obtidas por análise de regressão linear com o tempo, pela equação:

$$Kc = \frac{a_1 + b_1 t}{a_2 + b_2 t} \dots\dots\dots (20)$$

onde:  $a_1$  = coeficiente linear da reta  $ET_r \times t$  (acumulados)  
 $b_1$  = coeficiente angular da reta  $ET_r \times t$  (acumulados)  
 $a_2$  = coeficiente linear da reta  $ET_p \times t$  (acumulados)  
 $b_2$  = coeficiente angular da reta  $ET_p \times t$  (acumulados)  
 $t$  = tempo em dias.

Os valores acumulados de  $ET_r$  e  $ET_p$  utilizados na obtenção das retas de regressão linear, para o 2º, 3º e 4º estágios de desenvolvimento, suas respectivas equações de regressão linear, coeficientes de correlação e coeficientes de cultura obtidos a partir da equação (20) são apresentados nas TABELAS 4, 5 e 6. As retas obtidas são apresentadas nas FIGURAS 4, 5 e 6.

Os coeficientes de cultura, Kc médios, obtidos através da equação (20) para o 2º, 3º e 4º estágios de desenvolvimento da cultura da cenoura foram 0,77; 0,99 e 0,86, respectivamente. De acordo com DOORENBOS e PRUITT (1977), os coeficientes de cultura da cenoura, Kc médios, para o 3º e 4º estágios de desenvolvimento são 1,00 e 0,70, respectivamente, em condições de velocidade de ventos de 0 a 5m/s e umidade relativa mínima acima de 70%. Os valores obtidos

TABELA 4 - Valores de  $ET_r$  (mm) e  $ET_p$  (mm) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de Kc obtidos pela equação (20). (2º estágio).

t (dias após início do estágio)	$ET_r$ (mm)	$ET_p$ (mm)	Kc
6	25,17	33,57	0,72
12	49,96	65,36	0,77
18	72,04	92,62	0,79
24	95,63	120,71	0,80
30	123,24	152,09	0,80

