

DINÂMICA DA ÁGUA NO SISTEMA SOLO-PLANTA NO CULTIVO DA PIMENTA TABASCO SOB DÉFICIT HÍDRICO¹

LÍGIA BORGES MARINHO²; JOSÉ ANTONIO FRIZZONE³; JOÃO BATISTA TOLENTINO JÚNIOR⁴; JANAÍNA PAULINO⁵; DANILTON LUIZ FLUMIGNAN⁶ E DIEGO BORTOLOTI GÓES³

(1) Artigo extraído da tese do primeiro autor (2) Departamento Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, av. Edgard Chastinet, São Geraldo, CEP 48905-680, Juazeiro, BA. Fone (74) 3611-7363. E-mail: ligia.bmarinho@gmail.com (3) Departamento de Engenharia de Biosistemas/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" USP, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13.418-900, Piracicaba/SP, E-mail(s): frizzone@esalq.usp.br, diego_bortoloti@hotmail.com; (4) Campus Curitibanos, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, SC. joao.tolentino@ufsc.br (5) Universidade Federal de Mato Grosso UFMT, campus Sinop: Avenida Alexandre Ferronato Nº 1.200. Bairro: Setor Industrial. CEP: 78.550-000, Sinop-MT, Email: eng_janaina@yahoo.com.br (6) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Agropecuária Oeste. Rodovia BR 163, km 253, Zona Rural, 79804970 - Dourados, MS, Email: danilton.flumignan@embrapa.br

1 RESUMO

O objetivo da pesquisa foi acompanhar a variação da condição hídrica do solo e da planta de pimenta 'Tabasco' em função dos manejos de déficits hídricos impostos e determinar seu coeficiente de estresse hídrico. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, no Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ - USP, Piracicaba-SP, de setembro de 2009 a julho de 2010. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com quatro repetições, utilizando-se lâminas de irrigação a 100, 80, 60 e 40% da evapotranspiração da cultura diferenciadas a partir da fase vegetativa e da fase reprodutiva. O potencial da água na folha e no solo foi aferido com a câmara de pressão e tensiômetros, respectivamente. Houve variação do potencial mátrico, da extração de água no solo e do potencial de água na folha em função das lâminas e das épocas de diferenciação. Menores potenciais mátricos foram verificados quando o déficit de irrigação foi inicializado na fase vegetativa da pimenta. Os valores de coeficiente de estresse hídrico e o potencial de água na folha, ao alvorecer, indicaram que as pimenteiras estavam sob estresse moderado e severo, sendo a época reprodutiva da pimenta Tabasco a mais sensível à restrição hídrica.

Palavras-chave: *Capsicum frutescens* L, tensiômetro, potencial da água no solo.

MARINHO, L. B.; FRIZZONE, J. A.; TOLENTINO JÚNIOR, J. B.; PAULINO, J.; FLUMIGNAN, D. L.; GÓES, D. B.

WATER DYNAMICS IN SOIL-PLANT SYSTEM IN THE CULTIVATION OF PEPPER TABASCO UNDER WATER DEFICIT

2 ABSTRACT

The objective of the research was to determine the change in soil water condition and in Tabasco pepper plant according to the managements of water deficits. The experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Biosystems Engineering of ESALQ - USP, Piracicaba-SP, from September 2009 to July 2010. The experimental design was randomized blocks with four replications, using irrigation depths to 100, 80, 60 and 40% of crop

evapotranspiration in the vegetative phase and reproductive phase. The soil matric potential was measured by tensiometers installed at 0-20 and 20-40 cm depth. The most negative values of matric potential occurred in treatments submitted to the greater water deficit treatments that had higher water restriction imposed by the vegetative phase. For these, greater increase in water extraction in the deepest layer (40 cm) were also found. There were differences in matric potential of the soil, in ground water extraction and in leaf water potential in relation to the water depths and differentiation phases. The deficit irrigation that started in the vegetative phase led to greater reduction in soil matric potential due to the accumulated water deficit. The pepper plants have moderate to severe sensitivity to water deficit in the soil, with a higher sensitivity of the plants when water restriction is imposed during reproductive stages than when it is imposed during growing stages.

Keywords : *Capsicum frutenscens*, tensiometer; soil water potential

3 INTRODUÇÃO

A agricultura tem sido demandada pela sociedade para ser cada vez mais eficiente sob o aspecto do uso dos recursos hídricos. Nesse contexto, em sistemas produtivos irrigados, o manejo da irrigação com déficit hídrico controlado consiste em uma alternativa que pode maximizar os lucros e ainda oferecer maior eficiência no uso da água.

Embora esse tipo de manejo possa ter aspectos positivos relevantes, a sua adoção pelo setor produtivo requer cautela. Isso decorre do fato de que as produtividades e, conseqüentemente, a receita bruta tende a ser reduzida por causa do déficit hídrico aplicado às plantas. Porém, os custos (exemplo, energia elétrica), também tendem a ser reduzidos, de tal forma que, ao final, o lucro é maximizado. Para que isso seja uma verdade, é fundamental a existência de conhecimentos mais aprofundados sobre o estado hídrico do solo e das plantas quando cultivadas sob irrigação com déficit hídrico controlado. Esse conhecimento possibilita assegurar que este tipo de manejo seja viável técnica e economicamente.

Conforme Kirkham (2005), o potencial mátrico descreve o estado energético da água no solo e é considerado fator crítico para as análises de fluxos de água no sistema produtivo, estimativa do armazenamento de água no solo e para a relação solo-água-planta. Nesse sentido, sabe-se que as plantas são diretamente influenciadas pelas condições do solo, sendo, portanto reflexo direto destas condições. No entanto, Kramer e Boyer (1995) já sugeriam que as próprias plantas fossem tomadas como indicadoras do estresse hídrico, haja vista que sob uma mesma condição de potencial mátrico, as diferentes espécies vegetais podem ser impactadas diferentemente.

