

**AGRÁRIA**

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

v.4, n.3, p.304-310, jul.-set., 2009

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 199 - 20/08/2007 • Aprovado em 25/05/2009

Francisco X. Santos<sup>1</sup>Abelardo A. A. Montenegro<sup>1</sup>José R. Silva<sup>1</sup>Edivan R. Souza<sup>1</sup>

# Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano

## RESUMO

A avaliação da necessidade hídrica e do coeficiente de cultura é de grande relevância para um adequado manejo da irrigação. No entanto, há carência de informações sob as condições edafoclimáticas do semi-árido nordestino, em particular para a cultura da cenoura. Objetivou-se avaliar o consumo hídrico da cenoura e estimar o seu coeficiente de cultura ( $K_c$ ), em área aluvial onde se desenvolve agricultura familiar irrigada, na região de Pesqueira, situado no Semi-Árido de Pernambuco. Foram utilizados três lisímetros de drenagem, sendo a contabilização da evapotranspiração de cultura (ETc) realizada por balanço de massa em escala de quinquêndios e a evapotranspiração de referência (ETo) estimada a partir de Tanque Classe A. A ETo acumulada para o período foi de 615 mm, enquanto que a ETc foi de 812 mm. As faixas de  $K_c$  obtidas, considerando valores de coeficiente de Tanque ( $K_p$ ) de 0,81 e 0,75 para as diferentes fases fenológicas da cultura, foram: 1,08-1,16; 1,41-1,52; 1,43-1,55 e 1,40-1,52, respectivamente, para as fases inicial (20 dias após o plantio - DAP), crescimento (50 DAP), intermediária (80 DAP) e final (98 DAP), sendo o  $K_c$  médio para o período de cultivo de 1,35-1,46. Tais valores são superiores aos apresentados pela FAO e atestam a necessidade da avaliação do coeficiente de cultura em condições locais.

**Palavras-chave:** coeficiente de cultura, evapotranspiração, Tanque Classe A

## Carrot water requirement determination using drainage lysimeters, in the Pernambuco State "Agreste"

## ABSTRACT

Water requirement evaluation and crop coefficient estimates is very important for an adequate irrigation management. However, there is a lack of information about the northeast edafoclimatic semi arid conditions, particularly for the carrot crop. The objective of this work was to evaluate the carrot evapotranspiration and crop coefficient ( $K_c$ ) in fishing (Pesqueira) region, in an alluvial area of semi arid of Pernambuco State, Brazil, where communal irrigated agriculture is developed. Three drainage lysimeters were used, being the crop evapotranspiration (ETc) assessed by mass balance during a 5-day period and the reference evapotranspiration (ETo) was estimated by Class A Pan methodology. The cumulative ETo during the experimental period was 615 mm, while the ETc was 812 mm. The coefficients range obtained, considering  $K_p$  values of 0.81 and 0.75 to the different growth stages, were: 1.08-1.16; 1.41-1.52; 1.43-1.55 and 1.40-1.52, respectively, at the initial (20 days after plantation - DAP), development (50 DAP), middle (80 DAP) and final (98 DAP) phases, being the average  $K_c$  of 1.35 and 1.46 for the whole period. These values are higher than the ones presented by FAO and highlight the necessity of investigation of crop coefficient under local conditions.

**Key words:** crop coefficient, evapotranspiration, Class A Pan

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife-PE. Fone. (81) 3320-6273. Fax (81) 3320-6263. E-mail: franciscoxaviersantos@hotmail.com; montenegro@hotlink.com.br; rlopes.s@gmail.com; edivanrs@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

O Semi-Árido do Estado de Pernambuco é caracterizado por uma estação seca de longa duração, tornando essencial o cultivo irrigado. Na zona de transição Agreste-Sertão, algumas áreas são exploradas com agricultura familiar irrigada. Dentro deste panorama se inserem as áreas aluvionares, com potencial hídrico subterrâneo para o suprimento da irrigação no período seco. O vale aluvial da Bacia do Rio Ipanema, cujo aquífero tem cerca de 3 km de extensão e 300 m de largura, entre outros, se enquadra nesse cenário, em que a vocação agrícola, notadamente a pequena agricultura irrigada, é geradora de renda e promove o desenvolvimento social (Santiago et al., 2004).

Dentre as olerícolas locais exploradas, a cenoura se destaca, principalmente por ocupar as maiores extensões de área plantada (Montenegro & Montenegro, 2006), sendo o município um dos principais fornecedores do Estado de Pernambuco (Ceasa-PE, 2008). Entretanto, a irrigação é muitas vezes realizada sem o devido conhecimento das reais necessidades hídricas e dos parâmetros necessários ao manejo de irrigação desta cultura.

O Brasil é o maior produtor Sul-Americano de cenoura, detendo mais de 40% da produção, e em escala mundial é responsável por 3,5% da produção (FAO, 2006). No período de 1990-2002, a área brasileira cultivada com cenoura aumentou 101% e a produção em 160%, o que mostra crescente incorporação tecnológica na cadeia produtiva (Camargo Filho et al., 2005). Em Pernambuco, a safra de 2006 foi de 7263 toneladas, cerca de 13% maior em relação ao ano anterior (Condepe-Fidem, 2006).

