

FRANCISCO XAVIER DOS SANTOS

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTURA E INFLUÊNCIA DE DIFERENTES
LÂMINAS E FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CENOURA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Doutorado em Ciência do Solo da UFRPE, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Agronomia – Ciência do Solo

Orientador:

Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, PhD, UFRPE.

Conselheiros:

José Júlio Vilar Rodrigues, PhD, UFRPE

Tonny José de Araújo da Silva, Dr, UFRPE/UAG

Recife, 2008

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTURA E INFLUÊNCIA DE DIFERENTES
LÂMINAS E FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CENOURA**

FRANCISCO XAVIER DOS SANTOS

Dissertação defendida e aprovada em 29 de fevereiro de 2008 pela
banca examinadora:

Orientador:

Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Prof. PhD
DTR/UFRPE

Examinadores:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr, DTR/UFRPE

José Júlio Vilar Rodrigues, Prof. PhD, DEPA/UFRPE

Tonny José Araújo da Silva, Prof. Dr, UAG/UFRPE

Carlos Alberto Vieira de Azevedo, Prof. PhD, DEAG/UFCG

FICHA CATALOGRÁFICA

S237e Santos, Francisco Xavier dos
Evapotranspiração de cultura e influência de diferentes lâminas e frequências de irrigação no crescimento e produtividade da cultura da cenoura / Francisco Xavier dos Santos. -- 2008.
81 f. : il.

Orientador : Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) -- Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.
Inclui bibliografia.

CDD 631.51

1. Evapotranspiração
 2. Lisímetro
 3. Manejo de água
 4. Lâmina de Irrigação
 5. Produtividade
- I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção
 - II. Título

DEDICATÓRIA

A AMARO JOSÉ DOS SANTOS (*In memoriam*)

VALDECI, minha mãe.

BETÂNIA, MARINÊZ, MÔNICA e NENA, minhas irmãs.

CARLOS e GUSTAVO, meus irmãos.

E aos meus amigos.

A diplomacia trabalha melhor quando apoiada pela ameaça da força.

Tony Blair

O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência.

Henry Ford.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de todas as coisas, ao SENHOR, todo poderoso e onipresente. Ele é o alfa; Ele é o ômega; Senhor dos senhores! Sem seu alvitre, sem seu alento, sem sua acolhida, jamais eu teria percorrido este caminho só com o meu poderio. Somos fracos!!

A minha mãe, exemplo de serenidade, tranqüilidade, paciência e altruísmo; são estas as razões, inclusive, para tamanha saúde e disposição na idade que tem. Digo, com consciência da minha plena imparcialidade, que se trata de um exemplo a ser seguido.

Ao meu orientador, Professor Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, pela parceria na elaboração deste trabalho, e pelo vínculo criado ao longo de 9 anos de convivência. Meu Grande Mestre!

A Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, representada na pessoa do Professor Clístenes William do Nascimento, pela oportunidade de ingresso no Doutorado; ao Projeto CNPq/CTagro pela colaboração financeira.

Aos colegas do curso de Doutorado: Veronildo, Eduardo, Paulo e Djalma, pelos bons momentos, dentro e fora de sala de aula, e em particular ao meu amigo Samuel Belo Venâncio Gomes.

Aos estagiários do Laboratório de Recursos Hídricos José Roberto, Tafnes Andrade, Eduardo Silva, Isaac, Cléber, Valdemir, Robertson, Ana Paula e Edimilson.

Aos colegas mestrados e doutorandos que compartilharam espaço físico e trabalhos: Edvan Rodrigues de Souza, Júlio José do Nascimento, Manoel Costa, José Francisco (Zezito) e Adriano Normandia.

Aos funcionários: Seu Noca, pelos cafezinhos, Jósue, pelas canetas, Socorro, pelos socorros, José Anacleto, tricolor de coração, pelas análises físicas de solo. E a todos eles pelo coleguismo.

Ao técnico Vivaldo, que monitora todo o vale, sem o qual este e outros experimentos não teriam sido realizados.

Aos colegas que dividiram espaço na república durante o mestrado e doutorado, a saber: Ítalo Willian (chambinho), Isaias Mendonça (irmão), Osvaldo e Cícero.

Para não pecar por alguma omissão, deixo aqui a minha mais profunda gratidão a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para este feito.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	9
CAPÍTULO I: Coeficientes de cultura da cenoura cultivada em lisímetros de drenagem no semi-árido pernambucano.....	12
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	12
INTRODUÇÃO.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
Potencial mátrico.....	21
Balanço hídrico.....	22
Coeficiente de cultura.....	24
Produtividade.....	26
CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
CAPÍTULO II: Produtividade e eficiência de uso de água da cenoura submetida a diferentes lâminas e frequências de irrigação com água moderadamente salina.....	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	32
INTRODUÇÃO.....	33
MATERIAL E MÉTODOS.....	36
Localização e caracterização da área experimental.....	36
Preparo do solo e delineamento experimental.....	36
Irrigação.....	38
Lisímetro de pesagem hidráulica.....	41
Condução do experimento.....	43
Eficiência de uso da água.....	44
Salinidade.....	44
Análise estatística.....	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
Calibração e testes lisimétricos e avaliação do sistema de irrigação.....	45

Balanço hídrico.....	48
Produtividade e eficiência de uso de água (EUA).....	49
CONCLUSÕES.....	54
AGRADECIMENTOS.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
CAPÍTULO III: Crescimento e desenvolvimento da cultura da cenoura submetida a diferentes lâminas e frequências de irrigação com água moderadamente salina.....	63
RESUMO.....	63
ABSTRACT.....	63
INTRODUÇÃO.....	64
MATERIAL E MÉTODOS.....	65
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
CONCLUSÕES FINAIS.....	81

INTRODUÇÃO GERAL

A cenoura é uma das culturas olerícolas de maior importância econômica nacional. Destaca-se, principalmente, por agregar mão-de-obra intensiva durante o ciclo de produção (OLIVEIRA et al., 2005). No semi-árido nordestino, sobretudo nas áreas aluvionares, esta cultura é importante por fazer parte do panorama da exploração agrícola em escala familiar irrigada, sendo instrumento gerador de renda e promotor de desenvolvimento social (SANTIAGO et al., 2004).

O consumo hídrico desta cultura é altamente dependente das condições climáticas em que é cultivada, e das características varietais. A produtividade e o desenvolvimento são fortemente influenciados pelo manejo de irrigação imposto à cultura (TEODORO et al., 2002), bem como da qualidade da água de irrigação a que está submetida.

O uso racional da água para irrigação de uma cultura qualquer, está fundamentado no conhecimento correto de suas necessidades hídricas. Tal estimativa pode ser obtida pela utilização de coeficiente de cultura (K_c). Contudo, escassos são os trabalhos que tratam do assunto, muito mais ainda quando sob condições de semi-árido.

Vários trabalhos atestam a influência do controle rigoroso na aplicação de água como fator de aumento na produtividade e melhoria na qualidade dos produtos agrícola (CAIXETA & MIZABUTI, 1988; SEGOVIA et al., 2005).

A salinidade tem se consolidado como fator de preocupação com proporção mundial, dado ao aumento crescente de áreas de cultivos consideradas não agricultáveis. Solos afetados por sais podem reduzir as produções agrícolas a níveis anti-econômicos (AYERS & WESTCOT, 1999). Áreas sujeitas a balanços hídricos anuais negativos estão mais propensas a sofrer com os efeitos da salinização, a exemplo do que ocorre com o semi-árido nordestino. A tolerância das culturas à salinidade é variável em função da espécie, cultivar e fenologia, sendo que as culturas anuais, em especial as olerícolas, apresentam maior sensibilidade. A cultura da cenoura é uma espécie sensível, em que segundo a literatura, é possível reduções de produtividade relativa a partir de condutividade elétrica da água de irrigação (CE_a) de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ (AYERS & WESTCOT, 1999).

O uso de água moderadamente salina para a irrigação pode constituir fator de risco à obtenção de produtividades satisfatórias em culturas olerícolas em função da possibilidade de aumento da salinidade do solo ao longo do ciclo da cultura. Entretanto, alguns trabalhos têm mostrado resultados de produções satisfatórias com água de irrigação de qualidade inferior (salina) em olerícolas. RESENDE & CORDEIRO (2007), em experimento em cenoura irrigada com condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) variando de 0,1 a 8,0 dS m⁻¹, encontraram produções similares com o uso de águas compreendidas a 0,1 e 4,0 dS m⁻¹. BASTOS (2004) realizou experimento com lixiviação incompleta em cultura de cenoura irrigada com água moderadamente salina. O referido trabalho contemplou a utilização estratégica do período de chuvas como forma de complementar a lavagem de sais. Foi obtido controle satisfatório da salinidade da água do solo ao longo do ciclo da cultura.

Tais resultados corroboram com a importância de realização de trabalhos investigativos, que vislumbrem o emprego de novas, ou mesmo adaptações, de técnicas de manejo hidrossalino, no intuito de garantir produtividades viáveis economicamente. Com efeito, o uso planejado da água pluvial, especialmente quando em condições de semi-árido, pode-se constituir em técnica aplicável para a complementação da irrigação e controle da salinidade da água do solo.

O valor de pesquisas sobre manejo da irrigação, considerando condições climáticas de semi-árido, encontra respaldo na necessidade da otimização da exploração da água, com vistas ao incremento da eficiência de uso deste recurso. No caso específico de aluviões sujeitos à acumulação de sais no perfil no período seco, a exemplo do que ocorre no semi-árido nordestino, o uso em caráter deficitário dos recursos hídricos subterrâneos para fins de irrigação das olerícolas, associado ao aproveitamento estratégico das chuvas ocorrentes na fase de transição entre os períodos seco e chuvoso, pode garantir a sustentabilidade das produções.

No entanto, para o sucesso dessas estratégias, são necessárias informações corretas a respeito das necessidades hídricas das plantas, do manejo de irrigação adequado, da identificação de fases de maior sensibilidade ao estresse hídrico, bem como uso de cultivares adaptadas às condições locais. Para tanto, é imprescindível a realização de pesquisas de âmbito local

de modo a almejar a obtenção dessas informações. Esta posição é compartilhada e amplamente difundida na literatura. A FAO, através dos documentos FAO 24 (DOORENBOS & PRUITT, 1976) e FAO 33 (DOORENBOS & KASSAN, 1979), é categórica em recomendar a realização de estudos locais para a determinação do consumo hídrico e a obtenção de coeficientes de cultura, assim como para a avaliação dos rendimentos em função de diferentes formas de dotação hídrica.

Dessa forma, os trabalhos contidos neste documento, apesar de tratar de assuntos específicos, apresentam estrutura de conexão, uma vez que o conhecimento do consumo hídrico, da produtividade e da dinâmica de crescimento em função de diferentes manejos de irrigação experimentados, constituem ferramentas importantes para a elucidação de problemas e recomendações ao cultivo da cenoura sob estas condições.

O presente trabalho apresenta em seu conteúdo, pesquisas que contemplam a avaliação do consumo hídrico, e os efeitos combinados da adoção de lâminas e frequências de irrigação sobre o crescimento e a produtividade desta cultura, em condições do semi-árido nordestino, com água moderadamente salina. Assim, os objetivos dos trabalhos foram: avaliar o consumo hídrico e os coeficientes de cultura da cenoura, nas diversas fases de desenvolvimento, e, nas condições edafoclimáticas da região do Agreste, utilizando-se lisímetros de drenagem; analisar o efeito da aplicação de lâminas deficitárias e excedentes, associadas a diferentes intervalos de reposição, sobre o rendimento da cultura da cenoura, em condições de semi-árido; e estudar o efeito de frequências e de lâminas de irrigação aplicados em parte do ciclo da cultura da cenoura e suas implicações no crescimento e desenvolvimento considerando o emprego de água moderadamente salina na irrigação.

CAPÍTULO 1

Coefficientes de cultura da cenoura cultivada em lisímetros de drenagem no semi-árido 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 necessidade de informações sob as condições climáticas e edáficas do semi-árido nordestino, em particular sobre a cultura da cenoura. Objetivou-se avaliar o consumo hídrico da cenoura e estimar o seu coeficiente de cultura (K_c), em área aluvial, no semi-árido de Pernambuco, onde se desenvolve agricultura familiar irrigada. Foram utilizados três lisímetros de drenagem, sendo a contabilização da evapotranspiração de cultura (ET_c) realizada por balanço de massa em escala quinquenal e a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada a partir de Tanque Classe A. A ET_o acumulada para o período foi de 615,02 mm, enquanto que a ET_c foi de 811,84 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.

Crop coefficient of carrot cultivated in drainage lysimeter at semi arid of Pernambuco State

Abstract: The evaluation of water requirement and of the crop coefficient is very important for an adequate irrigation management. However, there is a lack of information about carrot crop under northeast edaphic-climatic semi arid conditions, especially about crop carrot. The objective of this work was to evaluate the carrot crop evapotranspiration and crop coefficient (K_c) in alluvial

area of semi arid of Pernambuco State, Brazil, where the communal agriculture is developed. Three drainage lysimeters were used, cropped with carrot, being the crop evapotranspiration (ET_c) contability determined by mass balance in 5 days scale and the reference evapotranspiration (ET_o) was estimated by Class A Pan methodology. The cumulative ET_o during the experimental period was 615.02 mm, while the ET_c was 811.84 mm. The coefficients band 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, for the phases : beginning (20 days after plantation - DAP), growth (50 DAP), middle (80 DAP) and final (98 DAP), being the mean K_c of 1.35 and 1.46 for whole period. These values were higher than these presented by FAO and highlight the necessity of investigation of crop coefficient under local conditions.

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

INTRODUÇÃO

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, tem-se verificado crescimento da produção. A safra de 2006 foi de 7263 toneladas, cerca de 13% maior em relação ao ano anterior (CONDEPE/FIDEM, 2006).

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, 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 culturas exploradas, a cenoura se destaca, principalmente por ocupar as maiores extensões de área plantada. 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 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 (K_c), determinados em função da evapotranspiração da cultura e da evapotranspiração de referência (E_{To}), 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 avaliar diretamente a E_{Tc} 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 K_c 's das culturas, a exemplo de AZEVEDO et al. (1996), ASSIS & VERONA (1991), MEDEIROS & ARRUDA (1999) e MIRANDA et al. (2004), que utilizaram lisímetros na estimativa do K_c 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 condições 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 em relação aos lisímetros de pesagem.

Associada à estimativa do consumo hídrico da cultura para a obtenção do K_c , deve-se avaliar também a evapotranspiração de referência (E_{To}). A literatura dispõe de várias alternativas para estimativa deste parâmetro, que passa desde os modelos 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_p) (MALDONADO et al., 2006; SELLES & FERREYRA, 2005; IRMARK et al., 2002; SENTELHAS & FOLEGATTI, 2003).

BASTOS (2004), SANTIAGO et al. (2004) e BLACKBURN (2002) em trabalhos realizados em área experimental de aluvião no semi árido pernambucano no período de até 6 meses após o término da estação chuvosa, adotando o Tanque Classe A para a estimativa da E_{To} , e determinaram Coeficiente de Tanque (K_p) no valor de 0,75. SANTOS (2004), em estudo sobre a avaliação de métodos de estimativa de E_{To} utilizando lisímetro de pesagem no mesmo local e período, sugeriu a adoção de K_p de 0,81 para o Tanque Classe A, de modo a produzir melhores ajustes com leituras lisimétricas. Estes resultados evidenciam as incertezas inerentes aos coeficientes de tanque mais adequados.

Neste contexto, objetivou-se por este trabalho avaliar o consumo hídrico e os coeficientes de cultura da cenoura, nas diversas fases de desenvolvimento, e, nas condições edafoclimáticas da região do Agreste, utilizando-se lisímetros de drenagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em área experimental da Fazenda Nossa Senhora do Rosário, localizada no município de Pesqueira-PE, durante os meses de outubro/2005 a janeiro/2006. As coordenadas geográficas locais são: 8°10'25" de latitude Sul 35°11'25" de longitude Oeste, e altitude de 615 m. 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 m³ e área superficial de 1,52 m², 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 e plantio nos lisímetros de drenagem.

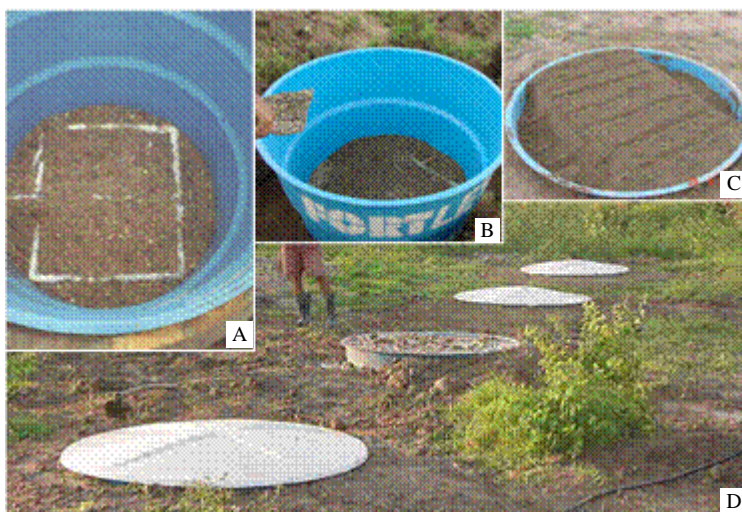


Figura 1. Detalhe da camada de cascalho e do sistema de drenagem (A); preenchimento e reconstituição das camadas de solo (B); solo preparado para o plantio no interior do lisímetro (C); saturação e disposição dos lisímetros na área de plantio (D).