$$ET_r = 0,6650 + 4,0302 t$$

$$r = 0,9993$$

$$ET_p = 5,1530 + 4,8732 t$$

$$r = 0,9996$$

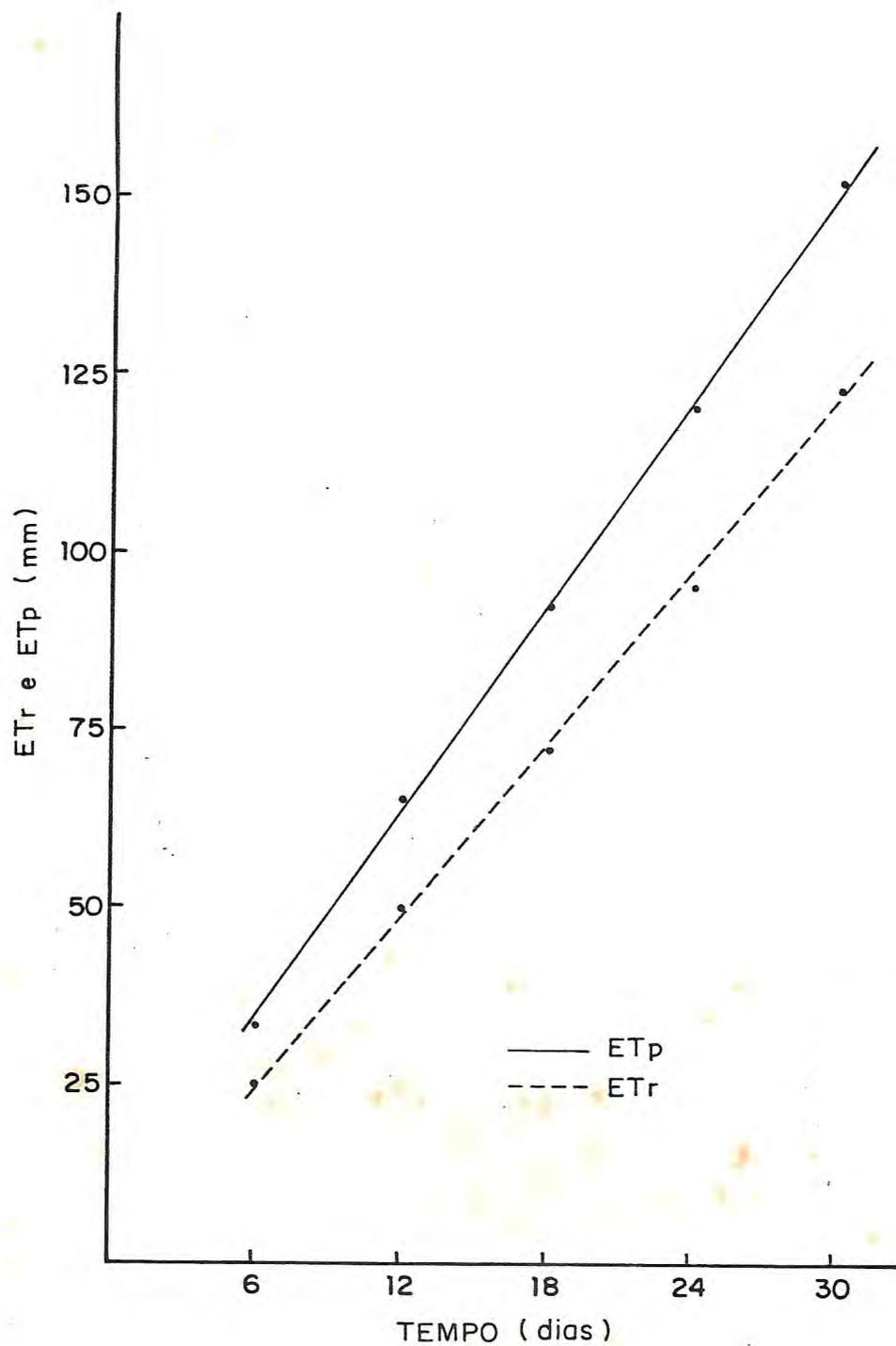


FIGURA 4 - Curvas de regressão linear da evapotranspiração real acumulada da cenoura  $ET_r$  (mm) e da evapotranspiração potencial acumulada ( $ET_p$  (mm)). (2º estágio).

TABELA 5 - Valores de  $ET_r$  (mm) e  $ET_p$  (mm) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de Kc obtidos pela equação (20). (3º estágio).

t (Dias após início do estágio)	$ET_r$ (mm)	$ET_p$ (mm)	Kc
6	22,74	25,02	0,92
12	52,62	55,02	0,98
18	86,92	84,90	1,00
24	109,74	107,05	1,01
30	132,34	132,54	1,02