O sucesso da utilização da água para fins de irrigação depende, entre outros requisitos, do conhecimento preciso da demanda hídrica da cultura. Desse modo, torna-se necessário o uso de coeficientes adequados, especificamente de coeficientes de cultura (Kc), determinados em função da evapotranspiração da cultura e da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), cujas estimativas permitem avaliar quantidades de água a serem dotadas aos cultivos. Todavia, é notória a escassez de dados de pesquisa referentes a esses coeficientes, sobretudo no semi-árido, constituindo um fator agravante no tocante à dotação racional de água aos cultivos, que associado aos déficits hídricos anuais, contribui para a redução dos aportes de água, notadamente a subterrânea, a qual é utilizada para prática da pequena agricultura familiar irrigada.

Um dos métodos para se determinar a ET<sub>c</sub> é baseado na utilização de lisímetros. Este método permite a contabilização dos termos do balanço hídrico de forma precisa, possibilitando uma estimativa confiável da real necessidade das culturas. Diversos trabalhos relatam a aplicação de dispositivos lisimétricos no estudo da demanda hídrica e dos Kc's das culturas, a exemplo de Assis & Verona (1991), Azevedo et al. (1996), Medeiros & Arruda (1999) e Miranda et al. (2004), que utilizaram lisímetros na estimativa do Kc do milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e melancia (*Citrullus vulgaris* Schrad.), respectivamente. Poucos estudos sobre estimativa de necessidade hídrica em cenoura são relatados na literatura, particularmente sob con-

dições de semi-árido nordestino. Aragão Júnior & Castro (1983), nas condições edafoclimáticas de Guaramiranga – CE, e Moura et al. (1994), em Piracicaba – SP, utilizaram o método do balanço hídrico no solo, enquanto que Giacoia Neto (1996) e Lunardi & Laperuta Filho (1999), aplicaram lisímetros de lençol freático de nível constante, em estudos conduzidos em Viçosa – MG e Botucatu – SP, respectivamente. A prerrogativa do uso de lisímetros de drenagem em confronto ao balanço hídrico no campo está relacionada a uma avaliação mais precisa do termo de fluxo de drenagem, que pode ser medido diretamente, ao isolamento de fluxos subterrâneos laterais interferentes, dada à presença das paredes, e ao baixo custo de implantação do equipamento.

Associada a determinação do consumo hídrico da cultura para a obtenção do Kc, deve-se avaliar também a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). A literatura dispõe de várias alternativas para estimativa deste parâmetro, que passa desde os modelos de estimativa climáticos empíricos e fisicamente embasados, pela lisimetria, até os tanques evaporimétricos. Dentre estes, o Tanque Classe A se destaca pela difusão em escala mundial, pela simplicidade de operação, e pelos bons resultados obtidos em trabalhos experimentais, sendo este último condicionado à correta adoção do coeficiente de Tanque (K<sub>p</sub>) (Irmak et al., 2002; Sentelhas & Folegatti, 2003; Sellés & Ferreyra, 2005; Maldonado et al., 2006; Santos et al., 2008).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o consumo hídrico e os coeficientes de cultura da cenoura, nas diversas fases de desenvolvimento, e, nas condições edafoclimáticas da região do semi-árido, utilizando-se lisímetros de drenagem e tanque evaporimétrico (Tanque Classe A).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em área experimental da Fazenda Nossa Senhora do Rosário, localizada no município de Pesqueira-PE, nas coordenadas geográficas 8°10'25" de latitude Sul, 35°11'25" de longitude Oeste e altitude de 615 m, durante os meses de outubro/2005 a janeiro/2006. O solo local foi classificado como Neossolo Flúvico, com textura predominantemente siltosa (Bastos, 2004).

Foram utilizados três lisímetros de drenagem com capacidade volumétrica de 1,0 m<sup>3</sup> e área superficial de 1,52 m<sup>2</sup>, construídos a partir de caixas de água em fibra de vidro, em formato cônico, e com as seguintes medidas: diâmetros superior e inferior de 1,39 m e 1,10 m, respectivamente, e profundidade de 0,80 m. Estão apresentados na Figura 1 detalhes da instalação dos lisímetros de drenagem.

Para a montagem dos equipamentos, foram escavadas trincheiras na área experimental, sendo a retirada do solo efetuada em quatro camadas individuais de aproximadamente 20 cm de espessura cada uma. Preencheram-se as caixas obedecendo a ordem inversa de retirada das camadas, com leves compactações e umedecimentos, de modo a reproduzir as condições físicas de campo, em particular de densidade do solo. Entretanto, para a última camada, reservaram-se os 10 cm inferiores para a adição de uma camada de brita com a



**Figura 1.** Detalhe da camada de cascalho e da tubulação de drenagem (A); preenchimento e reconstituição das camadas de solo (B); solo preparado para o plantio no interior do lisímetro (C); saturação e disposição dos lisímetros na área de plantio (D)

**Figure 1.** Detail of gravel layer and drainage tubing (A); reproduction of soil layers (B); soil ready for cropping inside the lysimeter (C); saturation and layout of lysimeters at the plantation area (D)

função de captar a água de drenagem. Nesta mesma camada, instalou-se um sistema de drenagem livre com uma malha de tubos de PVC de 25 mm de diâmetro, perfurados e revestidos com Bidim®. Os volumes drenados pelos lisímetros eram canalizados a um abrigo e medidos em recipientes graduados. Na Tabela 1 estão apresentadas características físicas e químicas do solo da área experimental e do solo reconstituído nos três lisímetros.