Para a montagem dos equipamentos, foram abertas trincheiras na área experimental, sendo a retirada do solo efetuada em quatro camadas individuais de aproximadamente 20 cm de espessura cada uma. Preencheu-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 global. Entretanto, para a última camada, reservou-se os 10 cm inferiores para a adição de uma camada de brita com a 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. A Tabela 1 apresenta as características físicas e químicas do solo da área experimental e do solo reconstituído nos três lisímetros, e da água de irrigação utilizada.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo, e químicas da água de irrigação presentes no lote experimental da Fazenda Nossa Senhora do Rosário.

Física	
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,61 (1,39)
Densidade de partículas (g cm^{-3})	2,51 (2,54)
Areia (%)	51,95 (53,42)
Silte (%)	27,52 (27,42)
Argila (%)	20,53 (19,16)
Química	
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	0,55
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	0,51
Na^+ ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	1,90
K^+ ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	0,11
CE (dS m^{-1})	3,51
RAS ($\text{mmol}_c \text{L}^{-0.5}$)	8,41
pH	7,82
Água de irrigação	
CE (dS m^{-1})	1,42
pH	7,44
RAS ($\text{mmol}_c \text{L}^{-0.5}$)	10,72

Legenda: valores referentes ao lisímetro estão entre parêntesis

Foi utilizada a cultura da cenoura, variedade Brasília, mais difundida na região. A semeadura foi realizada manualmente em três lisímetros de drenagem, com espaçamento de 20 cm entre linhas. A área vizinha aos lisímetros também foi cultivada com cenoura, sendo a interferência advectiva

minimizada pelo avanço do plantio em cerca de 50 m a barlavento, garantindo uma condição potencial de demanda atmosférica. 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 com base na análise de solo, em duas aplicações, sendo uma em fundação e outra em cobertura, 30 dias após o plantio, nas quantidades segundo a Tabela 2.

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

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

O controle de plantas invasoras no lisímetro foi realizado manualmente, enquanto que na área de bordadura procedeu-se controle mecânico por capinas manuais.

Para o período experimental foram obtidos os elementos meteorológicos precipitação, temperatura, radiação solar, umidade do ar e velocidade do vento a partir de uma estação meteorológica automática. Os dados médios mensais estão representados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias mensais de elementos meteorológicos para o período de experimento, a partir de estação agrometeorológica automática – Campbell Scientific ET 106.

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 ⁻² d ⁻¹)	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 ⁻¹)	1,85	2,05	2,12	1,70

Estimou-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) 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 $t_2 - t_1$, 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 (LIBARDI, 1995):

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

Desdobrando-se esta equação nos termos do balanço hídrico, pode-se escrever:

$$P + I + A_c \pm E_s - D - E_t = \Delta A \quad (2)$$

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 para este dispositivo resumiu-se a:

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

O manejo da irrigação foi realizado em escala diária de modo a contribuir para o regime permanente, sendo a reposição da água procedida de modo a gerar uma drenagem correspondente a cerca de 10-20% da água aplicada para garantir a condição máxima de água disponível no solo (capacidade de campo) O cálculo da água de reposição foi realizado em base volume (L) considerando a área do lisímetro (1,52 m²) e a altura da lâmina (mm), pela diferença entre o irrigado e o drenado. A área cultivada foi irrigada por um sistema de microaspersão.

O potencial matricial 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:

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

em que: ψ_m é o potencial matricial; 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 (K_c) foi então avaliado a partir da relação:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (5)$$

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

A evapotranspiração de referência foi estimada a partir de Tanque Classe A, instalado próximo à área experimental, com coeficientes de tanque segundo BASTOS (2004), SANTIAGO et al. (2004) e BLACKBURN (2002), que usaram 0,75, e SANTOS (2004), que sugeriu o valor de 0,81. Deste modo, os resultados foram abordados e discutidos considerando ambos os valores de K_p e a dispersão em torno desses valores (desvio padrão), com vista à geração de faixas de K_c plausíveis de serem consideradas.

A produtividade no interior do lisímetro e na área vizinha foi avaliada. Nos lisímetros, a produtividade foi calculada obtendo-se o produto do peso médio das raízes colhidas pelo número de plantas presentes na área do canteiro do lisímetro. A produtividade de campo foi estimada por Souza (2007), utilizando amostragem e metodologia geoestatística na avaliação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial mátrico

Na Figura 2 estão apresentados os potenciais mátricos observados durante o período experimental nas profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm. Quando a profundidade aumentou houve diminuição tanto nos valores do potencial matricial como em sua variação. 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.

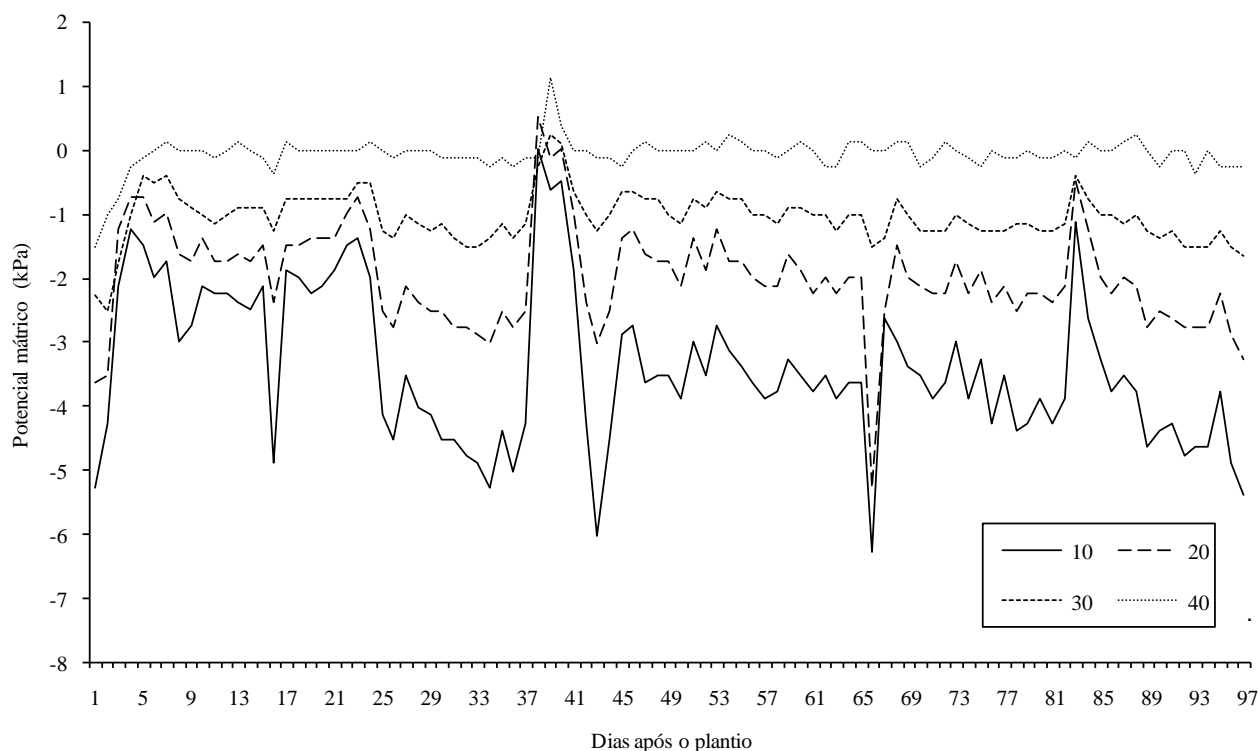


Figura 2. Variação temporal dos potenciais matriciais pré-irrigação, nas profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm.

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 ajuste da curva característica de retenção de água no solo de VAN GENUCHTEN (1980).

Profundidade (cm)	θ_s	θ_r	A	N	m	R ²
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

θ_s – conteúdo volumétrico de água no solo na saturação (estimado segundo VAN LIER & DOURADO NETO, 1993); θ_r – conteúdo volumétrico residual de água no solo (medido); α – parâmetro de ajuste, relacionado com a escala da curva de retenção (kPa⁻¹); n – parâmetro de ajuste, relacionado com a forma da curva de retenção; m - restrição segundo Mualem, com $m = 1 - 1/n$; R² – coeficiente de determinação.

Balanço hídrico

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 a condição de fluxo pôde ser assumida como permanente, devido à irrigação diária e ao agrupamento dos dados em quinquêndios, resultando em amplitude reduzida dos potenciais mátricos ao longo do tempo. Com efeito, verifica-se que os potenciais mátricos das camadas mantiveram-se praticamente constantes durante o experimento, conforme mostrado na Figura 2.

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.

DAP	Intervalo	P (mm)	I (mm)	D (mm)	D (%)*	ETc (mm)	ΔA
1-5	28/10-01/11		45,49 (0,00)	8,17(0,27)	17,96	37,32(0,27)	0,00
6-10	02-06/11		44,50 (0,00)	8,39(0,77)	18,85	36,12(0,77)	0,00
11-15	07-11/11		45,49 (0,00)	6,68(0,57)	14,68	38,81(0,57)	0,00
16-20	12-16/11		46,15 (0,00)	7,88(1,28)	17,07	38,27(1,28)	0,00
21-25	17-21/11		45,27 (0,38)	7,74(2,06)	17,10	37,53(2,44)	0,00
26-30	22-26/11		45,27 (0,38)	7,50(0,49)	16,57	37,77(0,74)	0,00
31-35	27/11-01/12	9,00	46,15 (0,00)	0,44(0,71)	0,79	45,72(0,71)	9,00
36-40	02-06/12	113,00	27,69 (0,00)	74,66(0,61)	53,07	42,03(0,61)	24,00
41-45	07-11/12		27,03 (0,00)	21,38(2,38)	79,08	38,66(2,38)	-33,00
46-50	12-16/12		46,15 (0,00)	5,44(3,54)	11,78	40,72(3,54)	0,00
51-55	17-21/12		46,15 (0,00)	5,56(3,06)	12,05	40,59(3,06)	0,00
56-60	22-26/12		44,83 (0,00)	3,66(3,32)	8,16	41,17(3,32)	0,00
61-65	27-31/12		46,15 (0,00)	1,71(2,08)	3,70	44,44(2,08)	0,00
66-70	01-05/01		45,49 (0,00)	1,89(1,25)	4,16	43,60(1,25)	0,00
71-75	06-10/01		45,49 (0,00)	2,03(2,92)	4,46	43,46(2,92)	0,00
76-80	11-15/01	3,50	47,03 (0,76)	3,75(1,29)	7,42	43,28(1,89)	3,50
81-85	16-20/01		46,15 (1,14)	7,80(1,79)	16,89	41,86(2,54)	-3,50
86-90	21-25/01		48,79 (2,28)	4,04(2,25)	8,27	44,75(4,44)	0,00
91-95	26-30/01		50,55 (3,81)	3,07(2,04)	6,07	47,48(2,64)	0,00
96-98	31/01-02/02		30,33 (2,28)	2,09(1,98)	6,89	28,24(0,96)	0,00
Total	28/10-02/02	125,50	870,20(27,90)	183,86(16,96)	16,25	811,84(11,04)	0,00

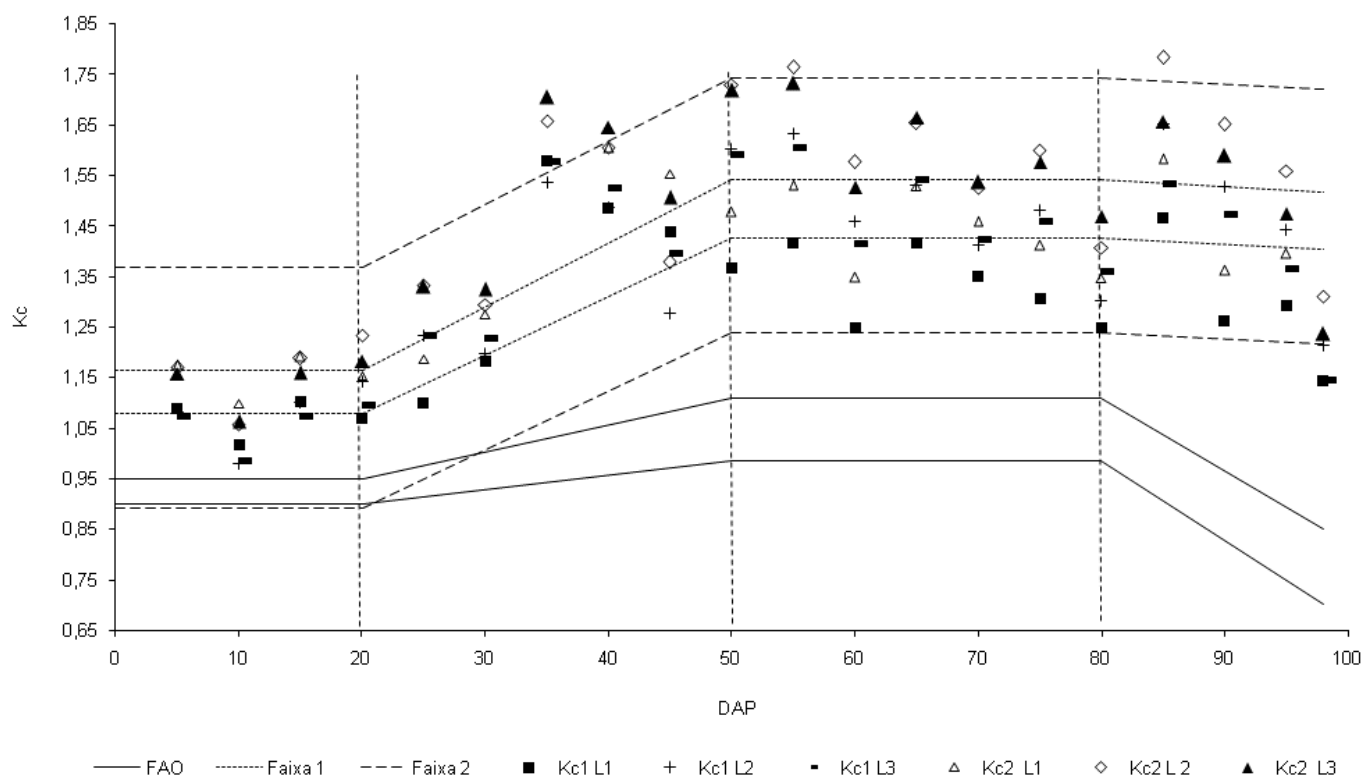
P – precipitação, I – irrigação, D- drenagem, ETc – evapotranspiração de cultura, *relativo à entrada por irrigação e precipitação, ΔA – variação de armazenamento; valores entre parêntesis referem-se ao desvio-padrão.

O consumo hídrico da cultura, em um ciclo de 98 dias, foi de 811,84 ($\pm 11,04$) mm, tendo sido a evapotranspiração de 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) mais 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 pelo conceito de capacidade de campo. 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.

Coeficiente de cultura

Na Figura 3 está apresentada a variação do K_c em escala quinquenal, considerando coeficientes de tanque de 0,81 e 0,75, e a dispersão de ± 1 desvio-padrão. As faixas geradas estiveram sempre acima daquelas produzidas com dados da FAO, com exceção na fase inicial, considerando as faixas com incorporação dos desvios-padrão (faixa 2), em que houve superposição. Os coeficientes de cultura apresentaram tendência de permanência de altos valores ao final deste experimento. 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 k_c da FAO; Banda 1: Faixas superior e inferior de K_c , englobando (K_p 0,75 e K_p de 0,81); Faixa 2: bandas superior e inferior de K_c , englobando (K_p 0,75 + 1 DP) e (K_p de 0,81 - 1 DP); K_c L_i: ($i = K_{p1}$ 0,81; $K_{p2} = 0,75$) e ($j = \text{lisímetro 1; lisímetro 2; lisímetro 3}$).

Figura 3. Valores de coeficiente de cultura (K_c) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da cenoura obtidos no presente estudo e sugeridos pela FAO, em função de dois valores de coeficiente de tanque (K_p).

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios 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 médios de coeficiente de cultura da cenoura nos diversos estádios de desenvolvimento obtidos no presente estudo e relatados na literatura.

Estádios de desenvolvimento	Obtidos	Aragão Júnior & Castro. (1983)	Carvalho (1994)	Moura et al (1994)	Giacóia Neto (1996)	Lunardi & Laperuta Filho (1999)	Oliveira et al. (2003)	Doorenbos & Pruitt (1977)
Inicial	1,08 (1,16)		1,03	0,54	0,48	0,57	1,15	0,90 – 0,95
Crescimento	1,41 (1,52)	0,77	0,80	0,97	0,77	0,79	1,12	0,97 – 1,07
Intermediário	1,43 (1,55)	0,99	1,16	1,52	1,47	1,47	1,12	1,00 – 1,15
Final	1,40 (1,52)	0,86	1,61	0,93	1,56	1,14	1,10	0,70 – 0,85

Valores entre parêntesis se referem aos K_c 's adotando K_p de 0,75.