$$ET_r = 4,6387 t - 2,4240$$

$$r = 0,9965$$

$$ET_p = 0,7850 + 4,4512 t$$

$$r = 0,9982$$

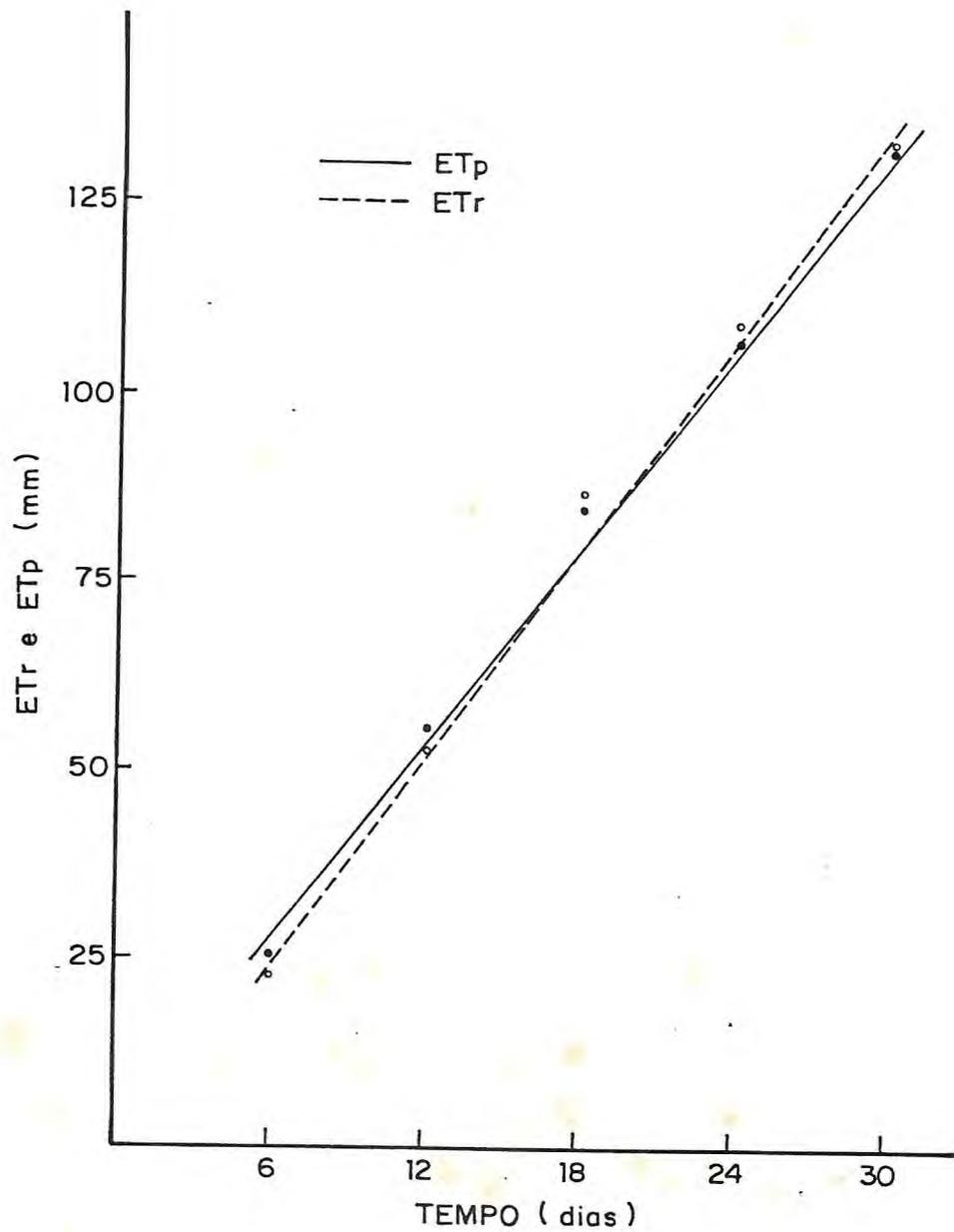


FIGURA 5 - Curvas de regressão linear da evapotranspiração real acumulada da cenoura  $ET_r$  (mm) e da evapotranspiração potencial acumulada  $ET_p$  (mm). (3º estágio).

TABELA 6 - Valores de  $ET_r$  (mm) e  $ET_p$  (mm) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de Kc obtidos pela equação (20). (4º estágio).

t (dias após início do estágio)	$ET_r$ (mm)	$ET_p$ (mm)	Kc
6	21,23	23,86	0,90
12	44,69	51,79	0,85
18	68,72	81,42	0,84
20	75,55	90,65	0,84