As plantas, quando bem hidratadas, tem assegurada a manutenção do turgor da célula, turgor este que é importante para permitir a continuidade dos processos de crescimento, expansão, divisão celular e fotossíntese (PETRY, 1991). Desta forma, o potencial da água na folha também é utilizado como um bom indicador do estado hídrico das plantas, sendo considerado por Hsiao (1973) e Kirkham (2005) como um dos melhores indicadores do estado hídrico da planta por se tratar de uma medição direta do alvo (planta), diferentemente do potencial mátrico que representa uma medição indireta.

Embora a região sudeste do Brasil seja a segunda maior produtora de pimenta, sendo o estado de São Paulo responsável por 28% da produção nacional (IBGE, 2008), ainda são escassas informações a respeito das condições hídricas, indicadores de estresse e níveis de redução da produção de pimenta sob condição de manejo da irrigação com déficit hídrico

controlado e cultivada em ambiente protegido nessa região. Estudos têm abordado a sensibilidade do gênero *Capsicum* à limitação de água (GONZÁLEZ-DUGO et al., 2007; SEZEN et al., 2006) e esforços têm sido dirigidos cada vez mais para determinar como a água se move através do sistema solo-planta-atmosfera e como o metabolismo das pimenteiras é afetado quando sob restrição hídrica.

Dorji et al. (2005), na Nova Zelândia, observaram que os potenciais da água na folha de pimenta, ao alvorecer, variaram de -0,8 a -1 MPa no tratamento sob déficit de irrigação à 50% da irrigação plena. Lima et al. (2013), em estudo realizado em Lavras-MG, verificaram que a pimenta Cayenne cultivada sob diferentes potenciais mátricos (-20, -40, -60 e -120 kPa) apresentou diminuição da produção quando submetida a déficit hídrico, tanto na fase vegetativa, quanto na reprodutiva. Porém, ao determinar o coeficiente de resposta da cultura ao déficit hídrico, a fase reprodutiva foi classificada como a mais sensível a escassez de água. Para outra cultura aromática e medicinal, o alecrim-pimenta, os maiores valores do coeficiente de resposta (ky) foram observados na fase inicial e de floração em pesquisa realizada em Montes Claro – MG por Alvarenga et al. (2012). Marinho et al. (2013), utilizando o método de dissipação térmica, verificaram que plantas de pimenta Tabasco submetidas a déficit hídrico no primeiro ciclo de cultivo e após 14 dias de reposição de água apresentaram menor fluxo de seiva quanto maior foi a restrição de água.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica da água no sistema solo-planta no cultivo da pimenta Tabasco em ambiente protegido e sob manejo da irrigação com déficit hídrico controlado, com níveis de déficit aplicados a partir das fases vegetativa ou reprodutiva na região de Piracicaba-SP.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do local e delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido, no Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ – USP, Piracicaba, São Paulo, 22°42’ S, 47°38’ W e 580 m de altitude, no período de setembro de 2009 a julho de 2010.

Utilizou-se a cultura da pimenta cv. Tabasco (*Capsicum frutescens*). O transplantio foi realizado quando as mudas estavam com quatro folhas definitivas, que ocorreu aos 67 dias após o semeio - DAS (05 de dezembro de 2009), no espaçamento de 1,1 m x 0,8 m, utilizando-se canteiros com 0,1 m de altura e 0,3 m de largura.

Foram coletadas amostras de solo do canteiro nas profundidades de 0-40 cm para a caracterização físico-hídrica do mesmo no Laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ-USP, de acordo com metodologias proposta por EMBRAPA (1997). Ajustou-se a curva de retenção de umidade no solo pela metodologia proposta por van Genuchten (1980) mediante utilização do programa (RETention Curve), do Salinity Laboratory, USDA.

4.2 Delineamento experimental

Foram testados oito tratamentos em delineamento experimental em blocos casualizados, em quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro lâminas de irrigação (L) - 100% da Evapotranspiração da cultura (ETc) (L100), 80% ETc (L80), 60%

ETc (L60) e 40% ETc (L40) inicializados em duas épocas distintas. A primeira época foi na da fase vegetativa (E1), aplicada a partir dos 39 dias após transplântio (DAT) e a outra na fase de floração - frutificação (E2), iniciando aos 59 DAT.

Distribuiu-se dois blocos em duas estufas, com oito parcelas no formato de canteiro com 4 m de comprimento, 3,2 m de largura e 0,8 m de bordadura, contendo quatro plantas, tendo sido utilizado apenas as duas plantas centrais como unidades experimentais. Para controlar a umidade do solo entre as parcelas foram inseridos plásticos nas margens dos canteiros até a profundidade de 0,7 m, evitando assim o fluxo de água indevido.

4.3 Quantificação da demanda hídrica da pimenteira

Até o estabelecimento da cultura, aos 38 DAT, as irrigações foram realizadas com lâminas com 100% da evapotranspiração da cultura - ETc determinada por lisímetros de pesagem. A partir daí, essas lâminas passaram a ser diferenciadas em 80, 60 e 40% da ETc na época 1 (fase vegetativa (39 DAT)) e na época 2 (fase floração-frutificação (59 DAT)).

Para a construção dos lisímetros confeccionaram-se plataformas de pesagem com célula de carga (ALFA GL 200 e GL 500), centralizadas entre duas chapas de aço carbono, ligadas a um coletor de dados, Datalogger CR10X, para leitura e armazenamento. Utilizou-se caixas de polietileno (100 e 250 L), sob plataformas, as quais funcionaram como lisímetros de 100 e 250 kg.