Na fase inicial, o valor de K_c foi equiparável aos encontrados por OLIVEIRA et al. (2003) e CARVALHO (1994), com valor entre 1,08-1,16, porém muito discrepante ao encontrado por GIACÓIA NETO (1996) e LUNARDI & LAPERUTA FILHO (1999). A partir da fase fenológica de crescimento até a fase final, os valores de K_c se elevaram e mantiveram uma persistência 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 K_c para as distintas fases fenológicas de diversas variedades. A FAO propõe para as referidas fases fenológicas as faixas de K_c '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 ET_c quanto a ET_o , contribuem para a incerteza dos resultados. ARAGÃO JÚNIOR & CASTRO (1983) e MOURA et al. (1994) utilizaram o balanço hídrico no solo para avaliar a ET_c , mas aplicaram os métodos do Tanque Classe A e de Penman-1956, respectivamente, na avaliação da ET_o .

GIACOIA NETO (1996) e LUNARDI & LAPERUTA FILHO (1999) estimaram a ETo com os respectivos métodos do Tanque Classe A e de Penman-Monteith, ambos adotando lisímetros de lençol freático constante para a ETc.

Poucas informações existem oriundas de regiões climáticas semelhantes à avaliada nesse estudo, 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 nessa pesquisa, reiteram o supracitado e corroboram as recomendações da FAO quanto à realização de experimentos localizados para a determinação deste parâmetro.

Produtividade

A produtividade média estimada para um hectare com base na produção no interior dos lisímetros foi de 27,97 ($\pm 10,45$) t ha⁻¹, enquanto que na área de bordadura foi da ordem de 36,30 t ha⁻¹. Tal diferença pode estar relacionada à maior profundidade do solo do campo, permitindo drenagem mais efetiva, aos altos potenciais matriciais no lisímetro, e ao fato destes terem sido preenchidos com solo de estrutura deformada, bem como ao manejo de dotação hídrica diferenciado. Os valores de produtividade estão apresentados na Tabela 7.

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

Lisímetro	Comprimento (cm)	Diâmetro (mm)	Produtividade (t ha ⁻¹)
1	14,5	36,1	22,68
2	15,2	40,2	38,03
3	14,7	34,7	23,21
Média	14,8	37,0	27,97
Desvio padrão	2,96	5,58	10,45
Coeficiente de variação	20,03%	15,09%	31,11%

FREITAS et al. (2004) obtiveram 27,91 t ha⁻¹ nas condições de Mossoró-RN. ARAÚJO et al. (2004) em experimento utilizando a cultivar “Brasília”, conseguiram produtividades médias entre 19,06 t ha⁻¹ e 23,90 t ha⁻¹. Segundo MAROUELLI et al. (2007), a produtividade média nacional é de 29 t ha⁻¹, podendo-se entretanto, atingir índices entre 50 e 60 t ha⁻¹ em cultivos mais

tecnificados. RESENDE & CORDEIRO (2007) obtiveram valores entre 33,10 t ha⁻¹ e 82,30 t ha⁻¹ no Vale do São Francisco (Petrolina-PE).

CONCLUSÕES

1. O consumo hídrico para um ciclo de 98 dias após o plantio, para o período compreendido entre outubro e janeiro, foi de 811,84 mm, com coeficientes de cultura médios de 1,35 e 1,46, para coeficientes de tanque de 0,81 e 0,75, respectivamente, em condições de pleno desenvolvimento.
2. A faixa de coeficientes de cultura obtidos para a cenoura considerando valores de K_p 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, respectivamente.
3. Em todas as fases de desenvolvimento, a faixa de coeficiente de cultura encontrada foi superior a recomendada pela FAO, exceto para a fase inicial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO JÚNIOR, T.C.; CASTRO, P.T. Utilização do balanço hídrico na determinação do coeficiente de cultura (kc) da cenoura (*Daucus carota*, L). **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.14, n.1/2, p.115-121, dez., 1983.

ASSIS, F.N.; VERONA, L.A.F. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.26, n.5, p.665-670, 1991.

AZEVEDO, B.M. et al.. Estimativa do consumo de água da cultura do milho (*zea mays* L.) utilizando lisímetros de drenagem no Estado do Ceará. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.7, 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**, Maringá, v.26, n.2, p.131-138, 2004.

BASTOS, D.C.O. **Manejo da salinidade em irrigação localizada**: análise da alternativa de lixiviação incompleta. 2004. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BLACKBURN, D.M. **Efeito da drenagem subterrânea no balanço hidrossalino de um neossolo flúvico irrigado em Pesqueira- PE**. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

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**, Brasília-DF, v.23, n.2, 2005. Suplemento. 1 CD-ROM.

CARVALHO, J.A. **Coeficiente de cultura, avaliação econômica da produção e análise do crescimento da cenoura (*Daucus carota* L.) irrigada**. 1994. 78 f. Tese (Doutorado em engenharia agrícola - Irrigação e drenagem) - Universidade Federal Rural de Viçosa, Viçosa, MG.

CONDEPE-FIDEM: **Produção física das principais culturas agrícolas de Pernambuco**. Recife 2005/2006. Disponível em: <<http://www.condepefidem.pe.gov.br/pib/indicadores.asp>> Acesso em 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**. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org>> Acesso em: 10 nov. 2006.

FREITAS, K.K.C. et al.. Uso de efluente e água de rio no desempenho agroeconômico de cenoura, alface e coentro em associação. **Caatinga**, Mossoró, v.17, n.2, p.98-104, 2004.

GIACÓIA NETO, J. **Efeito da profundidade do lençol freático na evapotranspiração e na produtividade da cultura de cenoura (*Daucus carota* L.)**. 1996. 56 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola – irrigação e drenagem) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

IRMARK, 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**, New York, v.128, p.153-159, 2002.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: 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**, Santa Maria, v.7, n.1, p.13-17, 1999.

MALDONADO, I. et al.. Irrigation scheduling in the sugar beet by pan evaporation and the Penman-Monteith equation. **Ciencia e Investigation 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**, Botucatu, 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**, Fortaleza, v.35, n.1, p.36-43, 2004.

MOURA, M.T.V. et al.. 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**, Piracicaba, v.51, n.2, p.284-291, 1994.

OLIVEIRA, R.A. et al.. Coeficientes de cultura da cenoura nas condições edafoclimáticas do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.280-284, 2003.

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**, Mossoró, 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**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.632-643, 2004.

SANTOS, F.X. **Lisímetro de pesagem hidráulica e evapotranspiração de referência por diferentes métodos no agreste pernambucano**. 2004. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SELLES, G.; FERREYRA, R. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. p.15-53. In: INIA (Ed). **Manejo del Riego y Suelo en Vides para Vino y Mesa**. Santiago, 2005.

SENTELHAS, P.C.; FOLEGATTI, M.V. Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.111-115, 2003.

SOUZA, E.R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um neossolo flúvico cultivado com cenoura irrigada com água moderadamente salina**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VAN-LIER, J.Q.; DOURADO NETO, D. Valores extremos de umidade do solo referentes ao modelo de van genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.325-329, 1993.

CAPÍTULO 2

Produtividade e eficiência de uso de água da cenoura submetida a diferentes lâminas e freqüências de irrigação com água moderadamente salina

Resumo: Avaliou-se o efeito combinado de lâminas e freqüências de irrigação com água moderadamente salina sobre a produtividade e variáveis biométricas da cultura da cenoura. O manejo da irrigação foi baseado em lisímetro de pesagem construído com célula de carga hidráulica. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com esquema em parcelas subdivididas com 3 repetições, seguindo a aplicação de freqüências de irrigação de 1 e 2 dias, e lâminas de irrigação equivalentes a 70, 80, 90, 100, 115 e 125% da evapotranspiração de cultura (ETc) medida no lisímetro.. As produtividades não foram afetadas pela freqüência de irrigação. A máxima eficiência física da produção foi estimada a 108% da ETc. A lâmina de 90% da ETc proporcionou a maior eficiência de uso de água.

Palavras-chave: lisímetro de pesagem hidráulica, evapotranspiração, manejo de irrigação.

Abstract: It was evaluated the combined effect of irrigation depth and frequencies using moderately saline water on productivity and biometric variables for the carrot crop. The irrigation management was based on hydraulic weighing lysimeter, with the experiment designed in random blocks with subdivided plots and four replications, following the implementation of 1 and 2 days irrigation frequencies, and irrigation depths equivalent to 70, 80, 90, 100, 115 and 125% of the crop evapotranspiration (ETc) measured on the lysimeter. The lysimeter presented linear responses and negligible hysteresis. Productivities were not affected by the irrigation frequency. The maximum physical production efficiency was estimated at 108% of ETc. The depth irrigation of 90% of the ETc provided the highest water use efficiency.

Key words: hydraulic weighing lysimeter, evapotranspiration, irrigation management.

INTRODUÇÃO

A cenoura é uma das hortaliças tradicionais mais consumidas no Brasil (VIEIRA et al., 2005), com consumo *per capita* de 5,8 kg ano⁻¹ (MARANHÃO, 2003), constituindo-se em uma das principais hortaliças de raiz quanto ao valor econômico (OLIVEIRA et al., 2005) e emprego de mão-de-obra (FILGUEIRA, 2002). É cultivada em todo território nacional, com destaque para as regiões Sudeste (MG e SP), Sul (PR) e Nordeste (BA) (OLIVEIRA et al., 2005).

O cultivo desta olerícola abrange cerca de 28 mil hectares ano⁻¹, perfazendo um volume de produção anual de 800 mil toneladas de raízes. No período de 1980/1990 as taxas de crescimento anual da cultura no Brasil, em termos de produção, área plantada e produtividade foram de 7,8%, 2,36% e 5,31%, respectivamente. Para o período de 1990/2000 a taxa de crescimento anual da produção da cultura foi de 8,12%, atribuída basicamente à taxa de expansão anual da área plantada (7,95%). (FONTES & VILELA, 2003). Em 2001, o valor total da produção de cenoura no Brasil foi de 143 milhões de dólares, equivalente a 5% do valor total da produção de hortaliças (VIEIRA et al., 2005).

Como praticamente todas as hortaliças, a cenoura tem desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo, sendo o déficit hídrico fator limitante para a obtenção de produções elevadas (TEODORO et al., 2002). Desse modo, a suplementação das necessidades de água para a cultura da cenoura através da irrigação é essencial para o sucesso da produção. Entretanto, a produtividade e a qualidade da cenoura podem também ser prejudicadas dependendo de como a água é aplicada (TEODORO et al., 2002). Para que o manejo da irrigação se proceda dentro de um critério racional, é necessário um controle diário do teor de água do solo e/ou da evapotranspiração, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura (CARVALHO et al., 1995; CALBO & SILVA, 2005; MAROUELLI et al., 2007).

Segundo MAROUELLI et al. (2007), a produtividade média nacional é de 29 t ha^{-1} , podendo-se entretanto, atingir índices entre 50 e 60 t ha^{-1} em cultivos mais tecnificados. Vários trabalhos indicam que o controle rigoroso na aplicação de água constitui fator de aumento na produtividade e melhoria na qualidade dos produtos (CAIXETA & MIZABUTI, 1988; SEGOVIA et al., 2005).

O uso da irrigação, a quantidade de água a aplicar e quando aplicar, inserem-se em uma decisão a ser tomada com base no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera. No cenário atual, tais decisões devem priorizar a economia de água, gerenciamento em situações de escassez, controle da salinização e incremento de produtividade (MONTENEGRO et al., 2004; LOPES et al., 2004; QADIR et al., 2007), bem como a eficiência de produção (DENG et al., 2006; JALOTA et al., 2006). É necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a ela fornecidas, a determinação das fases de seu desenvolvimento de maior consumo de água e os períodos críticos, quando a falta ou o excesso provocariam quedas de produção (BERNARDO, 2002).

MEDEIROS et al. (1991) relatam que a relação entre o rendimento relativo e a evapotranspiração relativa (razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima) é bastante utilizada em modelos de causa e efeito, entre disponibilidades energéticas e hídricas e o rendimento, e no planejamento das culturas irrigadas. DOORENBOS & KASSAM (1979) recomendam estudos regionalizados sobre a relação entre queda de rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração relativa, com teste dos fatores de resposta da produção ao déficit hídrico, já que as condições de produção durante o ciclo da cultura são específicas do local e da variedade utilizada. Segundo os mesmos autores, há uma preocupação em compilar trabalhos técnicos realizados no mundo sobre as necessidades hídricas das culturas e as relações entre produção e déficit hídrico. Estudos desta natureza são úteis no planejamento e operação de áreas irrigadas, pois permitem quantificar a água de irrigação e sua utilização, em termos de rendimento e produção total da cultura para a área irrigada.

Experimentos com restrição hídrica em apenas parte do ciclo das culturas são importantes para identificação de fases de maior sensibilidade, sendo também utilizados na calibração de modelos de previsão de safras, de

zoneamento de riscos climáticos para as culturas e análise de custos de projetos agrícolas (MARQUES & FRIZZONE, 2005; HERNADEZ et al., 2003; ESPOSTI et al., 2002; SANS et al., 2001). São aplicados em grandes culturas, como cafeeiro (ARRUDA & GRANDE, 2003; MARIN et al., 2006), estendendo-se às hortaliças (BEZERRA et al., 1999; CARVALHO et al., 2004). Para o semi-árido, pesquisas desta natureza ganham mais notoriedade, dada à condição deficitária de disponibilidade de recursos hídricos e à necessidade do uso racional da irrigação na produção agrícola. No caso particular do semi-árido pernambucano, mais especificamente os aluviões com agricultura familiar irrigada com águas subterrâneas, é possível explorar períodos de até 6 meses para o cultivo de hortaliças, divididos em dois ciclos de cultivo, sendo este último o que sofre maior grau de restrição hídrica devido a redução do nível dos poços e aumento da salinidade da água dos mesmos. Por outro lado, este segundo ciclo possibilita o aproveitamento do início do período chuvoso, a qual exerce efeito de recarga do aquífero e de lavagem de sais do perfil.

O conhecimento potencial do consumo de água das culturas pode possibilitar o uso da relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração máxima para estabelecer curvas de resposta (DOORENBOS & KASSAM, 1979; CARVALHO et al., 2000), fornecendo subsídios para a irrigação, zoneamento agro-climático, planejamento racional da cultura irrigada, para a previsão de rendimentos, e avaliar a viabilidade econômica, ou seja, se para uma condição em que se deseja uma relação maior, avaliar se o incremento de rendimento supera o investimento para alcançá-lo (MEDEIROS et al., 1991). Para tanto, é necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a ela fornecidas, as etapas de seu desenvolvimento de maior consumo de água e os períodos críticos, quando a falta ou excesso redundaria em quedas de produção (BERNARDO, 2002).

Considerando a necessidade de mais informações sobre a produção da cultura da cenoura sob irrigação, e ainda, dada a importância do manejo hídrico sobre a produção desta cultura, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de lâminas deficitárias e excedentes, associadas a diferentes intervalos de reposição, sobre o rendimento da cultura da cenoura, em condições de semi-árido.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área experimental

O referido experimento foi conduzido na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, em Pesqueira, zona de Semi-Árido de Pernambuco, e inserida na bacia do Rio Ipanema. As coordenadas geográficas da área de estudo estão a 8°10'25" de latitude Sul 35°11'25" de longitude Oeste, e a 615 m de altitude. O solo local foi classificado como Neossolo Flúvico, com textura predominantemente siltosa (RIBEIRO & CORREA, 2001).

Na Tabela 1 estão apresentadas as características físicas da área, considerando as regiões com mais silte (região 1) e areia (região 2), obtidas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Agronomia da UFRPE, utilizando-se amostras deformadas.

Tabela 1. Atributos físicos do solo do lisímetro e da área experimental em suas regiões 1 (arenosa) e 2 (siltosa) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

Atributo	Região 1		Região 2		Lisímetro de pesagem	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Areia (%)	53,5	52,16	33,49	34,54	47,52	44,80
Silte (%)	34,0	39,12	51,56	49,20	33,64	34,00
Argila (%)	12,5	8,7	14,95	16,26	18,84	21,20
Classe textural	Franco	Franco	Franco siltoso	Franco	Franco	Franco
Ds (g cm ⁻³)	1,62	1,51	1,61		1,44	1,43
Dp (g cm ⁻³)	2,51	2,56	2,56		2,48	2,63

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas.

Preparo do solo e delineamento experimental

O preparo do solo consistiu em operação de aração e gradagem mecanizada e levantamento manual de canteiros, nas dimensões aproximadas de 9 x 1 x 0,20 m de comprimento, largura e altura, respectivamente.

O experimento foi delineado em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas foram constituídas de duas freqüências de irrigação: diária (F1) e em dias alternados (F2), enquanto que

as sub-parcelas foram compostas de 6 lâminas de irrigação: 70, 80, 90, 100, 115 e 125% da ET_c medida em lisímetro de pesagem hidráulica. Como se verifica, a amplitude das lâminas variou desde condições hidricamente estressantes à adoção de lâminas de lixiviação, estas últimas, também empregadas em trabalhos com olerícolas na região, desenvolvidos por BASTOS (2004) e SOUZA (2007) em cenoura, e por SANTIAGO et al. (2004) em repolho. Foram utilizados 3 blocos, totalizando 6 parcelas e 36 sub-parcelas. As dimensões foram: área experimental de 54 x 36 m; bloco de 18 x 36 m; parcela de 9 m x 36 m; sub-parcela total de 6 x 3 m; e sub-parcela útil de 6 x 1 m (equivalente a 1 canteiro) (Figura 1).