**Tabela 1.** Características físicas e químicas do solo na experimental da Fazenda Nossa Senhora do Rosário

**Table 1.** Physical and chemical characteristics of soil at the experimental area of Nossa Senhora do Rosário Farm

Física	Área	Lisímetro	Química (solúveis)	Área
Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	1,61	1,39	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,55
Densidade de partículas (g cm <sup>-3</sup> )	2,51	2,54	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,51
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	519,5	534,2	Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	1,90
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	275,2	274,2	K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,11
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	205,3	191,6	CE (dS m <sup>-1</sup> )	3,51
			RAS (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	8,41

Foi utilizada a cultura da cenoura, variedade Brasília, por ser a mais difundida na região. A semeadura foi realizada manualmente, com espaçamento de 20 cm entre linhas, em área de 1800 m<sup>2</sup>, sendo implementados 3 lisímetros de drenagem. Vinte dias após o plantio (DAP) foi realizado o desbaste, de modo a espaçar as plantas 5 cm entre si. A adubação (N-P-K) foi realizada conforme análise de solo, em dois eventos, sendo uma em fundação e outra em cobertura, 30 dias após o plantio, nas quantidades apresentadas na Tabela 2.

O controle de ervas daninhas no lisímetro foi realizado manualmente, enquanto que na área de bordadura procedeu-se ao controle mecânico por capina.

Para o período experimental foram obtidos os elementos meteorológicos precipitação, temperatura, radiação solar,

**Tabela 2.** Fontes e quantidades de fertilizantes aplicados no plantio da cenoura em fundação e em cobertura, conforme análise de solo

**Table 2.** Fertilizers sources and quantities applied for the carrot crop in foundation and coverage, according soil analyze

Fonte	N - Uréia (kg ha <sup>-1</sup> )	K KCl (kg ha <sup>-1</sup> )	P- MAP (kg ha <sup>-1</sup> )
Fundação	88,9	103,5	125,0
Cobertura	88,9	51,7	0,0

umidade do ar e velocidade do vento a partir de uma estação meteorológica automática (Tabela 3).

**Tabela 3.** Médias mensais de elementos meteorológicos para o período de experimento, a partir de estação agrometeorológica automática

**Table 3.** Monthly average values of meteorological elements during the experimental period, obtained from automatic agrometeorological station

Elemento meteorológico	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Precipitação mensal (mm)	0,00	9,00	113,00	3,50
Temperatura média (°C)	23,86	25,10	24,01	24,78
Radiação solar média (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	26,74	24,61	21,47	26,80
Umidade Relativa média do ar (%)	65,30	62,26	71,03	65,49
Velocidade do vento (m s <sup>-1</sup> )	1,85	2,05	2,12	1,70

Estimou-se a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) nos lisímetros utilizando-se o balanço hídrico aplicado a um volume de controle de solo de profundidade Z, de 0 a L, durante um intervalo de tempo t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>, sendo descrito mediante a equação regida pela lei da conservação da massa, na qual a soma algébrica dos fluxos q durante um intervalo de tempo, é igual à variação da quantidade de água armazenada no mesmo intervalo em um elemento de volume considerado, podendo-se apresentar como na Equação 1 (Libardi, 1995):

$$\int_{t_1}^{t_2} (q_2 - q_1) dt = \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial z} dz dt \quad (1)$$

Desdobrando-se a equação 1 nos termos do balanço hídrico, pode-se descrever a Equação 2:

$$P + I + Ac \pm Es - D - Et = \Delta A \quad (2)$$

Em que: P é a precipitação; I é a irrigação; Ac é a ascensão capilar; Es é o escoamento superficial; D é a intensidade de drenagem; Et é a intensidade de evapotranspiração; e ΔA é a variação de armazenamento de água do solo. Para o caso em questão, os termos Ac e Es foram desprezados. Assumindo balanços hídricos em intervalos de tempo em quinquêndios, admitiu-se condições de fluxo permanente, e desprezou-se o termo ΔA. Assim, a Equação 2 para este dispositivo resumiu-se a Equação 3:

$$P + I - D - Et = 0 \quad (3)$$

O manejo da irrigação foi realizado em escala diária, sendo a reposição da água procedida de modo a gerar uma drenagem correspondente a cerca de 10-20% da água aplicada. O cálculo da água de reposição foi realizado em base volume

(L) considerando a área do lisímetro (1,39 m<sup>2</sup>) e a altura da lâmina (mm), pela diferença entre o irrigado e o drenado A cultura foi irrigada por um sistema de microaspersão em área total.

O potencial mátrico foi monitorado por uma bateria de tensiômetros de mercúrio, instalados nas camadas de 10, 20, 30, 40 e 60 cm de profundidade, e calculados segundo a Equação 4:

$$\psi_m = -12,6h_1 + h_2 + h_3 \quad (4)$$

em que:  $\psi_m$  é o potencial mátrico;  $h_1$ ,  $h_2$  e  $h_3$  são as respectivas leituras da coluna de mercúrio, altura da cubeta em relação ao solo e profundidade do tensiômetro em relação ao solo.