A calibração dos lisímetros foi realizada aplicando-se massas de solo conhecidas e anotando-se o respectivo sinal elétrico (mV). De posse dos dados da variação da massa e voltagem, ajustou-se uma equação por regressão linear, utilizada para conversão de sinal elétrico em massa. Pela variação de massa dos lisímetros determinou-se em escala diária a evapotranspiração da pimenteira ($L \text{ planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). Foram desconsiderados os valores negativos de variação de massa, pois, representavam as irrigações. Inicialmente, até os 74 DAT foi utilizado o lisímetro 100 kg devido a sua melhor resolução, o que era desejado na fase de desenvolvimento inicial da pimenteira, quando a demanda de água era menor e, em seguida, utilizou-se o lisímetro 250 kg.

Os dados de evapotranspiração de cultura, em base de volume foi utilizado para a irrigação dos canteiros, para a quantificação da lâmina de irrigação a ETc foi convertida em mm, considerando a área disponível de $0,74 \text{ m}^2$ (lisímetro 100 kg) e de $0,78 \text{ m}^2$ (lisímetro 250 kg), e de $0,88 \text{ m}^2$ para as plantas dos canteiros (tratamentos).

Fornecimento de água para a pimenteira

O sistema de irrigação adotado foi do tipo gotejamento, utilizando-se emissores do tipo autocompensante, com vazão nominal de 2 L. h^{-1} . Os gotejadores foram acoplados (on-line) às linhas de irrigação (polietileno 16 mm), num espaçamento de 0,8 m, com válvulas solenóides instaladas na linha secundária que permitiram aplicar o volume de água diferenciado por tratamento.

Após a montagem do sistema, foram realizados testes de uniformidade com coletores em todos os emissores. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) teve valor de 98,1% e a vazão média de $2,24 \pm 0,05 \text{ L. h}^{-1}$.

4.4 Variáveis analisadas e testes estatísticos

Foi realizado o monitoramento do potencial mátrico no perfil do solo (Ψ_m) por meio de três baterias (repetições) de tensiômetros para cada tratamento, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Os tensiômetros foram instalados no solo a 20 cm de distância do caule da planta,

distando 10 cm entre eles. As leituras foram realizadas duas a três vezes por semana, sempre antes das irrigações. Os dados de potencial mátrico foram plotados para observação da sua variação em função dos manejos de irrigação adotados.

O potencial da água na folha da pimenteira foi determinado antes do alvorecer, utilizou-se uma folha (exposta ao sol) coletada na porção média, em quatro plantas por tratamento, foram realizadas amostragem aos 68, 96 e 110 dias após transplante (DAT). As amostras foram acondicionadas e transportadas conforme MELO et al. (2007) e as medições de potencial da água na folha foram efetuadas utilizando uma câmara de pressão (Modelo 3005, Soil Moisture Equipment Corporation, Santa Bárbara, CA, EUA).

O incremento de crescimento e do diâmetro de caule das plantas foram calculados considerando a diferença entre a medida atual e anterior de altura e diâmetro, realizadas ao longo do experimento.

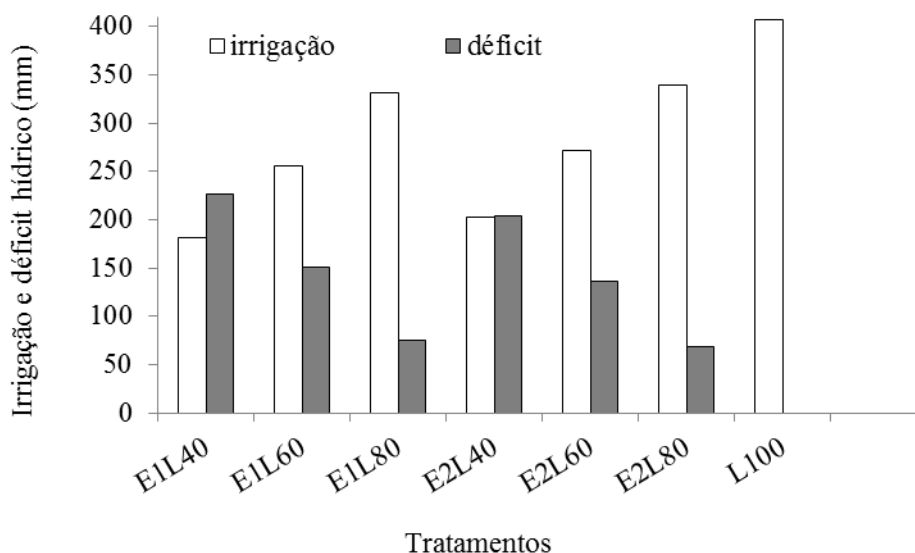
O fator de resposta da cultura ao estresse hídrico (Ky) foi determinado de acordo com Doorenbos & Kassam (1979) para a produção de frutos considerando a colheita total, pela relação entre a redução relativa da produção e a redução relativa da lâmina de irrigação. Foram consideradas produção potencial (ym) e a lâmina de irrigação potencial (Lm) aquelas obtidas para o tratamento correspondente à lâmina de irrigação a 100% da Evapotranspiração da cultura (ETc) (L100) e a produtividade real (yr) e lâmina real aquelas obtidas pelos demais tratamentos.

Os dados de potencial da água na folha foram submetidos à análise de variância para testar a significância ($p < 0,05$) das lâminas de irrigação (plena e com restrição) diferenciadas na fase vegetativa (E1) e reprodutiva (E2) e quando significativo, determinou-se a tendência por meio de análise de regressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As lâminas acumuladas aplicadas durante um ciclo de cultivo de 208 dias da pimenta Tabasco e o déficit hídrico estão apresentadas na Figura 1. Os valores de lâminas totais aplicadas variaram de 181 mm (tratamento E1L40) a 406,7 mm no tratamento controle (L100 durante todo o ciclo fenológico), considerando uma área de 0,88 m² (área do canteiro) e as reduções das lâminas de irrigação em 60, 40 e 20 % (E1L40, E1L60 e E1L80) representando uma economia de água de aproximadamente 45% de água no ciclo da cultura quando o déficit de 60% foi imposto a partir da E1 (E1L40). Resultados semelhantes de lâminas foram verificados em estudos realizados em ambiente protegido e no sudeste brasileiro, Piracicaba-SP, com a mesma cultivar, totalizando um valor de 459 mm, ciclo de 245 dias (Chaves, 2008) e de 461 mm, ciclo de 188 dias (Paula, 2008). A caracterização físico-hídrica do solo encontram-se nas tabelas 1 e 2.