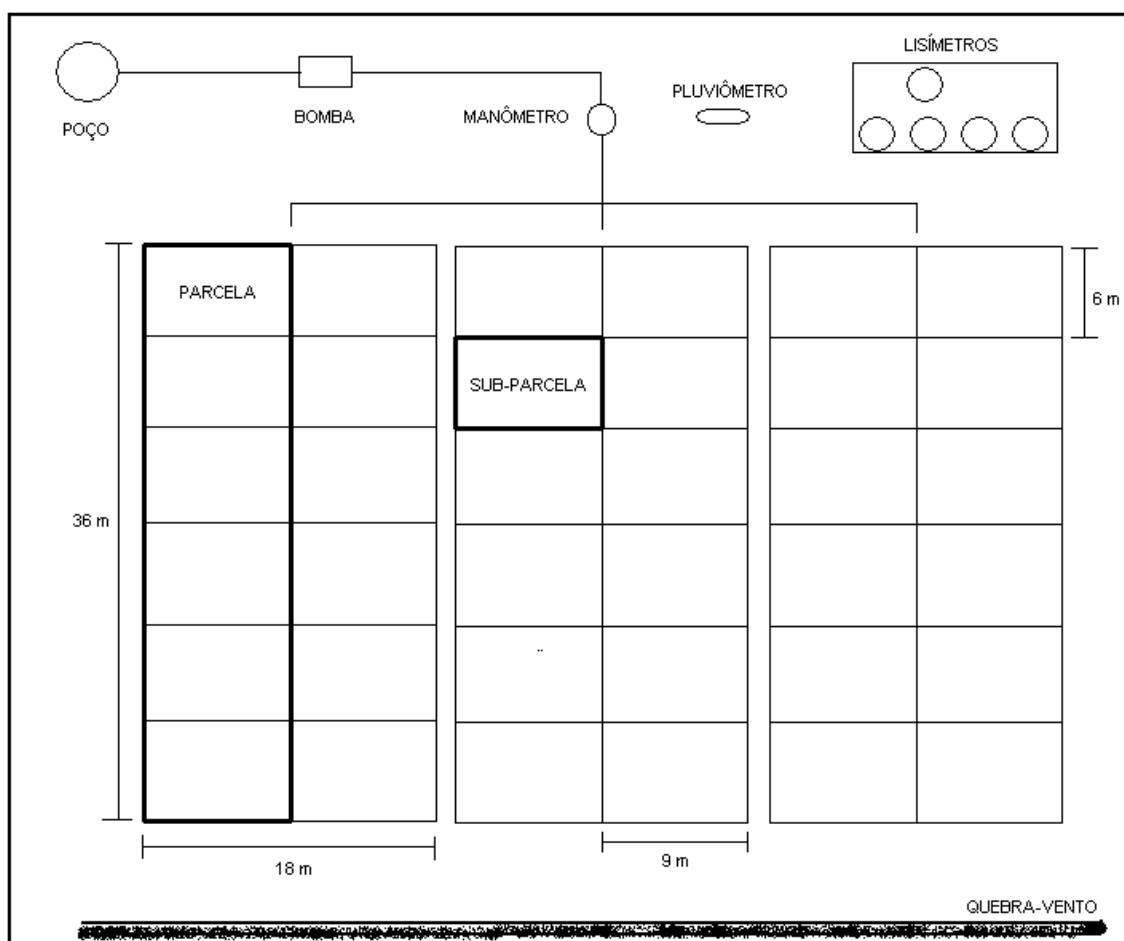


Figura 1. Desenho esquemático da configuração da área experimental, destacando os blocos, parcelas e sub-parcelas.

Irrigação

Após o preparo de solo, foi instalado e avaliado um sistema de irrigação. O conjunto foi do tipo microaspersão, dotado dos seguintes componentes hidráulicos: tubulação de sucção de 75 mm, eletrobomba, tubulação de recalque de 50 mm, unidade de filtragem por tela, cabeçal de controle dotado de manômetros e registros de derivação, linhas de derivação (50 mm) e de distribuição. O microaspersor utilizado no sistema foi da marca Carborundum, modelo MF, com bocal verde de 1,0 mm, bailarina cinza e raio de alcance de 3,1 m, vazão de 43 L h⁻¹ à pressão de serviço de 150 kPa, sem autocompensação. A ligação do emissor à linha de distribuição foi realizada por meio de um microtubo flexível de 4 mm de diâmetro e 0,60 m de comprimento e por um conector de pressão. Adotou-se o espaçamento quadrado de 3 m x 3 m para os emissores, de modo a permitir o enquadramento de sub-parcela total nas dimensões de 6 x 3 m, e sub-parcela útil de 6 x 1 m.

Entre os vários critérios de avaliação existentes, PIZARRO (1996) defende a utilização de critérios mais exigentes em avaliações de sistemas de irrigação, recomendando a utilização do coeficiente de Criddle, expresso como:

$$EPC = 100 \frac{q_{25}}{\bar{q}} \quad (1)$$

em que:

EPC – eficiência padrão de Criddle (%);

*q*₂₅ – média das 25% menores vazões coletadas;

\bar{q} – vazão média coletada

O coeficiente de variação de fabricação (*CV_f*) pode ser expresso segundo a equação abaixo:

$$CV_f = 100 \frac{\sqrt{(q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_n^2 - nq_m^2)/(n-1)}}{q_m} \quad (2)$$

em que:

CVf – coeficiente de variação de fabricação (%);

q_1, q_2, \dots, q_n – vazão de cada emissor em $L h^{-1}$;

q_m – vazão média dos emissores em $L h^{-1}$;

n – número de emissores amostrados.

Na avaliação da uniformidade de distribuição da precipitação foi utilizado o coeficiente de uniformidade de Christiansen:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right) \quad (3)$$

em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

n – número de observações;

x_i – lâmina coletada na i -ésima observação (mm);

\bar{x} - lâmina média coletada (mm).

No Método da American Society of Agricultural Engineers (ASAE), a uniformidade de irrigação é baseada em coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) dos setores da unidade operacional, a partir de:

$$CUE = 100 - CVf \quad (4)$$

Com os valores de pressão medidas, calculou-se o coeficiente de variação por causas hidráulicas (CVH), dado por:

$$CVH = \frac{Sp}{Pm} \quad (5)$$

em que:

Sp - desvio-padrão da pressão de serviço (kPa);

p_m – pressão de serviço média (kPa).

A água utilizada na irrigação da área experimental foi captada de poço amazonas, sendo classificada como moderadamente salina. Dada a variação sazonal da qualidade da água utilizada, procedeu-se o monitoramento mediante coletas periódicas para avaliar a variação da salinidade durante o ciclo da cultura. Na Tabela 2 está apresentada a análise química do extrato de saturação do solo e da água de irrigação.

Tabela 2. Análise química do extrato de saturação do solo e da água de irrigação.

Extrato de saturação	
Ca ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,60
Mg ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,57
Na ⁺ (cmol _c L ⁻¹)	1,99
K ⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,11
CE (dS m ⁻¹)	3,24
pH	7,97
Água de irrigação	
CE (dS m ⁻¹)	1,13
pH	7,39
RAS (mmol _c L ^{-0.5})	8,99

As lâminas de irrigação dos tratamentos foram calculadas a partir da ET_c obtida no lisímetro de pesagem hidráulica pela detecção de diferenças de massas de água adicionadas e perdidas no balanço hídrico. No cálculo do tempo de aplicação das lâminas, considerou-se os resultados de teste do sistema de irrigação, particularmente quanto à intensidade de precipitação, expresso como:

$$T_i = \frac{L_i}{I} \quad (6)$$

em que:

T_i – tempo necessário à aplicação da lâmina do tratamento i ;

L_i – lâmina de irrigação do i ésimo tratamento, obtida a partir da ET_c no lisímetro de pesagem;

I – intensidade de precipitação do sistema de irrigação por microaspersão.

A operação do sistema compreendeu a utilização de registros em cada uma das linhas, as quais, dentro de cada tratamento, permaneciam abertas conforme o tempo de irrigação calculado. A intensidade de precipitação foi mantida mediante o controle da pressão de serviço do sistema, efetuada por manômetro, a qual foi mantida a 150 kPa.

Lisímetro de pesagem hidráulica

O lisímetro utilizado no manejo da irrigação foi do tipo pesagem hidráulica, com capacidade volumétrica de 1 m³ e área superficial de 1,52 m², construído a partir de caixa de água em fibra de vidro, em formato de cone, e com as seguintes medidas: diâmetros superior e inferior de 1,39 e 1,10 m, respectivamente, e profundidade de 0,80 m.

A instalação do lisímetro em campo compreendeu a escavação de trincheira, com retiradas seqüenciais de camadas de solo com 20 cm de espessura aproximadamente. Na trincheira foi construída uma estrutura de contenção em alvenaria e concreto, na qual foi apoiado sobre o piso nivelado o sistema de pesagem, e sobre este a caixa. O preenchimento do solo na caixa foi realizado na ordem inversa à escavação, com adições de solo de maneira a aproximar a densidade global original. Reservou-se os 10 cm inferiores da caixa, para aplicação de uma camada de brita e a instalação de um sistema de drenagem, formado por tubos em PVC de 25 mm de diâmetro, perfurados radialmente, e revestidos com Bidim[®]. A tubulação de drenagem foi ligada à parede lateral da caixa e desta a uma canalização que se estendia até ao abrigo, por intermédio de um adaptador flange acoplado à parede. Os volumes drenados eram medidos em recipientes graduados. Conjugada à estrutura de contenção, foi instalado um acesso subterrâneo, ao sistema de pesagem. Na Figura 2 estão apresentadas as etapas envolvidas na montagem do lisímetro de pesagem empregado no manejo de irrigação.

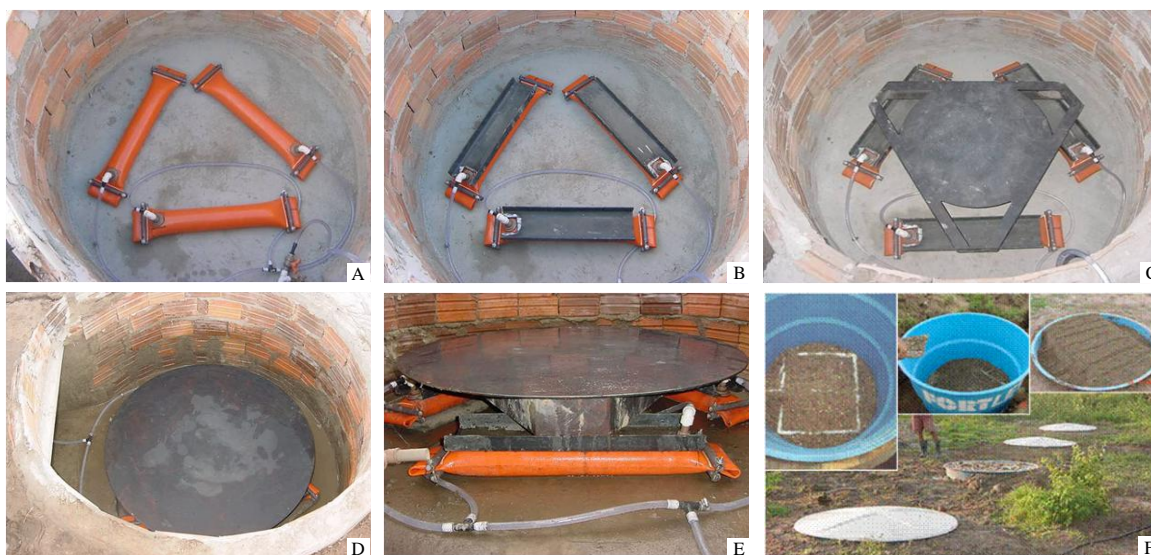


Figura 2. A - Células de carga hidráulica, confeccionadas em butil; B - Perfis em “U” para contato com as células; C - Base triangular de apoio para distribuição de esforços; D - Chapa circular de apoio para a base da caixa lisimétrica; E - Sistema de pesagem montado; F - Disposição de lisímetros em campo.

Teste simulando condições de distribuição assimétrica de cargas foi realizado, seguindo os procedimentos apresentados por SILVA (2005) e OLIVEIRA (2007). Para tanto, dividiu-se a área superficial do lisímetro em 6 pontos, além do ponto central, conforme a Figura 3, nos quais procedeu-se calibrações.

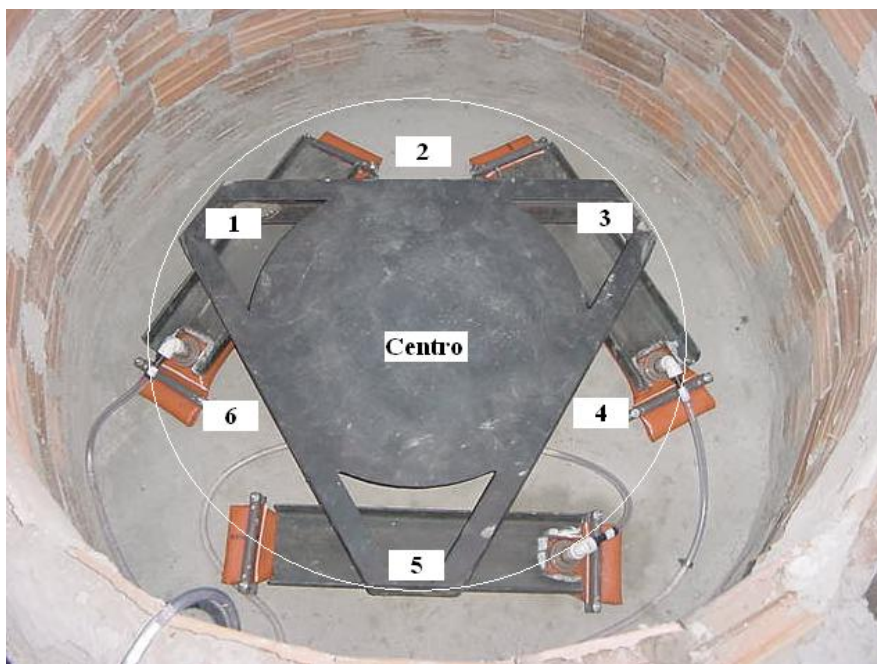


Figura 3. Ensaio de calibração com simulação de condições assimétricas de distribuição de cargas.

A evapotranspiração de cultura determinada pelo lisímetro foi calculada pela seguinte equação:

$$ET_c = \left(\frac{\Delta L}{f} \right) - (P - D) \quad (7)$$

em que:

ET_c = evapotranspiração de cultura, em mm;

ΔL = variação de leitura, em mm;

f = coeficiente de calibração [leitura (mm) / lâmina (mm)];

P = lâmina precipitada, em mm;

D = lâmina drenada, em mm.

Condução do experimento

Utilizou-se a cultivar de cenoura 'Brasília', com semeadura em local definitivo, realizada manualmente. A adubação de fundação foi realizada com esterco de curral e adubo mineral N-P-K utilizando como fontes respectivas uréia, cloreto de potássio e fosfato mono amônio, nas doses de 40 kg ha^{-1} de

N, 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, segundo à análise de solo e recomendações para cultura (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1998). O plantio ocorreu em 12/12/2006, em sulcos transversais ao canteiro, eqüidistantes entre si de 20 cm. Até ao trigésimo dia após o plantio (DAP), o manejo de irrigação foi o mesmo para toda a área, com reposição igual a ETc do lisímetro e freqüência diária, com vistas à formação de stand e estabelecimento da cultura.

Aduobou-se em cobertura aos 30 dias após o plantio (DAP). O desbaste foi procedido aos 29 DAP, de modo a estabelecer uma distância entre plantas de aproximadamente 10 cm, constituindo um espaçamento de 20 x 10 cm. Capinas periódicas foram procedidas mecanicamente, visando controlar ervas invasoras. A colheita foi realizada ao centésimo dia após o plantio

Eficiência de uso da água

A Eficiência do uso de água é um parâmetro de avaliação que relaciona a quantidade de água necessária para produzir uma unidade de matéria vegetal, podendo ser expressa pela seguinte relação (COSTA et al., 2004):

$$EUA = \frac{Y}{L} \quad (8)$$

em que:

EUA - eficiência de uso da água (kg ha⁻¹ mm⁻¹);

Y - produtividade da cultura (kg ha⁻¹);

L - lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura (mm).

Salinidade

As diferentes lâminas de irrigação podem imprimir uma diferenciação quanto à dinâmica de salinidade nos diferentes tratamentos, dado ao uso de água moderadamente salina (0,7 < CE_e < 3,0 dS m⁻¹). Por essa razão, avaliou-se a salinidade do solo em dois instantes, visando analisar a sua possível interferência sobre os efeitos nos tratamentos aplicados. Utilizou-se

amostragem de solo em cada sub-parcela, com coletas no centro, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) em laboratório. O monitoramento ocorreu em 2 eventos durante o ciclo experimental, segundo a seguinte ordem cronológica: Dezembro (06/12/2006 - pré-plantio), e Fevereiro (24/02/2007 - 74 DAP).

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, com vistas a checar as premissas necessárias à análise de variância. Utilizou-se o programa estatístico SISVAR - versão 4.3 (Build 45) - Universidade Federal de Lavras. A significância das variáveis foi avaliada com o teste F. As variáveis com efeitos significativos pelo teste F foram submetidas à análise de regressão, visando ajustar modelos de descrição biológica. Testou-se os modelos linear e polinomial. Os modelos foram selecionados com base na significância dos coeficientes de regressão pelo teste F a 5%, e no maior valor do coeficiente de determinação (JADOSKI et al., 2003; VIANA et al., 2004).