O coeficiente de cultura (Kc) foi então calculado a partir da relação explícita na Equação 5:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (5)$$

em que: Kc é o coeficiente de cultura, e representa o efeito conjugado de vários fatores que distinguem a ETc da ETo, dentre eles: a altura da cultura, a resistência da superfície e o albedo da superfície cultura –solo.

A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada a partir de Tanque Classe A, instalado em área próxima à área experimental, com coeficientes de Tanque baseados em elementos meteorológicos do período, e segundo Doorenbos & Pruitt (1977), Blackburn (2002), Bastos (2004) e Santiago et al. (2004) desenvolveram trabalhos de pesquisa neste mesmo aluvião no período de até 6 meses após o término da estação chuvosa no local, adotando o Tanque Classe A para a estimativa da ETo, e encontraram como coeficiente de Tanque (Kp) o valor de 0,75. Santos et al. (2008), em estudo sobre a avaliação de métodos de estimativa de ETo utilizando lisímetro de pesagem no mesmo local e período, sugeriu a adoção de Kp de 0,81 para o Tanque Classe A, de modo a produzir melhores ajustes com leituras lisimétricas. Oliveira et al. (2008), em trabalho de mesma concepção que o anterior, na bacia experimental do Riacho Gameleira-PE, observaram superestimativa da ordem de 22% na ETo obtida pelo Tanque Classe A com a adoção de Kp de 0,75. Estes resultados evidenciam as incertezas inerentes aos coeficientes de Tanque mais adequados. Deste modo, os resultados serão abordados e discutidos aqui considerando ambos os valores de Kp e a dispersão em torno desses valores – Desvio padrão, com vista à geração de faixas de Kc plausíveis de serem consideradas.

A produtividade no interior do lisímetro foi avaliada obtendo-se o produto do peso médio das raízes colhidas pelo número de plantas presentes na área do canteiro do lisímetro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 estão apresentados os potenciais mátricos a que a cultura esteve submetida ao longo do experimento nas profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm. Para as 3ª e 4ª profundidades, houve menor amplitude para os valores de potencial e

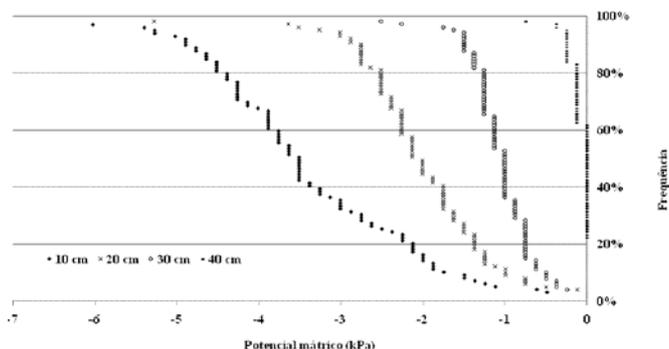


Figura 2. Frequência acumulada dos potenciais mátricos pré-irrigação, nas profundidades do solo de 10, 20, 30 e 40 cm

Figure 2. Matric potential cumulative frequency before irrigation, at 10, 20, 30 and 40 cm soil profiles

mais de 90% dos valores são superiores a -10 kPa. Isto denota a maior interferência dos processos de troca energética e de absorção pela raiz sobre as camadas superficiais, e indica que durante o período experimental a cultura esteve submetida a condições elevadas de umidade do solo, de modo a possibilitar uma condição potencial de perda de água via evapotranspiração.

Ajustou-se o modelo de Van Genuchten (1980) aos dados experimentais da curva de retenção de umidade. A amplitude total da umidade volumétrica estimada por esse método foi reduzida para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, reforçando a hipótese de fluxo permanente para contabilização do balanço hídrico pela desconsideração do termo variação de armazenamento. Variações inferiores a 1% de umidade em escala diária foram registradas ao longo do período experimental. Os parâmetros de ajuste se encontram na Tabela 4.

Tabela 4. Valores dos parâmetros do modelo de retenção de água no solo de van Genutchen (1980)

Table 4. Soil water retention parameters values by the van Genuchten model (1980)

Profundidade (cm)	$\theta_s$	$\theta_r$	A	n	m	R <sup>2</sup>
0-20	0,391	0,161	0,0058	2,4908	0,5985	0,979
20-40	0,363	0,182	0,0213	1,6834	0,4060	0,938

$\theta_s$  – conteúdo volumétrico de água no solo na saturação (estimado segundo Van Lier & Dourado Neto, 1993);  $\theta_r$  – conteúdo volumétrico residual de água no solo (medido); a – parâmetro de ajuste, relacionado com a escala da curva de retenção (kPa<sup>-1</sup>); n – parâmetro de ajuste, relacionado com a forma da curva de retenção; m – restrição segundo Mualem, com  $m = 1 - 1/n$ ; R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação

Estão representados na Tabela 5 os termos do balanço hídrico da cultura. Os componentes escoamento superficial e variação de armazenamento foram desconsiderados, uma vez que o terreno apresenta declividade praticamente nula e a condição de fluxo pôde ser assumida como permanente, devido ao agrupamento dos dados em quinquêndios e à amplitude reduzida dos potenciais mátricos. Com efeito, verifica-se que os potenciais mátricos das camadas mantiveram-se praticamente constantes durante o experimento, conforme mostrado na Figura 2.