Figura 1. Lâminas líquidas aplicadas e déficit hídrico acumulado imposto na pimenta Tabasco, em função das lâminas de irrigação e épocas de diferenciação das lâminas, fase vegetativa e floração-frutificação, em ambiente protegido, Piracicaba-SP.



E - época de diferenciação das lâminas de irrigação: E1- Fase vegetativa; E2- Fase floração-frutificação; L- Lâminas de irrigação aplicadas: L40, L60, L80 e L100.

A umidade na capacidade de campo e o ponto de murcha permanente apresentados estão coerentes com a classificação granulométrica.

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica do solo utilizado no experimento, Piracicaba-SP, 2009.

Prof.	Fração granulométrica			Classe Textural	ds	Ks
cm	(%)				(g.cm ⁻³)	(cm ³ cm ⁻²)
	Areia	Silte	Argila			
0-20	39,40	17,70	42,90	Argiloso	1,45	24,06
20-40	41,33	15,50	43,17		1,48	-

ds- densidade do solo; Ks- condutividade hidráulica do solo saturado.

Tabela 2. Umidade do solo na capacidade de campo e ponto de murcha permanente, disponibilidade total de água no solo e parâmetros da curva de retenção do solo utilizado no experimento, Piracicaba-SP, 2009.

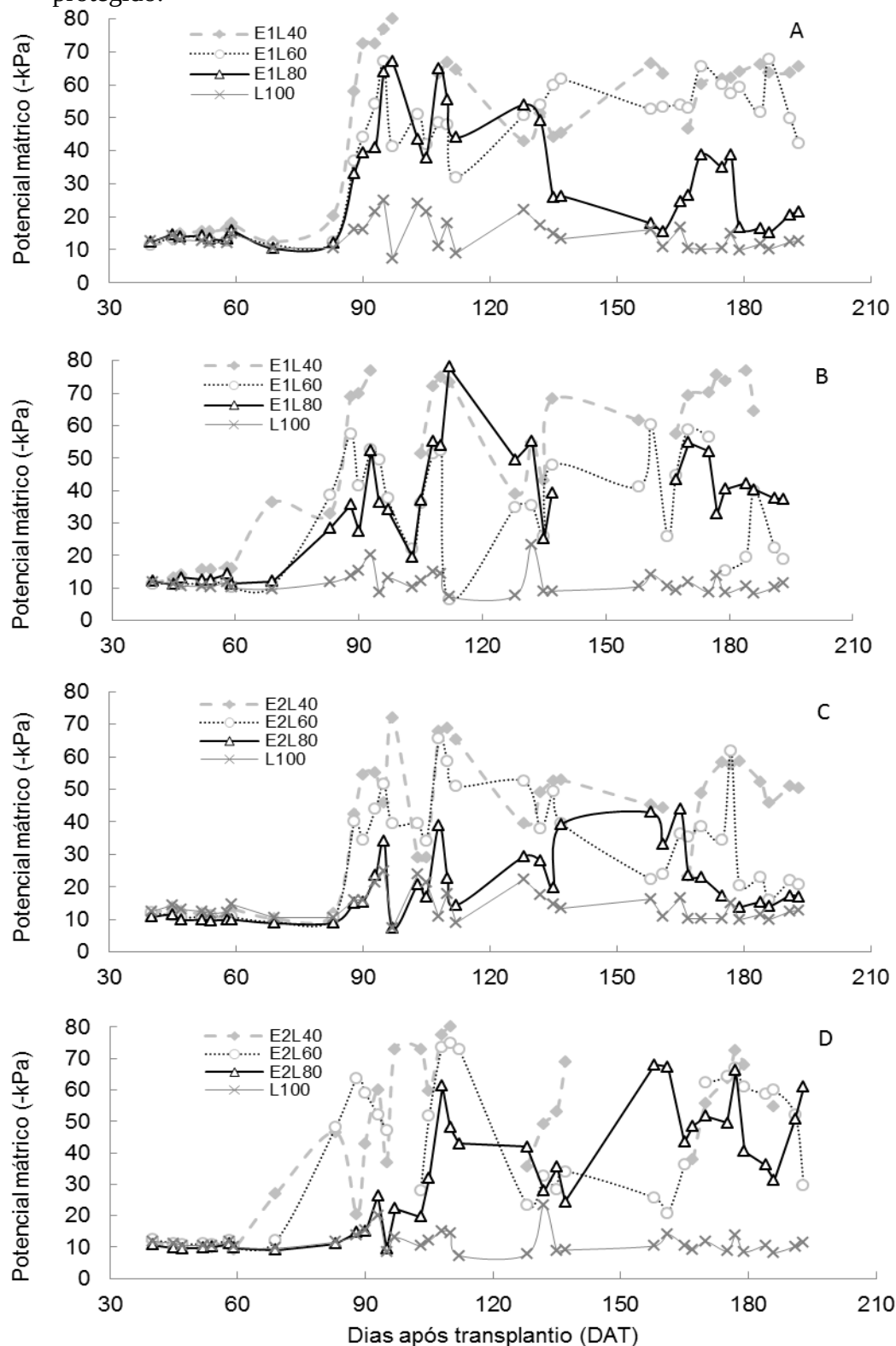
Camada do solo	Umidade			Parâmetros curva retenção			
	1/3 atm	15 atm	DTA	Θ _r	θ _s	α	N
cm	(g.g ⁻¹)		(mm.cm ⁻¹)	(cm ³ cm ⁻³)			
0-20	0,239	0,200	0,565	0,1890	0,4011	0,1080	1,3606
20-40	0,239	0,196	0,636	0,2697	0,5736	0,1055	1,3646

DTA- disponibilidade total de água no solo, Θ_r- umidade residual, θ_s- Umidade na saturação, α e n- coeficientes de ajuste van Genuchten.