As condições de salinidade foram comparadas considerando dependência entre os cenários inicial (pré-plantio) e final (74 DAP). Esta dependência se deve ao fato de que a medida de uma mesma variável, realizada no mesmo ponto, mas em instantes diferentes, apresentam estrutura de conexão espacial. Aplicou-se o teste t para amostras emparelhadas, assumindo que a amostra foi extraída aleatoriamente da população das diferenças. A hipótese de nulidade foi a de que não existia significância na diferença entre os dois cenários, ao nível de probabilidade de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração e testes lisimétricos e avaliação do sistema de irrigação

Na Figura 4 estão apresentados os resultados do teste de volume ideal de fluido nas células de carga hidráulica. As retiradas sucessivas de alíquotas

de volume produziram leituras com variações decrescentes, ajustadas a uma função exponencial, com coeficiente de determinação de 0,93. O volume total extraído, para um volume inicial de aproximadamente 17000 cm³, foi de 4950 cm³. Considerou-se como volume de fluido ideal nas células e carga hidráulica àquele cuja variação de leitura, em uma escala de 3 algarismos significativos se repetiu por 4 vezes após o início do teste. Para as condições de projeto, o teste revelou um volume de fluido remanecente de 12000 cm³. A operação do lisímetro com este nível de volume produziu variações insignificantes da área de contato entre a célula de carga hidráulica e o perfil “U”, o que permite a geração de leituras linearmente relacionadas aos fluxos de entrada e de saída no balanço hídrico.

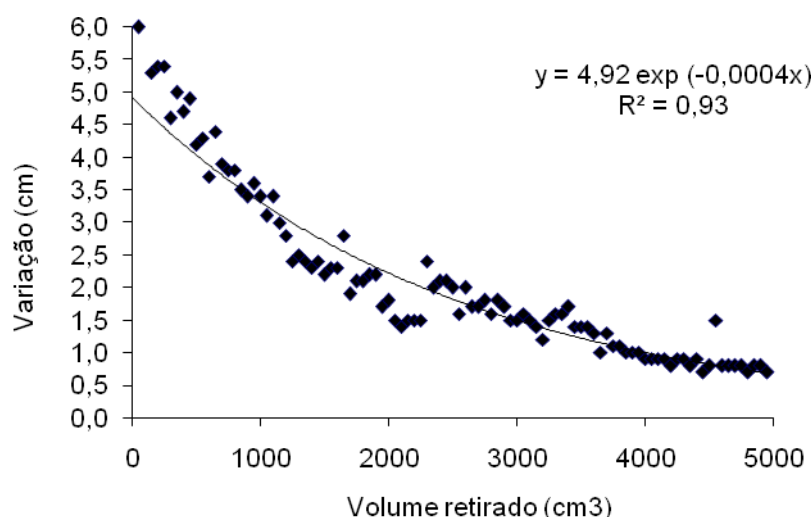


Figura 4. Avaliação do volume ideal de fluidos nas células de carga hidráulica.

A simulação de condições assimétricas de variação de carregamento e distribuição de carga produziu uma amplitude de coeficiente de calibração entre 2,381 e 2,715, com erro médio posicional de 2,25%. Tal resultado é considerado admissível conforme BLACK et al. (1968) citado por SANTOS (2004), que recomenda o máximo de 10%, e é equiparável aos encontrados por OLIVEIRA (2007), FREITAS (1994), COSTA (1999), SILVA (2000) e SANTOS (2004), com valores respectivos de 2,31%, 4,00%; 3,55%; 2,11% e 3,93%. Os resultados da simulação estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Avaliação do coeficiente de calibração sob condições simuladas de distribuição assimétrica de carga.

Pontos de carregamento	Coeficiente de calibração (mm dm ⁻³)
1	2,69
2	2,50
3	2,72
4	2,38
5	2,60
6	2,59
Média	2,58
Central	2,64
Erro médio posicional (%)	2,25

A Figura 5 apresenta os resultados de calibração considerando variações de carregamento e leituras manométricas, obtidas em condição de campo após a instalação. As respostas foram lineares tanto para incrementos quanto para decrementos de volumes equivalentes (1,516 L = 1 mm), com coeficientes de determinação iguais a 0,999. Os valores de inclinação muito próximos indicam forte grau de paralelismo entre as retas e reduzida histerese.

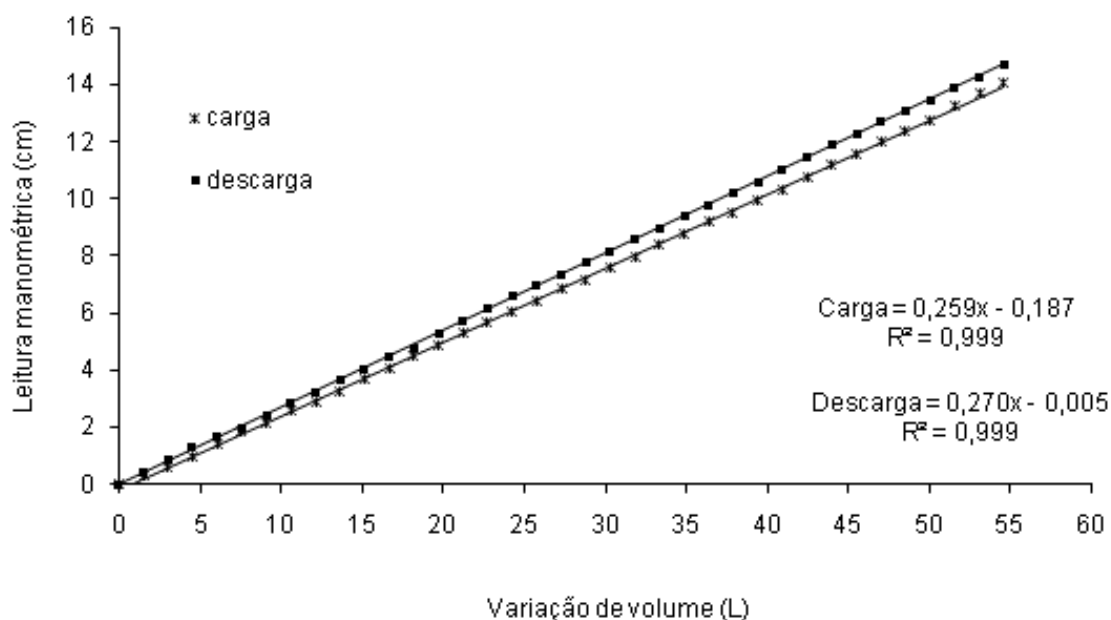


Figura 5. Calibração do lisímetro de pesagem hidráulica com adição de volumes equivalentes a 1 mm de lâmina.

Os resultados da avaliação do sistema de irrigação por microaspersão estão apresentados na Tabela 4. As vazões médias encontradas nas unidades operacionais 1 e 2 foram de 45,05 L h⁻¹ e 45,28 L h⁻¹, respectivamente. Isto representa valor cerca de 4% superior ao anunciado pelo fabricante, de 43 L h⁻¹ para uma pressão de serviço de 150 kPa. SANTIAGO et al. (2004) também verificaram, para a mesma pressão de serviço adotada neste trabalho, uma sobrestimativa de 3,45%.

Tabela 4. Parâmetros de avaliação do sistema de irrigação por microaspersão obtidos no presente trabalho.

	Precipitação (mm h ⁻¹)		Pressão (kPa)		Vazão (L h ⁻¹)	
	Setor 1	Setor 2	Setor 1	Setor 2	Setor 1	Setor 2
Média	4,24	4,45	152,25	153,75	45,05	45,28
EPC (%)	74,59	78,14	94,58	94,30	97,34	98,51
CVf (%)					2,30	2,63
CUC (%)	84,67	87,96	95,96	97,31	97,22	97,71
CUE (%)					97,69	97,36
CVH (%)			5,30	3,54		

EPC – eficiência padrão de Criddle (%); *CVf* – coeficiente de variação de fabricação (%); *CUC* – coeficiente de uniformidade de Christiansen (%); *CUE* - coeficiente de uniformidade estatístico (%); *CVH* - coeficiente de variação por causas hidráulicas (%).

Balanço hídrico

A Figura 6 apresenta a dinâmica dos termos do balanço hídrico em lisímetro de pesagem hidráulica ao longo do ciclo da cultura. O consumo médio diário (ET_c) foi de 8,51(±3,42) mm d⁻¹, totalizando 851 mm para o ciclo da cultura.

A partir dos 64 DAP até o final do ciclo da cultura, sucederam-se eventos pluviométricos com amplitude entre 3 e 80 mm, que totalizaram 344,9 mm. Dos 36 dias antecedentes à colheita, 19 foram chuvosos. Esta época é característica da região, e representa a transição entre os períodos seco e chuvoso, marcada pela ocorrência de eventos pluviométricos intensos, que exercem papel de recarga no aluvião, de complementação à irrigação e de lavagem de sais.

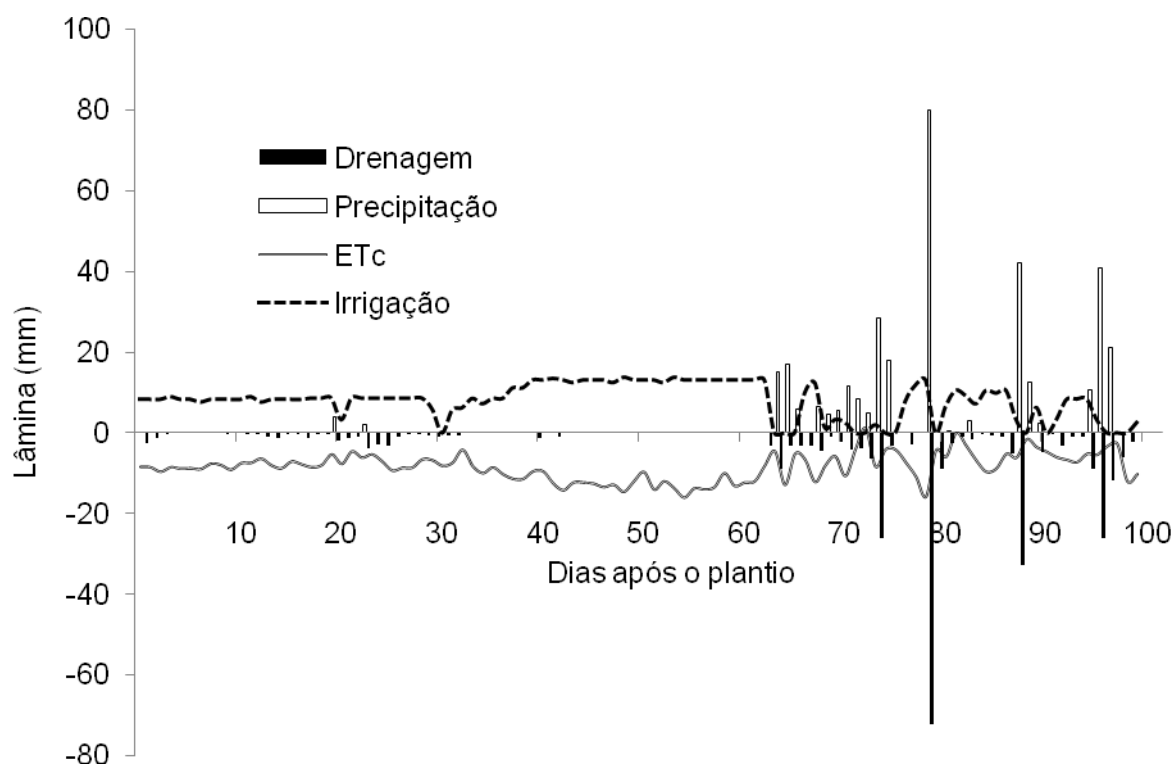


Figura 6. Componentes do balanço hídrico ao longo do experimento realizado por lisimetria de pesagem hidráulica.

Produtividade e eficiência de uso de água (EUA)

A Tabela 5 apresenta a análise de variância e de regressão das variáveis produtividade e eficiência de uso de água. As variáveis sofreram efeito apenas da lâmina de irrigação, se ajustando a uma função quadrática.

Tabela 5. Resumo da análise de variância e de regressão para as variáveis produtividade e eficiência de uso de água da cultura da cenoura.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Pr>Fc	
		Produtividade	Eficiência de uso de água
Bloco	2	*	*
Frequência	1	ns	ns
Lâmina	5	*	*
Frequência x Lâmina	2	ns	ns
CV%		13,78	13,00
Linear			
B ₀		**	**
B ₁		**	*
R ²		56,64	50,50
Quadrática			
B ₀		ns	ns
B ₁		**	*
B ₂		*	*
R ²		96,13	92,25

A análise de variância mostrou que não houve efeito significativo de freqüências de irrigação e de interação entre os fatores lâmina e freqüência sobre a produtividade. As diferenciações entre as produtividades foram significativas apenas pela aplicação das lâminas de irrigação.

Na Figura 7 estão apresentadas as produtividades obtidas em função das lâminas aplicadas. A função de resposta obtida em função das lâminas apresentou efeito quadrático, com coeficiente de determinação de 0,961. O modelo estimou a máxima produtividade para a lâmina equivalente a 108 % da ETc, com produtividade teórica de 40,54 t ha⁻¹. Tal resultado pode estar relacionado à qualidade da água de irrigação, cuja quantidade adicional pode ter produzido efeito de lâmina de lavagem durante o período de aplicação dos tratamentos, contribuindo para a lixiviação do excesso de sais e manutenção de níveis inferiores de salinidade em relação aos tratamentos com lâminas menores. A condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) do poço amazonas usado para a irrigação, monitorada ao longo do experimento, teve

valor médio de $1,09 \text{ dS m}^{-1}$, com reduzida variação da qualidade da água (desvio-padrão de $0,06 \text{ dS m}^{-1}$).

A literatura apresenta resultados distintos a respeito da investigação envolvendo o efeito combinado de freqüências e lâminas de irrigação em olerícolas. PEREIRA et al. (1999), em estudo com lâminas de irrigação variando desde 60 a 100% da evaporação do Tanque Classe A (ECA), relataram aumento de produção de rabanete com a lâmina, independente da freqüência. RÊGO et al. (2004) e VIANA et al. (2004) obtiveram maximização da produção do crisântemo com lâminas entre 75 e 100% ECA, considerando uma amplitude entre 50 e 125% da evaporação do Tanque Classe A. CHAVES et al. (2004) avaliaram a influência da freqüências de 1/3, 1/2, 1, 2 e 3 dias sobre a produtividade da alface e obtiveram produção máxima para 1 dia.

PEREIRA et al. (2003) encontraram efeito quadrático de níveis de água sobre o rendimento de alface sob cultivo protegido. RESENDE et al. (2005), avaliou a influência de coberturas mortas vegetais sobre o controle de ervas daninhas e a produtividade da cultura da cenoura, obtendo produtividades entre 64 e 112 t ha^{-1} , e efeito significativo sobre todas as variáveis de produção, exceto comprimento de raiz. TEODORO et al. (2002), em experimento com aplicação de lâminas de irrigação variando de 20 a 120% da evaporação do Tanque Classe A, com sistema de aspersão e freqüência de irrigação alternada, observaram aumento crescente da produtividade com o aumento da lâmina aplicada.

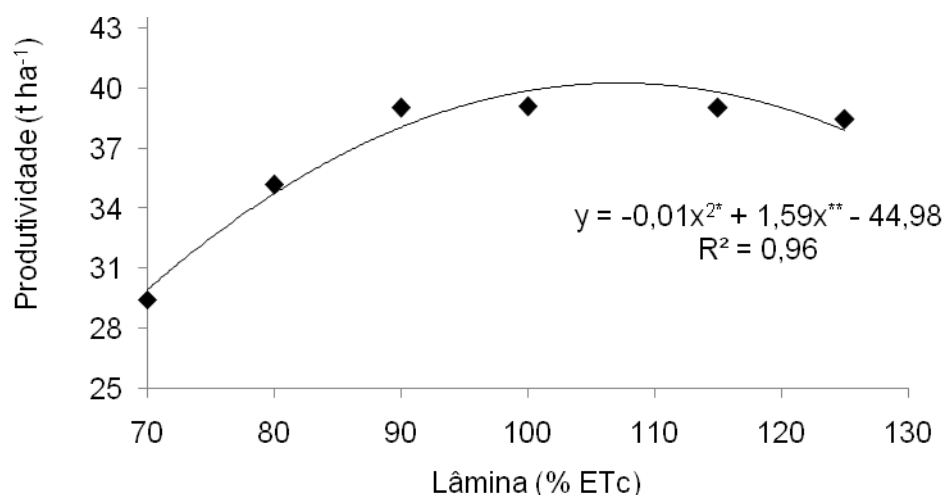


Figura 7. Produtividade total média de cenoura em função de lâminas de irrigação.

AZEVEDO et al. (2005), em experimento com melancia nas condições edafoclimáticas da Chapada do Apodi – CE, e aplicando lâminas de irrigação entre 25 e 125% da ECA, diariamente, obtiveram maximização dos pesos dos frutos no tratamento de 100% da ECA. A função de resposta que melhor representou os tratamentos foi a polinomial de grau 2, tendo a produtividade máxima sido obtida a 95,27% da ECA. Verificou-se ainda que, o tratamento 125% da ECA promoveu redução da produtividade.