O consumo hídrico da cultura, em um ciclo de 98 dias, foi de 811,84 (±11,04) mm, tendo sido a evapotranspiração de

**Tabela 5.** Balanço hídrico quinquenal médio nos três lisímetros de drenagem cultivados com cenoura, em um ciclo de 98 DAP, no período de 28/10/05 a 02/02/06

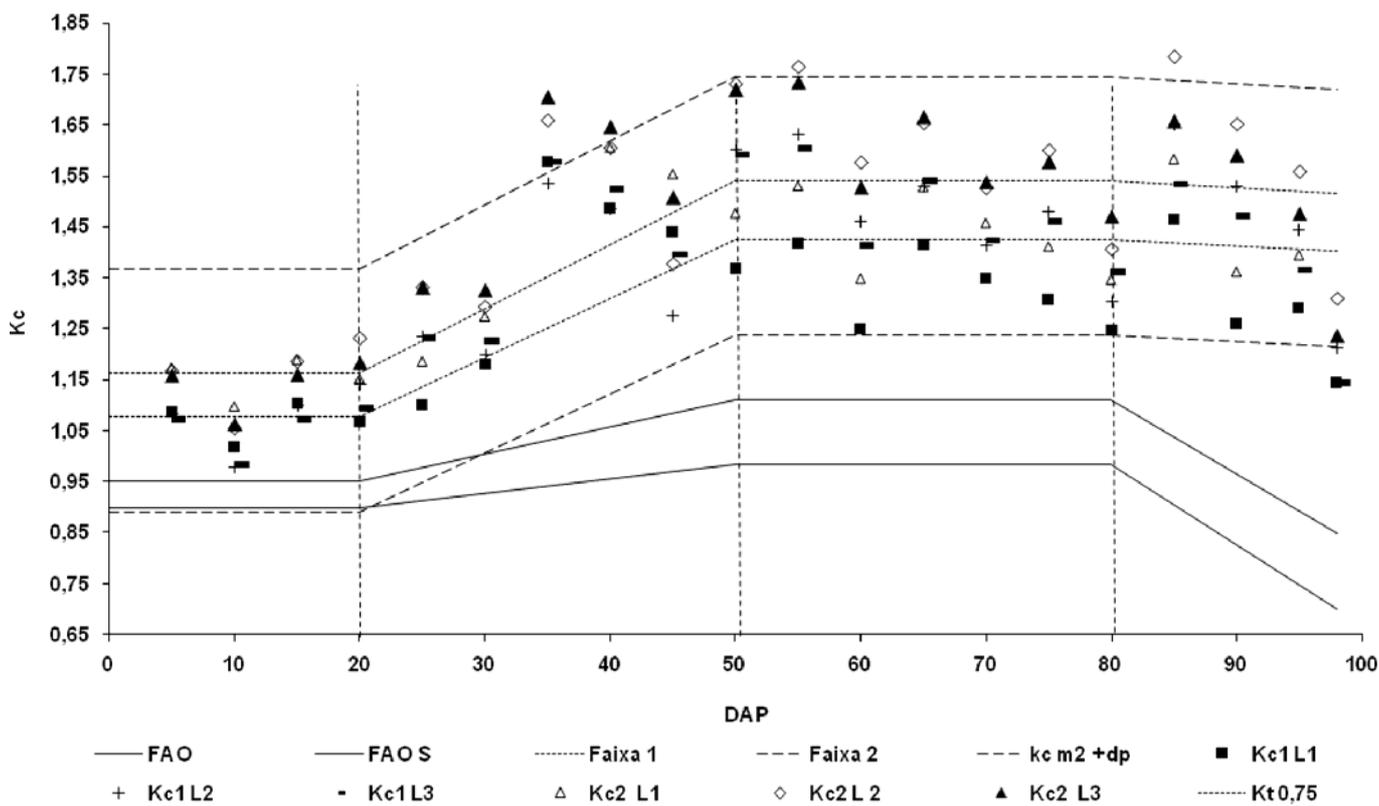
**Table 5.** Average water balance in five days scale on the three drainage lysimeters cultivated with carrot, during 98 days after plantation (DAP), between 10/28/05 and 02/02/06