Os valores de umidade na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente foram semelhantes nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm do solo. Os valores encontrados tanto para a capacidade de campo como para o ponto de murcha permanente são baixos, considerando que o solo foi classificado texturalmente como argiloso. De acordo com Daker (1976), os valores de capacidade de campo podem variar de 0,04 a 0,7 g.kg⁻¹ a depender do tipo de solo, já para umidade no ponto de murcha pode variar de 0,02 (solos arenosos) até 0,3 g.kg⁻¹ (solos argilosos). Todavia, os dados de umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha foram pequenos e consequentemente apresentaram valores de disponibilidade total de água no solo baixo (DTA = 0,56 mm/cm), devido à semelhança com solo arenoso (grande quantidade de partículas de areia na sua constituição granulométrica), para o qual segundo Bernardo et al. (2006) a DTA varia de 0,6 – 1,0 mm/cm, podendo promover um comportamento de armazenamento de água no solo também semelhante ao solo arenoso, requerendo cuidados no turno de rega e na lâmina de irrigação a se aplicar.

Os valores de potenciais mátricos do solo cultivado com pimenta ‘Tabasco’ em função das lâminas e épocas de diferenciação destas encontram-se apresentados na Figura 2.

Figura 2. Potencial mátrico, em função das lâminas e das épocas de diferenciação das lâminas de irrigação em pimenta ‘Tabasco’ (Figura 2A e 2C, referentes a camada 20 cm do solo e Figura 2B e 2D, camada de 40 cm do solo), em ambiente protegido.



E - época de diferenciação das lâminas de irrigação: E1- Fase vegetativa; E2- Fase floração-frutificação; L- Lâminas de irrigação aplicadas: L40, L60, L80 e L100.

Nota-se que os valores mais negativos de potencial mátrico ocorreram nos tratamentos submetidos ao déficit hídrico e que os tratamentos que tiveram maior restrição hídrica imposta a partir da fase vegetativa, E1, aos 39 DAT, apresentaram maior incremento da extração de água na camada mais profunda (40 cm), aos 88 DAT. Resultados semelhantes foram observados quando a diferenciação das lâminas de irrigação ocorreu a partir da fase floração-frutificação (E2).

Nos tratamentos cuja diferenciação da irrigação foi inicializada aos 39 dias, o potencial mátrico do solo alcançou valor da ordem de -80 kPa, nos tratamentos L40 e L60, valores de potencial mátrico do solo altamente negativos (< -70 kPa) foram verificados a partir dos 90 DAT (E1) e aos 97 DAT (E2).

Variações elevadas de potencial mátrico do solo na profundidade de 20 cm não foram apresentadas no tratamento controle (L100 durante todo o ciclo fenológico), o qual se manteve em torno de -7 a -27 kPa. Estes resultados estão de acordo com observação realizada por Lima et al. (2013) ao estudarem a pimenta Cayenne sob diferentes níveis de potenciais mátricos (-20, -40, -60 e -120 kPa), em Lavras-MG, de setembro de 2011 a abril de 2012, estes autores verificaram que o valor de potencial de -20 kPa mostrou-se mais adequado para a irrigação da pimenta tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva.

Vale salientar, que não foi possível a determinação de potencial mátrico inferior a -80 kPa, por se utilizar tensiômetros, uma vez que estes apresentam limitações quanto a sua funcionalidade, a partir desse valor. Contudo, os potenciais mátricos obtidos revelaram que as plantas foram realmente submetidas a níveis críticos de déficit hídrico no solo.