Neste estudo, não houve efeito significativo entre as freqüências utilizadas no manejo de irrigação. Com efeito, a adoção de intervalo de 2 dias entre as irrigações, com o uso de água moderadamente salina não imprimiu diferenciação significativa para as produtividades avaliadas com turno de rega diário.

Não houve diferença significativa da freqüência de irrigação sobre a EUA. A Figura 8 apresenta a variação da eficiência de uso de água em função das lâminas aplicadas, com a maximização tendo sido obtida para o tratamento com lâmina equivalente a 90% da ETc. Os valores se ajustaram a uma função polinomial de grau 2, com 92% da variação dos dados podendo ser explicada pelo modelo, e estimativa da máxima EUA correspondendo a dotação média de 89,9% da ETc.

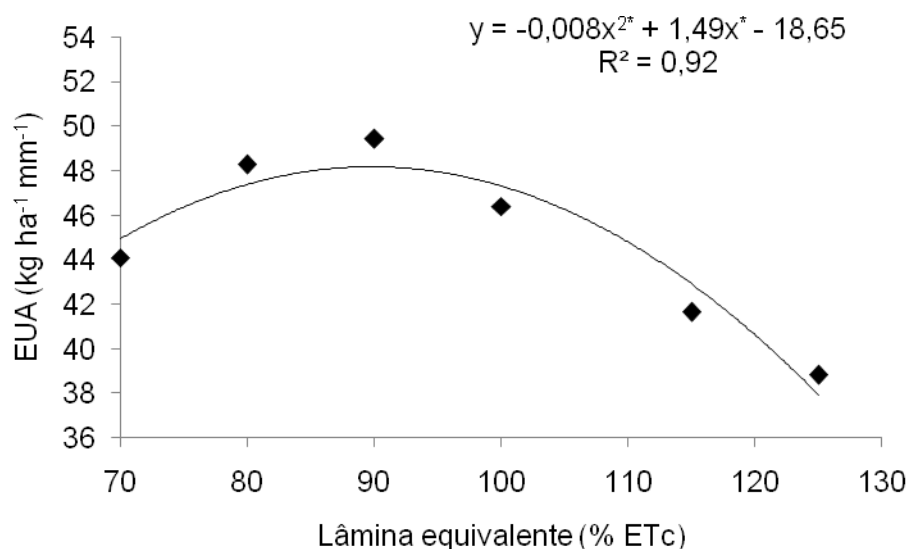


Figura 8. Eficiência média de uso da água em função da reposição da lâmina de irrigação evapotranspirada em lisímetro de pesagem hidráulica.

A literatura destaca diversos processos fisiológicos envolvidos na absorção de água pelas plantas. Os resultados apresentados podem sugerir que, sob condição de estresse hídrico (por déficit), o ganho de biomassa seja comprometido devido à maior frequência de fechamento dos estômatos, o que contribui para uma redução da absorção de gás carbônico.

Verificou-se que o tratamento a 125% da ETc proporcionou a menor eficiência de uso de água, conforme explicado pela Figura 9. Tal redução pode estar associada à redução de trocas gasosas, o que limita a disponibilidade de oxigênio necessário à respiração radicular. Comentário similar fizeram AZEVEDO et al. (2005), que atribuíram a redução da eficiência de uso de água na cultura da berinjela à deficiência de oxigenação da rizosfera.

Por sua vez, REGO et al. (2004), em estudo com a cultura da melancia submetidas a lâminas variando de 50 a 125% da ECA, também verificaram diminuição da eficiência do uso da água com o incremento das lâminas. FABEIRO et al. (2003) ressaltam que, no entanto, produções satisfatórias podem ser obtidas com lâminas reduzidas, com base em resultados experimentais obtidos com a cultura da beterraba.

JALOTA et al. (2006) avaliaram a produtividade e a evapotranspiração em sistema de cultivo com algodão e trigo na Índia e, verificaram que a adoção das irrigações abaixo do ponto ótimo promoveu redução da produtividade comercial

em relação à redução da evapotranspiração. O mesmo resultado, porém, não se confirmou com a produtividade total, cuja redução relativa à evapotranspiração foi menor.

DENG et al. (2006) e JALOTA et al. (2006) destacam a importância de estudos desta natureza, associados à adoção de práticas para redução das perdas por aplicação e a seleção de material vegetal, bem como a identificação de fases críticas da cultura.

CONCLUSÕES

1. As produtividades alcançadas não sofreram interferência das frequências estudadas.
2. A cultura mostrou sensibilidade ao incremento crescente no déficit hídrico com a redução das lâminas aplicadas, onde os valores de produtividade se ajustaram a uma função polinomial de grau 2, que estimou a produtividade máxima com aplicação de lâmina excedente em 8% da ETc.
3. A eficiência de uso de água foi máxima com dotação de lâmina equivalente a 90% da evapotranspiração de cultura; como estratégia de manejo de irrigação para a cultura da cenoura, recomenda-se a adoção de lâmina deficitária a 90% da ETc medida em lisímetro de pesagem hidráulica, dada as condições de restrição hídrica à irrigação e a necessidade de maximizar a eficiência hídrica.
4. O lisímetro apresentou leituras lineares e histerese desprezível, podendo ser seguramente utilizado no manejo de irrigação quer em caráter comercial ou em experimentos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Projeto CNPq/CTA Agro pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JÚNIOR et al.. Crescimento de plantas jovens de limeira ácida 'tahiti' sob lâminas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.170-178, 2005.

ANDRADE, F.V.; NEGREIROS, M.Z.; SANTOS JÚNIOR, J.J. Comportamento de cultivares de alface lisa em cultivo solteiro e consorciado com cenoura em dois sistemas de cultivo em faixas. **Caatinga**, Mossoró, v.17, n.1, p.12-17, 2004.

ARAÚJO, C.; ZARATÉ, N.A.H.; VIERA, 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**, Maringá, v.26, n.2, p.131-138, 2004.

ARRUDA, F.B.; GRANDE, M.A. Fator de resposta da produção do cafeeiro ao deficit hídrico em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.139-145, 2003.

AZEVEDO, B.M. et al.. Efeitos de níveis de irrigação na cultura da melancia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.36, n.1, p.9–15, 2005.

BASTOS D.C. O. A. **Manejo da salinidade em irrigação localizada: análise da alternativa de lixiviação incompleta**. 2004. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. rev. Viçosa, MG: UFV, 2002. 656p.

BEZERRA, F.M.L.; ANGELOCCI, L.R.; MINAMI, K. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura da batata nas condições edafoclimáticas da região de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.3, p.322-326, 1999.

BLACKBURN, D.M. **Efeito da drenagem subterrânea no balanço hidrossalino de um neossolo flúvico irrigado em Pesqueira- PE**. 2002. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CAIXETA, T.J.; MIZABUTI, A. Efeito de diferentes lâminas de água em algumas cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1988, p.65-87.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. **Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2005. 174 p.

CARVALHO, A.M. et al.. Produtividade, florescimento prematuro e queimadas-folhas em cenoura cultivada em sistema orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.2, p.250-254, 2005.

CARVALHO, J.A. et al.. Efeitos da lâmina de irrigação sobre o crescimento da cenoura (*Daucus carota*) cv. Brasília. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.42, n.243, p.528-542, 1995.

CARVALHO, J.A. et al.. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.3, p.710-717, 2000.

CARVALHO, J.A. et al.. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.320-327, 2004.

CHAVES, S.W.P. et al.. Rendimento de alface em função da cobertura do solo e freqüência de irrigação. **Caatinga**, Mossoró, v.17, n.1, p.25-31, 2004.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. (2ª aproximação) 2. ed. Recife, Instituto de Pesquisa Agropecuária, 1998. 198p.

CORDEIRO, L.G. et al.. Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.153-157, 1998.

COSTA, M.S.V. **Determinação da evapotranspiração de referência por evapotranspirômetro de pesagem hidráulica com arranjo de pistão de mercúrio**. 1999. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.

COSTA, R.N.T. et al.. Análise das eficiências de aplicação e de uso da água em cultivo de arroz no perímetro irrigado Morada Nova, Ceará. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. 2004. São Luís, **Anais...** São Luís: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2004. 1 CD-ROM.

DELGADO-ROJAS, et al.. Evapotranspiração máxima do capim “tanzânia” (*Panicum maximum* J.) em pastejo rotacionado, baseada na evaporação do Tanque “Classe A” e no índice de área foliar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.226-234, 2004.

DENG, X.P. et al.. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.80, p.23–40, 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and drainage paper, 33).

ESPOSTI, M.D.D. et al.. Estimativa da perda de produtividade potencial do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e épocas de plantio na Região Sul do Espírito Santo em função do déficit hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.33, n.2, p.5-12, 2002.

FABEIRO, C.; OLALLA, F.M.S.; DOMÍNGUEZ, R.L. Production and quality of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.62, p.215–227, 2003.

FERREIRA, D.F. **Sisvar versão 4.3. (Build 45)**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

FILGUEIRA, F.A. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: UFV, 2002. 402p.

FONTES, R.R.; VILELA, N.J. The current status of the Brazilian Vegetable crops and future opportunities. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.607, p. 2003.

FREITAS, J.A.G. **Evapotranspirômetro de pesagem por sensor de carga hidráulica**: construção, calibração e testes. 1994, 122 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

HERNANDEZ, F.B.T. et al. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira D'Oeste, Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.21-30, 2003.

JADOSKI, S.O. et al.. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v.8, n.1, p.1-9, 2003.

JALOTA, S.K. et al.. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.84, p.137-146, 2006.

LOPES, A.S. et al.. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.89-100, 2004.

MARIN, F.R. et al.. Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p.157-162, 2006.

MARQUELLI, W.A.; OLIVEIRA, R.A.; SILVA, W.L.C. **Irrigação da cultura da cenoura**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2007. 14 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica 48).

MARQUES, P.A.A.; FRIZZONE, J.A. Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.4, p.719-727, 2005.

MEDEIROS, S.L.P. et al.. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.26, n.1, p.1-10, 1991.

OKTEM, A.; SIMSEK, M.; OKTEM, G. Deficit irrigation effects on sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt.) with drip irrigation system in a semi-arid region I, Water-yield relationship. **Agricultural Water Management**, Amsterdam v.61, p.63–74, 2003.

OLIVEIRA, C.D.; BRAZ, L.T.; BANZATTO, D.A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de cenoura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.23, n.3, p.743-748, 2005.

OLIVEIRA, L.M.M. **Avaliação da evapotranspiração de referência (ET_o) na bacia experimental do riacho Gameleira – PE, utilizando lisímetro de pesagem hidráulica e métodos indiretos.** 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia:** goteo, microaspersion, exudacion. 3 ed., Madrid: Ed. Mundi-Prensa, 1996. 513p.

PEREIRA, O.C.N. et al.. Evapotranspiração da alface em função de água e nitrogênio. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.2, p.387-391, 2003.

QADIR, M. et al.. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. **Agricultural Water Management**, Amsteden, v.87, p.2–22, 2007.

REGO, J.L. et al.. Eficiência do uso da água na cultura da melancia. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7, 2004, São Luís, **Anais...** São Luís: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2004. 1 CD-ROM.

RÊGO, J.L. et al.. Efeitos de níveis de irrigação sobre a cultura do crisântemo, **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, n.2, 2004.

RESENDE, F.V. et al.. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.29, n.1, p. 100-105, 2005.

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**, Mossoró, v.20, n.1, p.100-104 2007.

RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M. Levantamento detalhado de solos da Fazenda Nossa Senhora do Rosário. In: MONTENEGRO, A. A. A. **Diagnóstico e controle da salinização em aluviões com pequena agricultura irrigada**. Recife: UFRPE, 2001. Relatório.

SANS, L.M.A. et al.. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p.1-10, 2001. Número especial.

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**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.632-643, 2004.

SANTOS, F.X.. **Construção, instalação e testes de funcionamento de lisímetro de pesagem hidráulica e relação entre evapotranspiração de referência medida e estimada no Agreste Pernambucano**. 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SEGOVIA, J.F.O.; LOPES FILHO, R.P. **Irrigação de Hortaliças no Estado do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá, 2004. 13 p. (Embrapa Amapá. Circular técnica 33).

SILVA, T.J.A.(2005). **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de maracujazeiros determinados pelo método do Balanço de Radiação e lisimetria de pesagem hidráulica**. 2005. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TEODORO, R.E.F. et al. Produção de cenoura sob diferentes lâminas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.20, n.2, 2002, Suplemento.

VIANA, T.V.A. et al.. Efeitos de níveis de irrigação sobre o índice de área foliar, a matéria seca e o desenvolvimento da inflorescência na cultura do crisântemo. **Irriga**, Botucatu, v.9, n.3, p.248-255, 2004.

VIEIRA, A.R.R.; ANGELOCCI, L.R; MINAMI, K. Efeito do estresse hídrico no solo sobre a produção da berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.2, p.29-33, 1996.

VIEIRA, J.V. et al.. Seleção de progênies de meio-irmãos de cenoura baseada em características de sementes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.23, n.1, p.44-47, 2005.

CAPÍTULO 3

Crescimento e desenvolvimento da cultura da cenoura submetida a diferentes lâminas e freqüências de irrigação com água moderadamente salina

Resumo: Avaliou-se o efeito combinado de lâminas e freqüências de irrigação com água moderadamente salina sobre variáveis de crescimento e desenvolvimento da cultura da cenoura. O experimento foi delineado em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, e a cultura manejada seguindo a aplicação de freqüências de irrigação de 1 e 2 dias, e lâminas de irrigação equivalentes a 70, 80, 90, 100, 115 e 125% da evapotranspiração de cultura (ETc) medida em lisímetro de pesagem hidráulica. Ao longo do ciclo da cultura foram procedidas 7 coletas de plantas para a avaliação de variáveis biométricas e 2 coletas de solo para avaliar a salinidade. Não houve incremento da salinidade da solução do solo. Durante o período de irrigação as variáveis foram preponderantemente afetadas pela freqüência de irrigação, sendo este efeito atenuado após o estabelecimento do período chuvoso. A elaboração de calendários agrícolas de plantio contemplando o aproveitamento do período de chuvas é estrategicamente eficiente, principalmente quando aplicadas lâminas deficitárias, com vistas a elevar a eficiência de uso de água pela cultura.

Palavras-chave: manejo de irrigação, chuva, lisímetro de pesagem hidráulica.

Abstract: The combined effect of depths and frequencies irrigation with moderately saline water on growth variables of crop carrot was evaluated. The experiment was designed in random blocks with subdivided plots and 4 replications, being the crop managed following the implementation of the 1 and 2 days irrigation frequencies, and irrigation depths equivalent to 70, 80, 90, 100, 115 and 125% of the crop evapotranspiration (ETc) measured at a hydraulic weighing lysimeter. During the crop cycle 7 plant collections were performed to evaluate the biometric variables and 2 sampling collections to assess soil salinity. The last third period of the crop cycle was subjected to rain event.

There was no increase in the soil salinity for the whole experiment. During the irrigation period variables were mainly affected by the irrigation frequency, being this effect smoothed after the establishment of the rainy season. The development of agricultural cropping schedules adopting the use of the rain period is strategically efficient, especially when deficit irrigation is carried out, in order to raise the water use efficiency by crop.

Key-word: irrigation management, rain, hydraulic weighing lysimeter.

INTRODUÇÃO

A cultura da cenoura apresenta seu crescimento fortemente influenciado pelas condições de umidade do solo. Segundo CARVALHO et al. (1995) e CALBO & SILVA (2005) é indispensável um monitoramento criterioso das condições hídricas de modo a garantir produções satisfatórias.

Entre os fatores relacionados ao manejo da irrigação, a frequência e lâmina de irrigação assumem papel decisivo nesta questão. Tal importância assume maior proporção em se tratando de áreas sujeitas ao déficit hídrico. Nestas áreas, a adoção de estratégias de manejo que visem a dotação reduzida de água podem promover produções adequadas, desde que sejam identificados os períodos de maior sensibilidade da cultura ao déficit hídrico e a salinidade. Neste panorama, pode-se inserir o semi-árido nordestino, em especial as zonas onde se pratica a agricultura familiar, a exemplo do vale aluvial da Fazenda Nossa Senhora do Rosário, inserido na bacia do rio Ipanema.

Localmente, é estratégico o aproveitamento de todo o período seco para a prática da agricultura irrigada em regime familiar, no qual se pode realizar 2 ciclos de cultivo, geralmente com hortaliças de ciclo curto, sendo um ciclo em cada período. Este último ciclo é caracterizado pela maior restrição hídrica devido à redução do nível freático dos poços, e pelo incremento da salinidade da água presente nos mesmos. Este panorama constitui um fator de risco às culturas implantadas nesse período. Como medida de atenuação, muitos agricultores atrasam intencionalmente a implantação da cultura. Esta estratégia possibilita o usufruto das primeiras chuvas da época de transição entre os

períodos seco final e chuvoso. Tais eventos, além abastecer o aquífero do aluvião, promover a lixiviação do excesso de sais acumulados no perfil do solo abaixo da rizosfera, e suplementar a dotação hídrica, como já supracitado, constitui fator de redução de custos, devido à diminuição do tempo de bombeamento, e de incremento de produtividade, dada à redução significativa do estresse salino a que a cultura fica submetida.

Entretanto, poucos são os trabalhos que procuram investigar alternativas seguindo esta linha metodológica, sobretudo sob condições de campo. LIMA et al. (2006), em experimento em casa de vegetação, avaliou o crescimento de pimentão sob condições simuladas de salinidade do solo, em função de tratamentos combinados entre cobertura do solo, lâminas de irrigação e intervalos de rega.