$$ET_r = 3,9080 t - 2,1645$$

$$r = 0,9999$$

$$ET_p = 4,7927 t - 5,1673$$

$$r = 0,9999$$

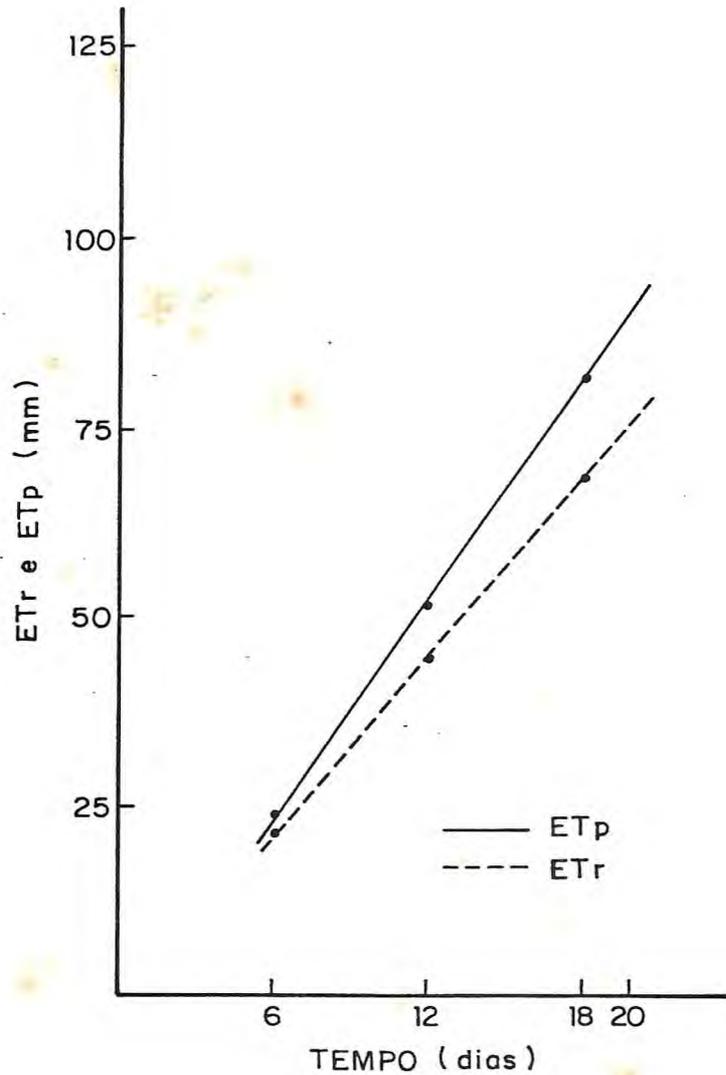


FIGURA 6 - Curvas de regressão linear da evapotranspiração real acumulada da cenoura  $ET_r$  (mm) e da evapotranspiração potencial acumulada  $ET_p$  (mm). (4º estágio).

nesse estudo, realizado em condições moderadas de velocidade de ventos de 2 a 5 m/s e umidade relativa média anual de 88%, estão bastante próximos aos apresentados por aqueles autores, porém o 4º estágio apresenta um valor um pouco mais elevado, certamente devido à boa condição de umidade proporcionada à cultura pela pequena frequência de irrigação utilizada (3 dias).

Comparando-se ainda os valores obtidos para o 3º e 4º estágios de desenvolvimento da cultura, isto é, valores de  $K_c$  médios com cobertura total, com o valor médio de  $K_c$  com cobertura total de 1,15 para hortaliças apresentado por HARGREAVES (1976) para ser usado no cálculo da capacidade de um sistema de irrigação, verifica-se que os valores ora obtidos estão dentro da amplitude de variação esperada.

Conforme foi mencionado, o estágio inicial não foi considerado no estudo, devido ao "stand" estar em início de formação, pelas razões já apresentadas. Assim, determinou-se também um coeficiente de cultura médio entre os períodos 1 a 14 do balanço hídrico, ou seja, entre os valores médios obtidos para o 2º, 3º e 4º estágios de desenvolvimento da cultura, que pode ser considerado como um  $K_c$  médio para todo o ciclo da cultura da cenoura.

O valor de  $K_c$  médio assim obtido foi de 0,87. Portanto, este valor é muito próximo ao coeficiente de cultura médio para todo o ciclo recomendado por HARGREAVES (1976) para ser usado na programação de irrigação em hortaliças: 0,85.