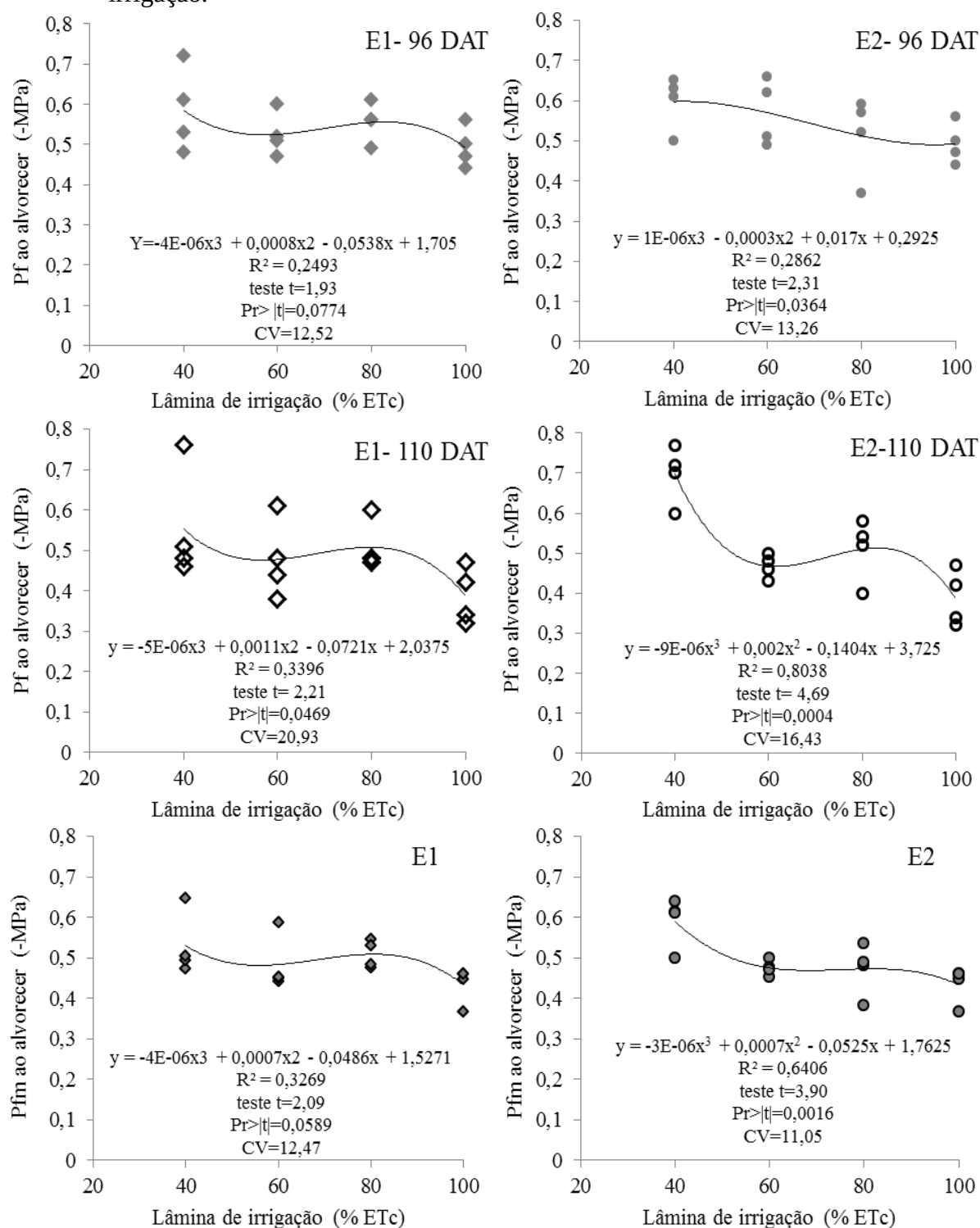
Constatou-se que a diferenciação da lâmina de irrigação a partir da fase vegetativa (E1) proporcionou déficit hídrico acumulado (duração e intensidade do déficit) maior que quando aplicado a partir da fase de floração-frutificação (E2), o que pode ser observado pelo potencial mátrico mais negativo nas camadas do solo de 20 a 40 cm. Podendo ser observado, que a partir dos 88 DAT, houve aumento de extração de água na camada de 20 a 40 cm, pelos tratamentos E1L40, E1L60 e E1L80, em relação aos da E2, provavelmente, devido à menor disponibilidade de água na camada superior.

Houve efeito significativo da diferenciação das lâminas e das épocas de imposição do déficit hídrico sobre o potencial da água na folha antes do alvorecer aos 96 e 110 DAT e para o potencial da água na folha médio (Figura 3).

O potencial de água na folha, antes do alvorecer, atingiu o valor de até -0,76 e -0,77 MPa para os tratamentos E1L40 e E2L40. Resultados semelhantes aos encontrados por Dorji et al. (2005), na Nova Zelândia nos quais os potenciais da água na folha de pimenta, ao alvorecer, variaram de -1,0 a -0,8 MPa no tratamento sob déficit de irrigação à 50% da irrigação comercial. Segundo Deloire et al. (2004), quando os valores de ψ_b são maiores que -0,2 MPa, o manejo de água é considerado adequado, uma vez que a ocorrência de estresse hídrico é suave ou inexistente. Como os valores de potencial da água na folha da pimenteira o alvorecer foram mais negativos, considera-se que as mesmas encontravam-se sob estresse moderado a severo, principalmente, quando houve a restrição de água de 40 e 60 % (L-40% e L-60% da Evapotranspiração da cultura). Estes resultados confirmam que o potencial hídrico de base pode ser considerado um indicador muito sensível de estresse hídrico, principalmente quando ocorrer limitação de disponibilidade de água no solo Carbonneau et al. (2003).

A tendência polinomial de terceiro grau foi a que melhor se ajustou ao valor do potencial da água na folha antes do alvorecer aos 96, 110 DAT e ao valor médio do potencial em função das lâminas de irrigação, para ambas as épocas de diferenciação da irrigação.

Figura 3. Potencial da água na folha, ao alvorecer aos 96 e 110 DAT e o potencial da água na folha médio, em função das lâminas e das épocas de diferenciação das lâminas de irrigação.



E - época de diferenciação das lâminas de irrigação: E1- Fase vegetativa; E2- Fase floração-frutificação; L- Lâminas de irrigação aplicadas: L40, L60, L80 e L100.