Sob deficiência hídrica, as plantas tendem a reduzir a perda de água pelo fechamento estomático, o que pode determinar menor disponibilidade de CO₂ para a atividade fotossintética. Esse mecanismo se reflete na redução de matéria seca (VIANA et al. 2004; BERNARDO, 2002). Por outro lado, o estresse hídrico por excesso restringe a respiração radicular pela redução (hipoxia) ou mesmo ausência (anoxia) de oxigênio. ALVES JÚNIOR et al. (2005) comentam que esta condição implica em redução da atividade metabólica, em especial dos processos energéticos necessários à síntese de compostos orgânicos.

Dentro do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de frequências e de lâminas de irrigação aplicados em parte do ciclo da cultura da cenoura e suas implicações no crescimento e desenvolvimento considerando o emprego de água moderadamente salina na irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O referido experimento foi conduzido na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, em Pesqueira, zona de Semi-Árido de Pernambuco, inserida na bacia do Rio Ipanema. As coordenadas geográficas da área de estudo estão a 8°10'25" de latitude Sul, 35°11'25" de longitude Oeste, e a 615 m de altitude. O solo local foi classificado como Neossolo Flúvico, com textura

predominantemente siltosa (RIBEIRO & CORREA, 2001). Na Tabela 1 estão apresentadas as características físicas da área, considerando as regiões com mais silte (região 1) e areia (região 2), obtidas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Agronomia da UFRPE, utilizando-se amostras deformadas.

Tabela 1. Atributos físicos da área experimental.

Atributo	Região 1		Região 2		Lisímetro de pesagem	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Areia (%)	53,5	52,16	33,49	34,54	47,52	44,80
Silte (%)	34,0	39,12	51,56	49,20	33,64	34,00
Argila (%)	12,5	8,7	14,95	16,26	18,84	21,20
Classe textural	Franco	Franco	Franco siltoso	Franco	Franco	Franco
Ds (g cm ⁻³)	1,62	1,51	1,61		1,44	1,43
Dp (g cm ⁻³)	2,51	2,56	2,56		2,48	2,63

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas.

O experimento foi delineado em blocos ao acaso com esquema de parcelas subdivididas com 3 repetições, totalizando 36 unidades experimentais. As parcelas foram constituídas de duas freqüências de irrigação: diária (F1) e em dias alternados (F2), enquanto que as sub-parcelas foram compostas de 6 lâminas de irrigação: 70; 80, 90, 100, 115 e 125% da ETc medida em lisímetro de pesagem hidráulica. Como se verifica, a amplitude das lâminas variou desde condições hidricamente estressantes (déficit) à adoção de lâminas de lixiviação, estas últimas, também empregadas em trabalhos com olerícolas na região, desenvolvidos por BASTOS (2004) e SOUZA (2007) em cenoura, e por SANTIAGO et al. (2004) em repolho. Utilizou-se na irrigação do solo da área experimental água moderadamente salina, oriunda de poço amazonas, cuja análise está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química do extrato de saturação do solo e da água de irrigação.

Extrato de saturação	
Ca ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,60
Mg ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,57
Na ⁺ (cmol _c L ⁻¹)	1,99
K ⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,11
CE (dS m ⁻¹)	3,24
pH	7,97
Água de irrigação	
CE (dS m ⁻¹)	1,13
pH	7,39
RAS (mmol _c L ^{-0.5})	8,99

O lisímetro utilizado no manejo da irrigação foi do tipo pesagem hidráulica, com capacidade volumétrica de 1 m³ e área superficial de 1,52 m², construído a partir de caixa de água em fibra de vidro, em formato de cone, e com as seguintes medidas: diâmetros superior e inferior de 1,39 e 1,10 m, respectivamente, e profundidade de 0,80 m.

Os tratamentos com lâminas e frequências de irrigação foram mantidos dos 30 aos 64 DAP, após o qual seguiram-se eventos de precipitação. Após 7 dias do início dos tratamentos, procedeu-se coletas de plantas, para avaliação de variáveis biométricas. Realizou-se coletas aos 37, 45, 51, 59, 66, 89 e 100 DAP. O procedimento de coleta na sub-parcela útil, consistiu em amostragem aleatória de 5 plantas, as quais foram avaliadas em relação as seguintes variáveis: altura da planta, comprimentos da raiz e das folhas, massa seca da raiz e da parte aérea, diâmetro da raiz e número de folhas.

Utilizou-se a cultivar de cenoura 'Brasília', com semeadura em local definitivo, realizada manualmente. O plantio ocorreu em 12/12/2006, em sulcos transversais ao canteiro, eqüidistantes entre si de 20 cm. Até ao trigésimo dia após o plantio (DAP), o manejo de irrigação foi o mesmo para toda a área, com reposição igual a ET_c do lisímetro e frequência diária, com vistas à formação de stand e estabelecimento da cultura.

A adubação de fundação foi realizada com esterco de curral e adubo mineral N-P-K, segundo a análise de solo. Adubou-se em cobertura aos 30 dias após o plantio (DAP). O desbaste foi procedido aos 29 DAP, de modo a estabelecer uma distância entre plantas de aproximadamente 10 cm,

constituindo um espaçamento de 20 cm x 10 cm. Capinas periódicas foram procedidas mecanicamente, visando controlar ervas invasoras.

As diferentes lâminas de irrigação podem imprimir uma diferenciação quanto à dinâmica de salinidade nos diferentes tratamentos, dado ao uso de água moderadamente salina ($0,7 < CEa < 3,0 \text{ dS m}^{-1}$). Por essa razão, avaliou-se a salinidade do solo em dois instantes, visando analisar a sua possível interferência sobre os efeitos nos tratamentos aplicados. Utilizou-se amostragem de solo em cada sub-parcela, com coletas no centro, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) em laboratório. O monitoramento ocorreu em 2 eventos durante o ciclo experimental, segundo a seguinte ordem cronológica: Dezembro (06/12/2006 - pré-plantio), e Fevereiro (24/02/2007 - 74 DAP).

Os dados foram submetidos à análise de variância, em que se utilizou-se o programa estatístico SISVAR - versão 4.3 (Build 45) - Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2003). A significância das variáveis foi avaliada com o teste F. As variáveis com efeitos significativos pelo teste F foram submetidas à análise de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As condições de salinidade foram comparadas considerando dependência entre os cenários inicial (pré-plantio) e final (74 DAP). Esta dependência se deve ao fato de que a medida de uma mesma variável, realizada no mesmo ponto, mas em instantes diferentes, apresentam estrutura de conexão espacial. Aplicou-se o teste t para amostras emparelhadas, assumindo que a amostra foi extraída aleatoriamente da população das diferenças. A hipótese de nulidade foi a de que não existia significância na diferença entre os dois cenários, ao nível de probabilidade de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentados na Tabelas 3 o resumo da análise de variância para as 7 variáveis biométricas obtidas, em 7 momentos do desenvolvimento da cultura da cenoura. Na primeira coleta, apenas a variável massa seca da parte aérea (MSA) respondeu às frequências. Aos 45 DAP, apenas 3 (altura de

planta (AP), massas seca da raiz (MSR) e da parte aérea (MSA)) das 7 variáveis estudadas apresentaram alguma diferença significativa, o que pode estar relacionado ao tempo ainda reduzido de aplicação dos tratamentos. De fato, a variável MSA mostrou-se significativamente sensível às freqüências nas 5 primeiras coletas, que se estenderam dos 37 até aos 66 DAP, sendo proporcionado maior taxa de crescimento absoluto às plantas submetidas à freqüência de 1 dia.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para variáveis biométricas obtidas em 7 coletas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da cenoura. Da 1ª a 5ª coleta corresponde ao período de aplicação dos tratamentos. As duas últimas correspondem ao período de ocorrência de chuvas.

Ordem		1	2	3	4	5	6	7
DAP		37	45	51	59	66	89	100
FV	GL	Pr>Fc						
Massa seca da raiz (MSR)								
Frequência	1	ns	*	**	ns	**	ns	ns
Lâmina (L)	5	ns	ns	ns	**	ns	*	**
F x L	5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco (B)	2	**	*	**	**	**	**	**
Massa seca da parte aérea (MSA)								
Frequência	1	**	*	**	**	**	ns	ns
Lâmina (L)	5	ns	ns	ns	**	ns	*	ns
F x L	5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco (B)	2	**	**	**	**	ns	**	**
Comprimento da raiz (CR)								
Frequência	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Lâmina (L)	5	ns	ns	**	ns	ns	*	**
F x L	5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco (B)	2	ns	*	**	*	*	ns	*
Diâmetro da raiz (DR)								
Frequência	1	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Lâmina (L)	5	ns	ns	**	*	*	**	**
F x L	5	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
Bloco (B)	2	**	**	**	**	**	**	**
Altura da planta (AP)								
Frequência	1	ns	*	ns	*	*	ns	ns
Lâmina (L)	5	ns	**	**	ns	*	*	**
F x L	5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco (B)	2	ns	*	**	ns	ns	ns	**
Número de folhas (NF)								
Frequência	1	ns	ns	ns	**	*	ns	ns
Lâmina (L)	5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
F x L	5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco (B)	2	ns	ns	ns	**	**	ns	**
Comprimento médio das folhas (CMF)								
Frequência	1	ns	ns	**	*	ns	ns	ns
Lâmina (L)	5	ns	ns	*	ns	*	*	*
F x L	5	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco (B)	2	ns	*	ns	ns	*	*	*

GL – grau de liberdade; FV – fonte de variação.

Nos tratamentos em que houve efeito significativo, as freqüências de 1 dia foi superior à de 2 dias, exceto para as variáveis MSR, DR e AP aos respectivos 45, 51 e 45 DAP. O comprimento da raiz (CR) não foi afetado pelas freqüências utilizadas em nenhuma das ocasiões de coleta. Efeitos foram produzidos aos 89 e 100 DAP para o CR, em que as lâminas de 115 e 90 % da ETc proporcionaram resultados superiores em relação as demais.

A variável diâmetro da raiz (DR) foi a mais afetada pelas lâminas de irrigação, com efeito significativo a partir da 3ª até a última coleta, com a lâmina de 90% da ETc estando sempre entre os dois maiores valores medidos. O período de aumento de diâmetro da raiz (crescimento horizontal) na cultura da cenoura torna-se evidente entre os 45 e 80 DAP, o que pode explicar o efeito tardio e contínuo do fator lâmina sobre esta variável. Comportamento similar ao encontrado para o DR foi verificado para as variáveis altura de planta (AP) e comprimento médio das folhas (CMF), com a lâmina de 70% sempre inferior as demais. O número de folhas (NF) mostrou-se pouco sensível a aplicação dos tratamentos com lâminas e freqüências de irrigação, com efeito significativo aos 59 e 66 dias para o tratamento com freqüência de irrigação e somente aos 100 DAP para lâmina, com superioridade para a freqüência de 1 dia e lâmina de 125% da ETc.

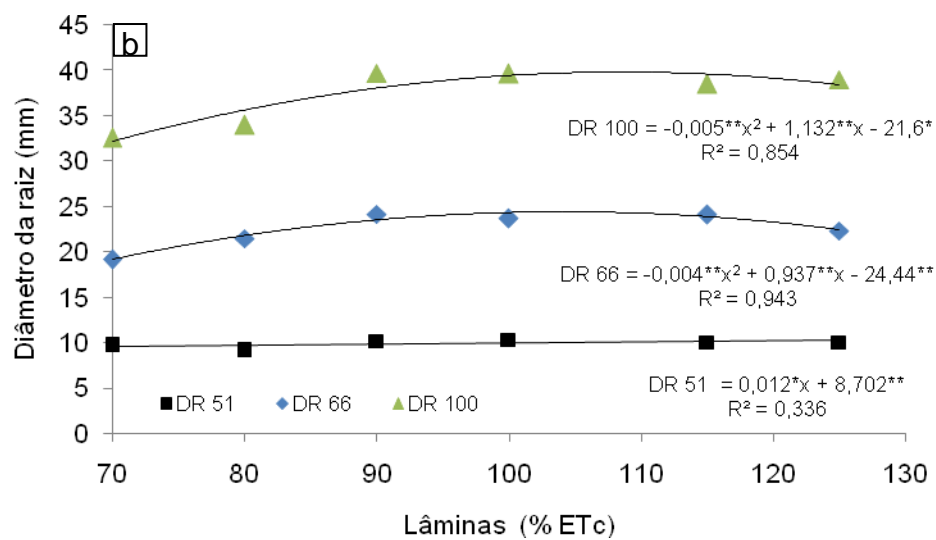
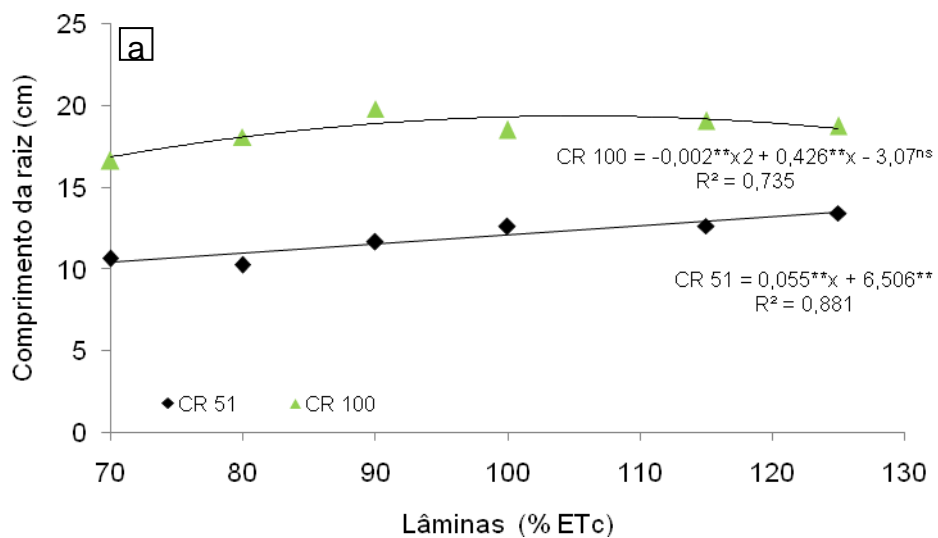
Dos 64 DAP à colheita (100 DAP) houve repetidos eventos de precipitação. As coletas subseqüentes à realizada aos 66 DAP, não produziram efeito devido às freqüências de irrigação utilizadas, e todas as variáveis foram afetadas pela lâmina de irrigação em pelo menos uma das duas coletas realizadas. Portanto, o efeito da freqüência foi sentido mais precocemente, se estendendo até ao 66º DAP, enquanto que a sensibilidade ao efeito das lâminas foi crescente com o desenvolvimento da cultura, sendo seus efeitos sentidos mais tardiamente no ciclo da cultura. Pode-se sugerir que menores flutuações de umidade do solo (freqüência de 1 dia) possam contribuir sinergicamente para o crescimento, proporcionando menores picos de salinidade da solução do solo entre as irrigações. LIMA et al. (2006) em experimento em casa de vegetação com a cultura do pimentão em diferentes tratamentos envolvendo lâminas de irrigação com água moderadamente salina, cobertura morta e intervalos de rega, obtiveram plantas com maior altura com tratamento com lâmina de 80% da ETc com cobertura e com freqüência de 2

dias de irrigação. Os autores destacaram a importância particular de tais resultados para áreas sujeitas a déficit hídrico, caso do presente estudo. ALVES JÚNIOR et al. (2005), em experimento com a cultura da limeira ácida em fase de formação, verificaram que o crescimento vegetativo é extremamente dependente do regime de irrigação imposto à cultura.

Na Figura 1 estão contempladas as regressões com lâminas de irrigação para os eventos de coleta aos 51, 66 e 100 DAP referentes às variáveis CR, DR, AP e CMF. Houve ajuste linear para as variáveis CR, DR e CMF aos 51 DAP. Para a variável AP os ajustes foram polinomiais nos 3 eventos avaliados, com pontos de máximo variando entre 105,5 e 128% da ETc e coeficientes de determinação (R^2) entre 0,711 e 0,778. VIANA et al. (2004), estudando o efeito de lâminas de irrigação sobre a cultura do crisântemo, não encontraram diferença significativa para massa seca da parte aérea e para o índice de área foliar. Entretanto, as lâminas afetaram significativamente o diâmetro das inflorescências, e se ajustaram a um polinômio quadrático.

Avaliando o efeito de cobertura morta vegetal sobre variáveis de crescimento, RESENDE et al. (2005) verificaram aos 45 e 60 DAP, baixa variação do número médio de folhas, com número entre 7 e 8. Para o presente estudo, aos 59 DAP, o número médio de folhas oscilou entre 6 e 7, e aos 100 DAP, entre 8 e 9. Traçando uma analogia em relação ao consumo hídrico nas fases fenológicas da cultura da cenoura, as duas últimas fases são caracterizadas por coeficientes de culturas próximos entre si. É provável que este comportamento guarde relação direta com o número de folhas, o indica que o número de folhas tenda a se estabilizar. Houve efeito não significativo para a maior parte dos instantes avaliados neste experimento.

Os mesmos autores observaram que todas as características ligadas à produção foram afetadas, com exceção do comprimento da raiz, esta variando na faixa de 15,36 cm a 17,07 cm. Para o presente estudo o comprimento de raiz variou de 16,11 para a lâmina de 70% a 19,82 cm para a lâmina de 125%. Aos 100 DAP o modelo estimou o comprimento máximo da raiz em 19,61 cm com a lâmina a 106,6% da ETc.