DAP	Intervalo	P (mm)	I (mm)	D (mm)	ETc (mm)
5	28/10-01/11	-	45,49 (0,00)	8,17(0,27)	37,32(0,27)
10	02-06/11	-	44,50 (0,00)	8,39(0,77)	36,12(0,77)
15	07-11/11	-	45,49 (0,00)	6,68(0,57)	38,81(0,57)
20	12-16/11	-	46,15 (0,00)	7,88(1,28)	38,27(1,28)
25	17-21/11	-	45,27 (0,38)	7,74(2,06)	37,53(2,44)
30	22-26/11	-	45,27 (0,38)	7,50(0,49)	37,77(0,74)
35	27/11-01/12	9,00	46,15 (0,00)	0,44(0,71)	45,72(0,71)
40	02-06/12	113,00	27,69 (0,00)	74,66(0,61)	42,03(0,61)
45	07-11/12	-	27,03 (0,00)	21,38(2,38)	38,66(2,38)
50	12-16/12	-	46,15 (0,00)	5,44(3,54)	40,72(3,54)
55	17-21/12	-	46,15 (0,00)	5,56(3,06)	40,59(3,06)
60	22-26/12	-	44,83 (0,00)	3,66(3,32)	41,17(3,32)
65	27-31/12	-	46,15 (0,00)	1,71(2,08)	44,44(2,08)
70	01-05/01	-	45,49 (0,00)	1,89(1,25)	43,60(1,25)
75	06-10/01	-	45,49 (0,00)	2,03(2,92)	43,46(2,92)
80	11-15/01	3,50	47,03 (0,76)	3,75(1,29)	43,28(1,89)
85	16-20/01	-	46,15 (1,14)	7,80(1,79)	41,86(2,54)
90	21-25/01	-	48,79 (2,28)	4,04(2,25)	44,75(4,44)
95	26-30/01	-	50,55 (3,81)	3,07(2,04)	47,48(2,64)
98	31/01-02/02	-	30,33 (2,28)	2,09(1,98)	28,24(0,96)
Total	28/10-02/02	125,50	870,20(27,90)	183,86(16,96)	811,84(11,04)

P - precipitação, I - irrigação, D - drenagem, ETc - evapotranspiração de cultura, \*relativo à entrada por irrigação e precipitação, Números entre parêntesis referem-se ao desvio-padrão

referência, acumulada para o período, de 615,02 mm. O total drenado variou de 0,79% até os picos de 53,07 e 79,08% das lâminas irrigadas (I) ou precipitadas (P), sendo estes últimos relativos à ocorrência de eventos extremos de precipitação pluviométrica. A drenagem média total correspondeu a 16,25% do total aplicado, indicando uma suavização do efeito das precipitações intensas ao longo do ciclo, e que houve suprimento suficiente de água à cultura. O total consumido é cerca de duas vezes maior ao encontrado por Moura et al. (1994), que registraram 365,03 mm nas condições edafoclimáticas de Piracicaba. Isto denota a grande dependência existente entre o termo evapotranspirométrico e as condições climáticas regionais.

Na Figura 3 é apresentada a variação do Kc em escala de quinquênio, considerando coeficientes de Tanque de 0,81 e 0,75 em relação à média e a dispersão de  $\pm 1$  desvio-padrão. As faixas geradas estiveram sempre acima daquelas produzidas com dados da FAO, com exceção da fase inicial, considerando incorporação dos desvios-padrão, em que houve superposição. Os coeficientes de cultura apresentaram tendência de permanência de altos valores no estágio final de desenvolvimento. Sugere-se que isto possa se dever ao fato da cultura, ao longo de todo seu ciclo, ainda estar em fase de crescimento, principalmente de diâmetro radicular, demandando altos índices de consumo.



FAO: faixas inferior e superior de kc da FAO; Faixa 1: faixas superior e inferior de Kc, englobando (Kp 0,75 e Kp de 0,81); Faixa 2: faixas superior e inferior de Kc, englobando (Kp 0,75 + 1 DP) e (Kp de 0,81 - 1 DP); Kc L<sub>i</sub>: (i = Kp, 0,81; Kp<sub>2</sub> = 0,75) e (j = lisímetro 1; lisímetro 2; lisímetro 3)

**Figura 3.** Valores de coeficiente de cultura (Kc) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da cenoura obtidos no presente estudo e sugeridos pela FAO

**Figure 3.** Crop coefficient (Kc) values to different carrot growth stadium, obtained on the present study and that suggested by FAO

Na Tabela 6 são apresentados os valores de coeficiente de cultura da cenoura nas diversas fases fenológicas, avaliados no presente estudo, bem como relatados em outros trabalhos da literatura.

**Tabela 6.** Valores de coeficiente de cultura da cenoura nos diversos estádios de desenvolvimento obtidos no presente estudo e relatados na literatura

**Table 6.** Crop coefficient values of carrot in several development stadium obtained on present study and related in the literature

Fase fenológica	DAP	Presente Estudo	1	2	3	4	5	6	7
Inicial	0-20	1,08-1,16	-	1,03	0,54	0,48	0,57	1,15	0,90-0,95
Crescimento	21-50	1,41-1,52	0,77	0,80	0,97	0,77	0,79	1,12	0,97-1,07
Intermediário	51-80	1,43-1,55	0,99	1,16	1,52	1,47	1,47	1,12	1,00-1,15
Final	81-98	1,40-1,52	0,86	1,61	0,93	1,56	1,14	1,10	0,70-0,85

1 - Aragão Júnior & Castro. (1983); 2 - Carvalho (1994); 3 - Moura et al (1994); 4 - Giacoia Neto (1996); 5 - Lunardi & Laperuta Filho (1999); 6 - Oliveira et al. (2003); 7 - Doorenbos & Pruitt (1977)

Na fase inicial, o valor de Kc foi equiparável aos encontrados por Oliveira et al. (2003) e Carvalho (1994), com valor entre 1,08 e 1,16, porém muito discrepante ao valor encontrado por Moura et al. (1999), Giacoia Neto (1996) e Lunardi & Laperuta Filho (1999). A partir da fase fenológica de crescimento até a fase final, os valores de Kc se elevaram e mantiveram um comportamento persistente até o final do ciclo. Tais distinções entre os resultados apresentados na Tabela 6 podem ser argumentadas pela variabilidade metodológica, experimental e varietal, o que denota a importância da determinação local de Kc para as distintas fases fenológicas de diversas variedades. A FAO propõe para as referidas fases fenológicas as faixas de Kc's de 0,90-0,95, 0,97-1,07, 1,00-1,15 e 0,70-0,85.