Finalmente, a partir dos valores acumulados de evapotranspiração real ( $ET_r$ ) e do tempo obtidos na TABELA 3, foi obtida, por análise de regressão linear, a equação que descreve a evapotranspiração real acumulada da cultura da cenoura entre os períodos 1 a 14 do balanço hídrico. A equação obtida foi a seguinte:

$$ET_r = 4,2291 t - 1,6659 \quad r = 0,9992 \quad \dots \quad (21)$$

A equação (21), que apresenta um alto coeficiente de correlação, pode ser utilizada na estimativa de  $ET_r$  quando são considerados períodos iguais ou superiores a 6 dias e condições experimentais aproximadas às do presente trabalho.

## 7 - CONCLUSÕES

Os dados obtidos neste trabalho e discutidos no capítulo anterior permitiram concluir que:

- a) quando se aplica a lei da conservação das massas em estudos de balanço hídrico num elemento de volume de controle de solo, em condições de campo, deve-se levar em consideração todos os componentes integrantes do processo, para que assim, não se cometam erros no cálculo da evapotranspiração;
- b) a equação  $ET_r = 4,2291t - 1,6659$  descreve a evapotranspiração real acumulada da cultura da cenoura, podendo ser usada na estimativa deste componente quando se considera períodos iguais ou maiores que 6 dias e condições experimentais semelhantes às deste estudo;
- c) o fluxo de evapotranspiração real médio da cultura da cenoura para os períodos estudados foi de  $4,11\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ ;
- d) os coeficientes de cultura ( $K_c$ ) médios entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A" foram 0,77; 0,99 e 0,86 para o 2º; 3º e 4º estágios de desenvolvimento vegetativo, respectivamente;
- e) o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) médio obtido para todos os períodos estudados (1 a 14) foi 0,87, podendo ser empregado para a estimativa da evapotranspiração real da cultura da cenoura, a partir da evaporação corrigida do tanque "Classe A",

para períodos iguais ou maiores de 6 dias de intervalo;

- f) É importante este tipo de estudo e, portanto, deve ser continuado em todas as culturas de expressão econômica para o Estado.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO JUNIOR, T.C.; MAGALHÃES, C.A. de & CASTRO, P.T. de. Determinação da condutividade hidráulica em em podzólico-vermelho-amarelo em condições de campo. Fortaleza, 1981, s. ed., 6p. (Mimeografado).
- ASSIS, F.N. de. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre a evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, ESALQ/USP, 1978. 73p. (Dissertação de Mestrado).
- BARRADA, Y. Water balance studies. In: WATER USE SEMINAR. Roma, FAO, 1971. p. 90-6 (Irrigation and Drainage Paper, 13).
- BARROS FERRAZ, E.S. Determinação da evapotranspiração real pela moderação de neutrons. Piracicaba, ESALQ/USP, 1968. 48p. (Tese de Doutorado).
- BLACK, T.A.; GARDNER, W.R. & TANNER, C.B. Water storage and drainage under a row crop on a sand soil. Agronomy Journal, 62: 48-51, 1970.
- BRUNINI, O; ALFONSI, R.M.; SANTOS, J.M.; ORTOLANI, A.A.; PEDRO JUNIOR, M.J. & ANGELOCI, L.R. Necessidades em água por cultura de arroz em condições de sequeiro. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, 1975. Anais. v. 3., p. 139-44.
- CASTRO, P.T. de. Evapotranspiração atual e potencial de uma cultura de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, ESALQ/USP, 1979. 61p. (Dissertação de Mestrado).
- CRUCIANI, D.E. Balanço hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar - Utilização de método da moderação de neutrons. Piracicaba, CENA, 1972. 35p. (Boletim Científico, 6).