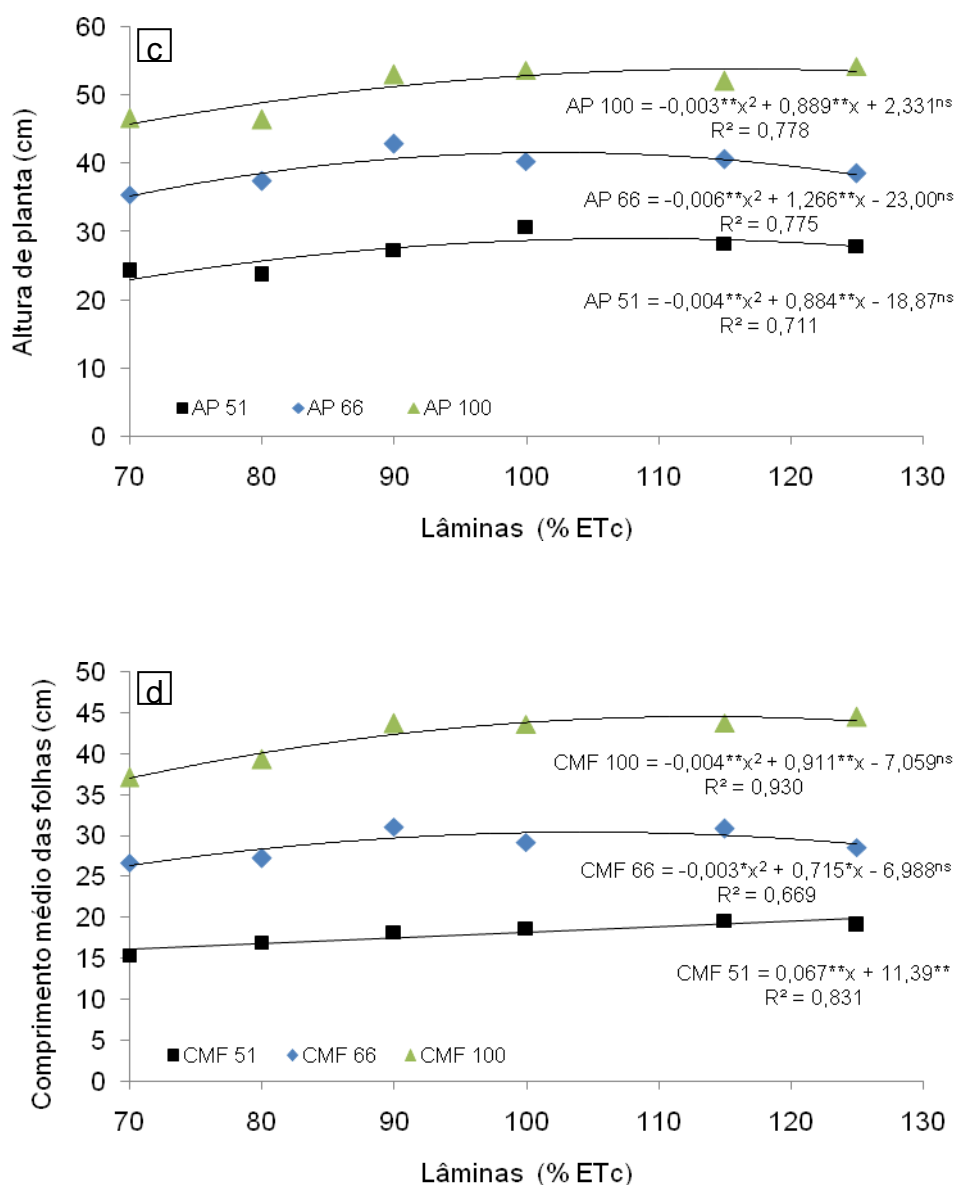


Figura 1. Efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre as variáveis biométricas aos 51, 66 e 100 DAP. a – comprimento da raiz; b – diâmetro da raiz; c – altura da planta; d – comprimento médio das folhas.

Na Figura 2 estão apresentadas as barras de crescimento absoluto das variáveis CR, DR, AP e CMF, proporcionadas pelas melhores lâminas de irrigação. O cenário aos 66 dias é estrategicamente importante do ponto de vista do manejo de irrigação, por representar o cenário limítrofe entre o uso exclusivo da água subterrânea e os eventos de precipitação. Após a ocorrência das chuvas é possível observar uma estabilização das diferenças, que perdura até o final do ciclo, como notado nas variáveis AP e CMF.

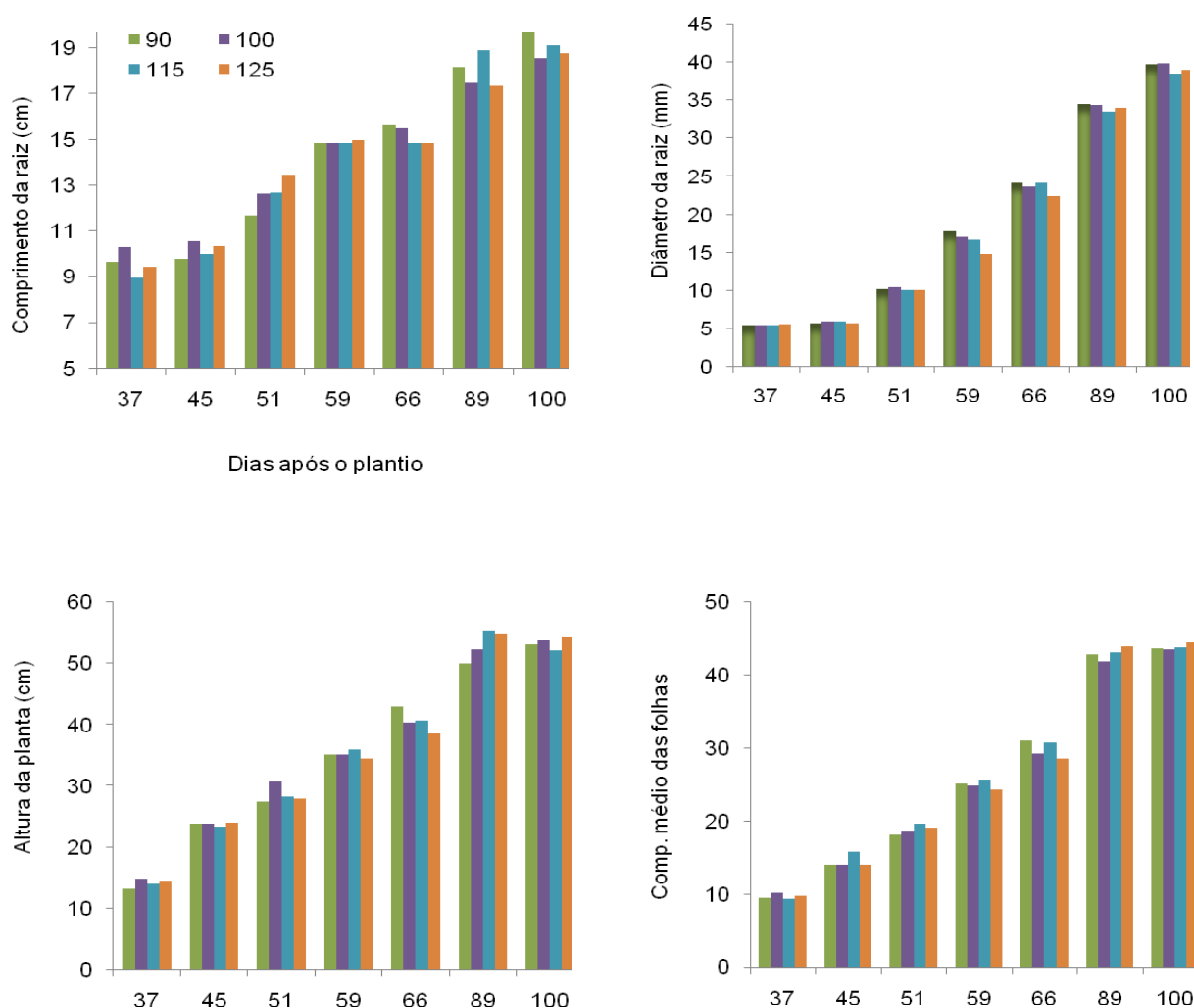


Figura 2. Barras de crescimento de variáveis biométricas para as melhores lâminas de irrigação.

O monitoramento da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) do poço amazonas está apresentada na Figura 2. O valor médio para a CEa foi $1,09 \text{ dS m}^{-1}$. Houve pouca variação na qualidade da água ao longo do experimento, conforme notado no baixo valor do desvio-padrão, de $0,06 \text{ dS m}^{-1}$.

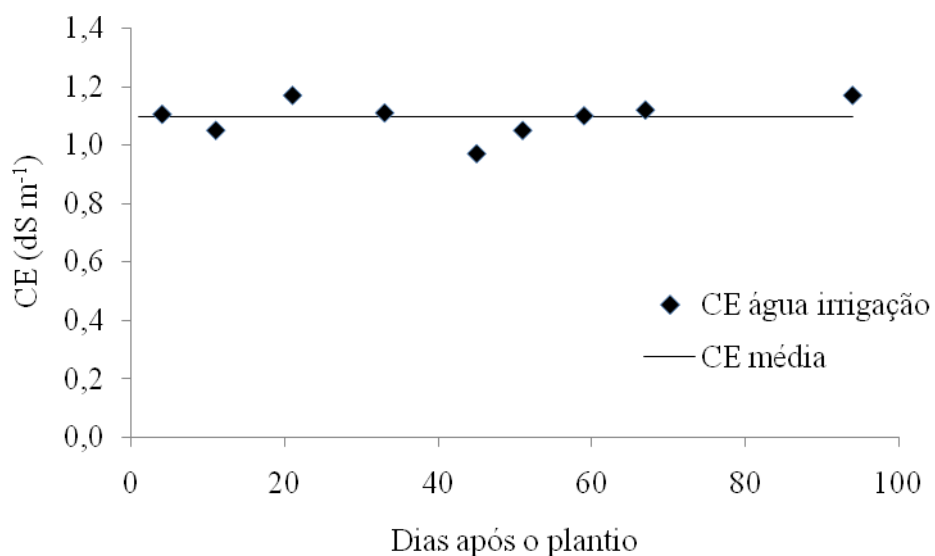


Figura 2. Dinâmica da salinidade da água de irrigação ao longo do ciclo experimental.

Os resultados de salinidade gerados nos cenários de pré-plantio e aos 74 DAP estão apresentados na Tabela 8. O teste t aplicado para amostras em par para médias foi significativo ($P \leq 0,0005$), indicando que houve diferença entre os dois cenários. A redução média na salinidade foi de $0,35 \text{ dS m}^{-1}$.

Tabela 8. Avaliação da salinidade do solo nas sub-parcelas experimentais em cenários de pré-plantio e aos 74 DAP, segundo o teste t para duas amostras em par para médias.

Salinidade (dS m ⁻¹)			Resumo	
Pré-plantio	74 DAP	Diferença	Pré-plantio	74 DAP
3,10	2,02	-1,08	Média	2,36
2,06	1,82	-0,24	Variância	0,14
2,33	2,53	0,20	Observações	24
2,76	2,13	-0,63	Correlação de Pearson	0,18
2,34	1,90	-0,44	Graus de liberdade	23
2,29	1,75	-0,54	P(T<=t) bi-caudal	0,0005
2,02	1,86	-0,16	t crítico bi-caudal	2,0686
2,17	2,37	0,20	Média das diferenças	-0,35
2,85	2,00	-0,85		
2,49	1,99	-0,49		
1,86	1,65	-0,21		
2,45	1,97	-0,48		
3,00	2,11	-0,89		
2,79	1,84	-0,95		
2,19	2,58	0,39		
2,79	1,99	-0,79		
2,26	1,89	-0,37		
2,57	2,43	-0,15		
1,74	1,71	-0,03		
2,30	2,49	0,19		
1,94	2,17	0,23		
2,59	1,65	-0,94		
1,81	1,74	-0,07		
2,14	1,85	-0,29		

Os eventos pluviométricos que antecederam a coleta de solo contribuíram para a redução da salinidade. Dos 66 DAP, início das chuvas, à data de coleta (74 DAP), houve precipitação acumulada de 108 mm. Desse modo, mesmo com adoção de tratamentos deficitários com água moderadamente salina, verifica-se que o impacto conjunto da irrigação, mesmo deficitária, e da precipitação foi eficiente em não elevar a salinidade.

A tolerância das culturas à salinidade é função da espécie, cultivar e e estágio fenológico, sendo que as culturas olerícolas apresentam maior sensibilidade em relação às culturas de ciclo longo. A cultura da cenoura é uma espécie sensível, em que segundo a literatura, é possível reduções de produtividade relativa a partir de condutividades elétricas da água de irrigação

(CEa) e do extrato de saturação do solo (CEes) de 0,7 e 1,0 dS m⁻¹, respectivamente (AYERS & WESTCOT, 1999). Entretanto, alguns trabalhos têm mostrado resultados de produções satisfatórias com água de irrigação de qualidade inferior (salina) em olerícolas. RESENDE & CORDEIRO (2007) realizaram estudos sobre o efeito da qualidade da água de irrigação (CEa variando de 0,1 a 8,0 dS m⁻¹) na produtividade da cultura cenoura. Não houve diferença significativa na produtividade quando do uso de água com 0,1 dS m⁻¹ comparado à água com condutividade elétrica de 4,0 dS m⁻¹. BASTOS (2004) realizou experimento com lixiviação incompleta em cultura de cenoura irrigada com água moderadamente salina na mesma área do presente experimento. O referido trabalho contemplou a utilização do período de chuvas como forma de complementar a lavagem de sais, obtendo-se controle satisfatório da salinidade da água do solo ao longo do ciclo da cultura. Com efeito, o uso da água moderadamente salina na irrigação da cultura não produziu aumento da salinidade do solo nos tratamentos aplicados, o que possibilita a irrigação em caráter reduzido sem comprometimento ao ciclo da cultura;

CONCLUSÕES

1. A adoção de diferentes manejos de irrigação, associando lâminas e freqüências, proporcionou diferenciação do crescimento da cultura, sendo os efeitos na fase inicial da cultura preponderantemente produzidos pela adoção de diferentes freqüências de irrigação.
2. O uso da água moderadamente salina na irrigação da cultura não produziu aumento da salinidade do solo nos tratamentos com lâminas deficitárias e nos com lâminas de lixiviação, o que permite a dotação hídrica reduzida sem comprometimento ao ciclo da cultura.
3. Sob estas condições experimentais, indica-se lâminas próximas a 90% da ETc medida em lisímetro de pesagem hidráulica, em qualquer das freqüências utilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO - Irrigação e drenagem, 29).

ALVES JÚNIOR et al.. Crescimento de plantas jovens de limeira ácida 'tahiti' sob lâminas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.170-178, 2005.

BASTOS D.C. O. A. **Manejo da salinidade em irrigação localizada**: análise da alternativa de lixiviação incompleta. 2004. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. rev. Viçosa, MG: UFV, 2002. 656p.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. **Sistema Irrigas para manejo de irrigação**: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2005. 174 p.

CARVALHO, J.A. et al.. Efeitos da lâmina de irrigação sobre o crescimento da cenoura (*Daucus carota*) cv. Brasília. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.243, p.528-542, 1995.

FERREIRA, D.F. **Sisvar versão 4.3. (Build 45)**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

LIMA, P.A. et al. Efeito do manejo da irrigação com água moderadamente salina na produção de pimentão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife**, v.1, n.único, p.73-80, 2006.

RESENDE, F.V. et al.. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.29, n.1, p.100-105, 2005.

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**, Mossoró, v.20, n.1, p.100-104 2007.

RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M. Levantamento detalhado de solos da Fazenda Nossa Senhora do Rosário. In: MONTENEGRO, A. A. A. **Diagnóstico e controle da salinização em aluviões com pequena agricultura irrigada**. Recife: UFRPE, 2001. Relatório.

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**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.632-643, 2004.

SOUZA, E.R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um neossolo flúvico cultivado com cenoura irrigada com água moderadamente salina**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

VIANA, T.V.A. et al.. Efeitos de níveis de irrigação sobre o índice de área foliar, a matéria seca e o desenvolvimento da inflorescência na cultura do crisântemo. **Irriga**, Botucatu, v.9, n.3, p.248-255, 2004.

CONCLUSÕES FINAIS

1. Após a série de experimentos realizados, as seguintes conclusões finais foram obtidas:
2. O consumo hídrico total da cultura sob condições potenciais, variou entre 811,84 mm para o primeiro experimento, e 851 mm para o segundo experimento.
3. Os coeficientes de cultura variaram de 1,35 a 1,46, para coeficientes de tanque de 0,81 e 0,75, respectivamente, em condições de pleno desenvolvimento.
4. Em todas as fases de desenvolvimento, a faixa de coeficiente de cultura foi superior a recomendada pela FAO, exceto para a fase inicial.
5. A eficiência de uso de água foi máxima com dotação de lâmina equivalente a 90% da evapotranspiração de cultura.
6. Como estratégia de manejo de irrigação para a cultura da cenoura, para o período seco final, recomenda-se a adoção de lâmina deficitária a 90% da ETc medida em lisímetro de pesagem hidráulica, dada as condições de restrição hídrica à irrigação e a necessidade de maximizar a eficiência de uso de água pela cultura.