Quanto ao aspecto metodológico, a utilização de métodos distintos para avaliar tanto a ETc quanto a ETo, contribuem para a incerteza dos resultados. Aragão Júnior & Castro (1983) e Moura et al. (1994) utilizaram o balanço hídrico no solo para avaliar a ETc, mas aplicaram Tanque Classe A e Penman-1956, respectivamente, na avaliação da ETo. Giacoia Neto (1996) e Lunardi & Laperuta Filho (1999) estimaram a ETo com os respectivos métodos do Tanque Classe A e Penman-Monteith, ambos adotando lisímetros de lençol freático para a ETc.

Poucas informações existem oriundas de regiões climáticas semelhantes às do presente trabalho, muito menos com o uso de lisímetros, o que também sugere ser este um fator que contribui para as diferenças encontradas. Estes resultados, em confronto com os obtidos na presente pesquisa, reiteram o supracitado e corroboram as recomendações da FAO quanto à realização de experimentos localizados para a determinação deste parâmetro.

A produtividade média no interior dos lisímetros foi de 27,97 ( $\pm 10,4$ ) Mg ha<sup>-1</sup>. Freitas et al. (2004) obtiveram 27,91 Mg ha<sup>-1</sup> nas condições de Mossoró-RN e em período semelhante ao presente experimento. Araújo et al. (2004) em experimento utilizando a cultivar "Brasília" com diferentes combinações de fontes e doses de fertilizantes fosfatados e cama de frango, conseguiram produtividades médias entre 19,06 Mg ha<sup>-1</sup> e 23,90 Mg ha<sup>-1</sup>. Segundo Marouelli et al. (2007), a produtividade média nacional é de 29,00 Mg ha<sup>-1</sup>, podendo-se entre-

tanto, atingir índices entre 50,00 e 60,00 Mg ha<sup>-1</sup> em cultivos mais tecnificados. Resende & Cordeiro (2007), em estudo avaliando a produtividade da cenoura no Vale do São Francisco (Petrolina-PE), utilizaram níveis de salinidade da água de irrigação entre 0,1 e 8,0 dS m<sup>-1</sup>, e obtiveram valores entre 33,10 Mg ha<sup>-1</sup> e 82,30 Mg ha<sup>-1</sup>. Os índices de produção, o diâmetro e o comprimento médio das raízes, obtidos nos três lisímetros estão apresentados na Tabela 7. Embora se verifi-

**Tabela 7.** Índices de produção de cenoura, cultivada no interior de três lisímetros de drenagem

**Table 7.** Carrot productivity in the three drainage lysimeters

Lisímetro	Comprimento (cm)	Diâmetro (mm)	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )
1	14,5	36,1	22,69
2	15,2	40,2	38,03
3	14,7	34,7	23,21
Média	14,8	37,0	27,98
Desvio padrão	2,96	5,58	10,46
CV	20,03%	15,09%	31,11%

que maior produtividade no lisímetro 2, não se observa tendência de superestimativa dos valores de Kc no tal lisímetro em relação aos demais (Figura 3).

## CONCLUSÕES

A faixa de coeficientes de cultura obtidos para a cenoura considerando valores de Kp de 0,81 e 0,75 foram: 1,08-1,16; 1,41-1,52; 1,43-1,55 e 1,40-1,52, para as fases inicial, crescimento, intermediária e final.

O consumo hídrico total da cultura foi de 811,84 mm, com coeficientes de cultura médios de 1,35 de 1,46 para coeficientes de tanque de 0,81 e 0,75, respectivamente.

Em todas as fases de desenvolvimento, a faixa de coeficiente de cultura foi superior à recomendada pela FAO, exceto para a fase inicial.

## LITERATURA CITADA

- Aragão Júnior, T.C.; Castro, P.T. Utilização do balanço hídrico na determinação do coeficiente de cultura (kc) da cenoura (*Daucus carota*, L). *Ciência Agrônoma*, v.14, n.1/2, p.115-121, 1983.
- Assis, F.N.; Verona, L.A.F. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, n.5, p.665-670, 1991.
- Azevedo, B.M.; Saunders, L.C.U.; Viana, T.V.A.; Castro, P.T. Estimativa do consumo de água da cultura do milho (*Zea mays* L.) utilizando lisímetros de drenagem no Estado do Ceará. *Engenharia Rural*, v.7, n.1, p.10-16, 1996.
- Araújo, C.; Zárate, N.A.H.; Vieira, M.C. Produção e perda de massa pós-colheita de cenoura "Brasília", considerando doses de fósforo e de cama de frango semi decomposta. *Acta Scientiarum.Agronomy*, v.26, n.2, p.131-138, 2004.