- CRUCIANI, D.E. Perdas de água por drenagem profunda em cultura de milho irrigado (*Zea mays* L.). O Solo, 72: 10-18, 1980.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirements. Revised, Roma, FAO, 1977, 144p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DOWNEY, L.A. Water-yield relation for nonforage crops. J. of the Irrig. and Drainage, 98: 107-115, 1972.
- HARGREAVES, G.H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. Trans. of the ASAE, 17: 701-705, 1974a.
- \_\_\_\_\_. Potential evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil. Utah State University/USAID, 1974b. 55p.
- \_\_\_\_\_. Manual de requerimento de água para culturas irrigadas e agricultura seca. Utah State University/USAID, 1976. 41p.
- HILLEL, D. Soil and Water, Physical principles and processes. New York, Academic Press, 1971. 288p.
- HOLMES, J.W.; TAYLOR, S.A. & RICHARDS, S.J. Measurement of soil water. Agronomy Journal, 11: 275-280, 1967.
- JENSEN, M.E. Evaluating irrigation efficiency. J. of the Irrig. and Drain., 95: 83-98, 1967.
- JENSEN, M.E.; ROBB, D.C. & FRAZOY, E. Scheduling irrigation using climate-crop-soil data. J. of the Irrig. and Drain., 96: 25-38, 1970.
- LA RUE, M.E.; NIELSEN, D.R. & HAGAN, R.M. Soil water flux below a ryegrass root zone. Agronomy Journal, 60: 625-629, 1968.
- LEMON, E.R. The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 20: 120-125, 1956.
- LUCHIARI JUNIOR, A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelo método do balanço hídrico. Piracicaba, ESALQ/USP, 1978. 59p. (Dis-

sertação de Mestrado).

- NIELSEN, D.R.; DAVIDSON, J.M.; BIGGAR, J.W. & MILLER, R.J. Water movement through Panoche clay loam soil. Hilgardia, 35: 491-505, 1964.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. (Séries A), 193: 120-145, 1948.
- PEREIRA, A.R.; FERRAZ, E.S.B., REICHARDT, K. & LIBARDI, P.L. Estimativa da evapotranspiração consuntiva e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos podzolizados Lins-Marília. Piracicaba, CENA, 1974. 13p. (Boletim científico, 5).
- PRUITT, W.O.; LOURENCE, F.J. & OETTINGEN, S. von. Water use by crops as affected by climate and plant factors. California Agriculture, 26(10): 10-14, 1972.
- REICHARDT, K. Evaporação da água do solo. Piracicaba, CENA, 1972. 31p. (Boletim Científico, 4).
- REICHARDT, K. & LIBARDI, P.L. An analysis of soil water movement in the field: I - Hydrological field site characterization. Piracicaba, CENA, 1974. (Boletim Científico, 021).
- REICHARDT, K. Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. Piracicaba, FUNDAÇÃO CARGILL, 1975. 286p.
- RITCHIE, J.T. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. Agronomy Journal, 65: 893-897, 1973.
- ROSE, C.W. Agricultural Physics. Oxford, Pergamon Press, 1966. 230p.
- ROSE, C.W. & STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. Aust. J. Soil Research, 15: 11-19, 1966.
- SLATYER, R.O. Plant-water relationships. New York, Academic Press; 1967. 366p.
- SOUSA, J.A.G.C. Estudo do consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.) Piracicaba, ESALQ/USP, 1976. 82p. (Dissertação de Mestrado).

- TANNER, C.B. Evaporation of water from plants and soil. In: KOŁOWSKI, T.T., Ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. p. 74-106.
- VACHAUD, G.; TEHEL, J. ROYER, J.M. & BOCALATO, R. Controle automatique "in situ" des transferte d'eau das la zone non satureé. In: I.A.E.A. Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies. Vienna, 1973. p. 1-5.
- VIETS, JUNIOR, F.G. Efficiency of water use on semi-arid land. In: I.A.E.A. Efficiency of water and fertilizer use in semi-arid regions. Vienna, 1976. p. 123-133.
- VILLA NOVA, N.A. Estúdos sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, ESALQ/USP, 1973. 78p. (Tese de Livre-Docência).
- WILCOX, J.C. Rate of soil drainage following an irrigation. II. Effects on determination of rate of consumptive use. Can. J. Soil Sci., 40: 15-27, 1960.
- WINTER, E.J. A água, o solo e a planta. São Paulo, EPU, Ed. da Universidade de São Paulo, 1976. 169p.