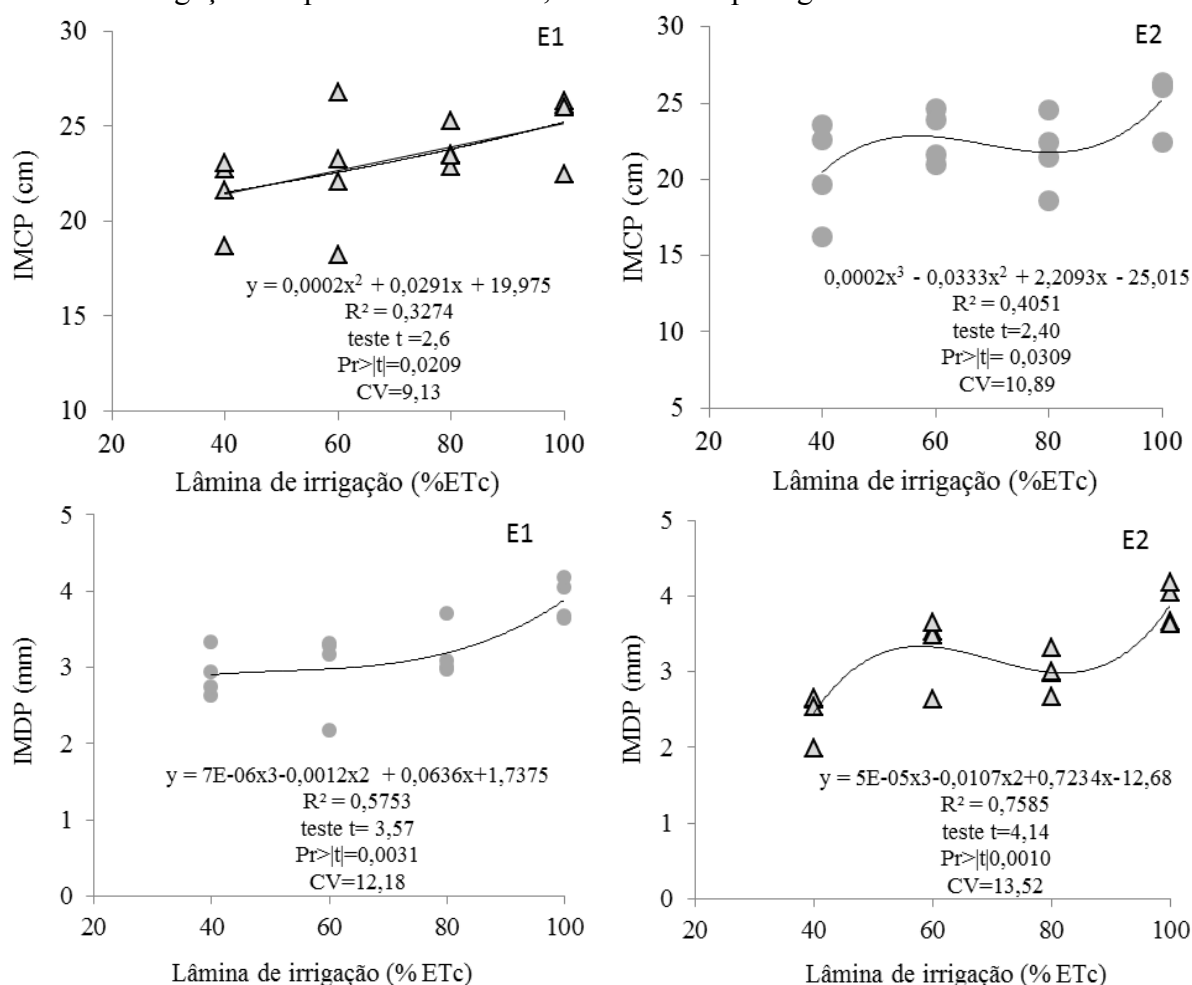
O modelo polinomial de terceiro grau descreveu ajuste satisfatório para o potencial da água na folha da pimenteira determinado ao alvorecer e explica 80,38% (aos 110 DAT) e

64,06% das variações totais, em função das lâminas e quando a diferenciação desta foi iniciada a partir da fase reprodutiva (E2), aos 59 DAT. Este resultado confirma a hipótese de que a redução da aplicação da lâmina de irrigação diminui o potencial da água na folha da pimenteira. Sendo mais expressivo o decréscimo do potencial quando a restrição de água ocorreu na fase floração-frutificação, possivelmente porque as pimenteiras apresentavam maior desenvolvimento e com a diminuição do fornecimento de água (Figura 1), e depois de 51 dias após a imposição do déficit, houve menor disponibilidade de água no solo (Figura 2A-2D) e menor habilidade dessas plantas em ajustar-se a nova condição hídrica do solo (Figura 3).

Entretanto, quando houve o déficit hídrico acumulado, imposto a partir da fase vegetativa (E2), as plantas apresentaram adaptações morfofisiológicas tais como: redução do potencial da água na folha (Figura 3), redução do incremento médio de crescimento da planta (Figura 4) e do incremento médio do diâmetro do colo do caule (Figura 4), em função da restrição da lâmina de irrigação, com tendências polinomiais, contudo o coeficiente de determinação foi pequeno para a E1, indicando que outros fatores podem ter influenciado estas variáveis e não apenas as lâminas. Em contrapartida a diferenciação da lâmina de irrigação a partir da E2 (59 DAT) explicou 40,51 % e 75,85 % dos valores de IMCP e IMDP, respectivamente, estes valores foram superiores aos encontrados quando a lâmina foi diferenciada a partir da fase vegetativa, aos 39 DAT.

Estes resultados corroboram com afirmativa de Santos & Carlesso (1998), os quais consideram que as plantas sob irrigação plena (L100) normalmente apresentam menos adaptação à deficiência hídrica no solo. Em estudo realizado por Gonzàlez-Dugo et al. (2007), na Espanha com pimenta, para produção de páprica foi verificado que a imposição do déficit e hídrico atrasou a maturação dos frutos, quando o mesmo foi aplicado moderadamente (menor decréscimo da lâmina) durante todo o ciclo ou maior déficit na fase de maturação, sendo que os valores de potencial da água no caule, variaram de -0,6 MPa a -1,2 MPa.

Figura 4. Incremento médio de crescimento da planta (IMCP) e de diâmetro da planta – IMDP, em função das lâminas e das épocas de diferenciação das lâminas de irrigação em pimenta ‘Tabasco’, em ambiente protegido.



E - época de diferenciação das lâminas de irrigação: E1- Fase vegetativa; E2- Fase floração-frutificação; L- Lâminas de irrigação aplicadas: L40, L60, L80 e L100.