- Bastos, D.C.O. Manejo da salinidade em irrigação localizada: análise da alternativa de lixiviação incompleta. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2004. 57p. Dissertação Mestrado.
- Blackburn, D.M. Efeito da drenagem subterrânea no balanço hidrossalino de um neossolo flúvico irrigado em Pesqueira- PE. Pernambuco. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2002. 98p. Dissertação Mestrado.
- Camargo Filho, W.P.; Alves, H.S.; Camargo, A.M.M.P. Mercado de cenoura no Mercosul: análise da produção e de preços no Brasil e na Argentina. Horticultura Brasileira, v.23, n.2, 2005. Suplemento CD-ROM.
- Carvalho, J.A. Coeficiente de cultura, avaliação econômica da produção e análise do crescimento da cenoura (*Daucus carota* L.) irrigada. Viçosa: Universidade Federal Rural de Viçosa, 1994. 78p. Tese Doutorado.
- Ceasa-PE. Principais municípios fornecedores. [http://www.ceasape.org.br/calend\\_municipios.php](http://www.ceasape.org.br/calend_municipios.php). 10 Abr. 2008.
- Condepe-Fidem. Produção física das principais culturas agrícolas de Pernambuco 2005/2006. <http://www.condepefidem.pe.gov.br/pib/indicadores.asp>. 15 Abr. 2008.
- Doorenbos, J, Pruitt, W. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO, 1977. 144 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FAO. Agricultural production, crops primary, year production. <http://faostat.fao.org>. 10 Nov. 2006.
- Freitas, K.K.C.; Negreiros, M.Z.; Bezerra Neto, F.; Azevedo, C.M.S.B.; Oliveira, E.Q.; Barros Júnior, A.P. Uso de efluente e água de rio no desempenho agro-econômico de cenoura, alface e coentro em associação. Caatinga, v.17, n.2, p.98-104, 2004.
- Giacioia Neto, J. Efeito da profundidade do lençol freático na evapotranspiração e na produtividade da cultura de cenoura (*Daucus carota* L.). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 56p. Dissertação Mestrado.
- Irmak, S.; Haman, D.Z.; Jones, J.W. Evaluation of Class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.128, n.3, p.153-159, 2002.
- Libardi, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia - ESALQ/USP, 1995. 497p.
- Lunardi, D.M.C.; Laperuta Filho, J. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da cenoura (*Daucus carota* L.). Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.7, n.1, p.13-17, 1999.
- Maldonado, I.; Quezada, C.; León, L.; Márquez, L. Irrigation scheduling in the sugar beet by pan evaporation and the Penman-Monteith equation. Ciencia e Investigación Agraria, v. 33, n.3, p.201-210, 2006.
- Marouelli, W.A.; Oliveira, R.A.; Silva, W.L.C. Irrigação da cultura da cenoura. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2007. 14 p. (Circular Técnica 48).
- Medeiros, G.A.; Arruda, F.B. Adaptação e avaliação de evapotranspirômetros para a obtenção do coeficiente de cultura basal (Kcb) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Irriga, v.4, n.2, p.92-103, 1999.
- Miranda, F.R.; Oliveira, J.J.G.; Souza, F. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultivo para a cultura da melancia irrigada por gotejamento. Ciência Agrônômica, v.35, n.1, p.36-43, 2004.
- Montenegro, A.A.A.; Montenegro, S.M.G.L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.1, p.30-37, 2006.
- Moura, M.T.V.; Marques Júnior, S.; Botrel, T.A.; Frizone, J.A. Estimativa do consumo de água na cultura da cenoura (*Daucus carota*, L.) v. Nantes Superior, para a região de Piracicaba, através do método do balanço hídrico. Scientia Agrícola, v.51, n.2, p.284-291, 1994.
- Oliveira, R.A.; Rocha, I.B.; Sediya, G.C.; Puiatti, M.; Cecon, P.R.; Silveira, S.F.R. Coeficientes de cultura da cenoura nas condições edafoclimáticas do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.280-284, 2003.
- Oliveira, L.M.M.; Montenegro, S.M.G.L.; Azevedo, J.R.G.; Santos, F.X. Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.3, n.1, p.58-67, 2008.
- Resende, G.M.; Cordeiro, G.G. Produtividade da cenoura em função da qualidade da água e condicionador de solo no Vale do São Francisco. Caatinga, v.20, n.1, p.100-104, 2007.
- Santiago, F.S.; Montenegro, A.A.A.; Montenegro, S.M.G.L. Avaliação de parâmetros hidráulicos e manejo da irrigação por microaspersão em área de assentamento. Engenharia Agrícola, v.24, n.3, p.632-643, 2004.
- Santos, F.X.; Rodrigues, J.J.V.; Montenegro, A.A.A.; Moura, R.F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. Engenharia Agrícola, v.28, n.1, p.115-124, 2008.
- Sellés, G.; Ferreyra, E.R. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. In: INIA (ed). Manejo del Riego y Suelo en Vides para Vino y Mesa. Santiago, Chile: INIA, 2005. p.15-53.
- Sentelhas, P.C.; Folegatti, M.V. Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.111-115, 2003.
- Van Genuchten, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, v.44, n.5, p.892-898, 1980.
- Van-Lier, Q de J.; Dourado Neto, D. Valores extremos de umidade do solo referentes ao modelo de Van Genuchten. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.17, n.3, p.325-329, 1993.