De posse dos dados de redução da produção e da água aplicada determinou-se o coeficiente de estresse hídrico (Ky) da pimenteira em função das lâminas e épocas de diferenciação destas (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de lâmina real (Lr), lâmina potencial (Lm), produção real da cultura (Yr), produção potencial da cultura (Ym) e coeficiente de sensibilidade (Ky), para lâmina de irrigação (mm) e produção (kg planta⁻¹) de pimenta Tabasco, em função das lâminas e das épocas de diferenciação da irrigação, em ambiente protegido, Piracicaba, SP, 2009.

Tratamento	Lr	Lm	Yr	Ym	Yr/Ym	1-Yr/Ym	Lr/Lm	1-Lr/Lm	Ky
Tratamento	mm	mm	Kg.planta ⁻¹	Kg.planta ⁻¹	-	-	-	-	-
Fase vegetativa (E1)									
L40% ETc	180,6	406,7	0,46	0,87	0,52	0,48	0,44	0,56	0,86
L60% ETc	255,9	406,7	0,53	0,87	0,61	0,40	0,63	0,37	1,07
L80% ETc	331,6	406,7	0,79	0,87	0,91	0,09	0,82	0,18	0,51
Média									0,81
Fase floração-frutificação (E2)									
L40% ETc	202,9	406,7	0,56	0,87	0,64	0,36	0,5	0,5	0,72
L60% ETc	270,9	406,7	0,62	0,87	0,71	0,29	0,67	0,33	0,86
L80% ETc	338,8	406,7	0,65	0,87	0,74	0,26	0,83	0,17	1,55
Média									1,04

Ao considerar os valores médios das diferenciações das lâminas de irrigação, como realizado por diversos autores, se verifica maior sensibilidade das pimenteiras ao déficit hídrico (40, 60 e 80% da ETc) quando a imposição foi realizada a partir da fase de floração-frutificação (E2) comparada a fase vegetativa, sendo que, os valores de Ky da pimenta Tabasco foram de 0,81 (fase vegetativa) e 1,04 (fase floração-frutificação). Esses coeficientes, de acordo com a classificação de Doorenbos & Kassam (1979), sugeriram que a pimenteira apresentou sensibilidade baixa e de média/alta, respectivamente.

Estes resultados são semelhantes aos observados em pesquisa realizada por Lima et al. (2013) onde se identificou a fase reprodutiva (floração-frutificação) como a mais sensível ao déficit hídrico (coeficiente de resposta $k_y = 1,01$) para a pimenta Cayenne, em Uberaba-MG.

Vale ressaltar que, no presente estudo, verificou-se que ao utilizar as lâminas de irrigação a 40 e 60% da ETc os valores de coeficiente de respostas sugeriram que houve maior sensibilidade da cultura ao déficit hídrico quando a escassez de água foi imposta na fase vegetativa, atribui-se esse fato a maior duração do déficit, maior déficit hídrico acumulado no solo.

Em pesquisa realizada por Klar et al. (2004) foi relatado que geralmente as culturas quando submetidas à restrição hídrica rápida, necessitam realizar adaptações morfofisiológicas sendo verificado também no referido estudo, alterações estruturais dos tecidos dos ramos e hastes da cultura do pimentão para suportar com maior habilidade a escassez de água no solo, sob ciclos de deficiência hídrica no solo.

Nas condições do experimento com a pimenta Tabasco, constatou-se que quando o déficit hídrico foi moderado (déficit hídrico de 20%) na fase de vegetativa, ou severo, na fase de floração-frutificação, houve adaptação das plantas mais rápida à situação de escassez de água no solo. O déficit moderado pode favorecer o desenvolvimento do sistema radicular da planta e, conseqüentemente, o aumento da capacidade de absorção de nutrientes e água (MAROUELLI & SILVA, 2007).

Desta maneira, a adoção da estratégia de déficit hídrico programado (E1 e ou E2L80) pelo produtor pode resultar numa maior eficiência de uso de água na propriedade, resultando numa maior economia de uso de água. Contudo, a adoção dessa estratégia deve considerar as

perdas de produção máximas desejadas, restrição de água e possibilidade de ampliar a área de cultivo, visando aumento da rentabilidade do produtor e salvar os recursos hídricos.

6 CONCLUSÕES

O potencial da água no solo e na folha da pimenta Tabasco decresceu em função da redução das lâminas irrigação e das épocas de imposição do déficit hídrico.

As pimenteiras quando submetidas à restrição de água apresentaram estresse moderado a severo.

A fase reprodutiva da pimenta Tabasco é a mais sensível ao déficit hídrico.

A redução da lâmina de irrigação em 20% da evapotranspiração da pimenta Tabasco pode ser adotada para o manejo de irrigação, visando economia de água.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).

8 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Ivan C. A. Fator de resposta do alecrim-pimenta a diferentes lâminas de irrigação. **Pesquisa. Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 462-468, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**, 8.ed., Viçosa: Ed. UFV, 2006, 625p.

CARBONNEAU, A.; DELOIRE A.; COSTANZA, P. Le potentiel hydrique foliaire: sens des diferentes modalités de mesure. **Anais ...Gesco XIIIème journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduite de la vigne**. Uruguay, 2003.

CHAVES, S.W.P. **Efeito da alta frequência de irrigação e do “mulching” plástico na produção de pimenta ‘Tabasco’ fertirrigada por gotejamento**, 2008. 154p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

DAKER, A. **A Água na Agricultura; Manual de Hidráulica Agrícola**, 3º Vol. Irrigação E Drenagem, 5 Edição Ver. E Ampl. Rio De Janeiro, Freitas Bastos, 1976.

DELOIRE, A.; CARBONNEAU, A.; WANG, Z.; OJEDA, H. Vine and water. A short review. **Journal International des Sciences de la vigne et du vin**, Bordeaux, v.38, n.1, p.1-13, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield Response to Water**. Rome: FAO, 1979.193 p. (Technical note, 33).

DORJI, K.; BEHBOUDIAN, M.H.; ZEGBE-DOMINGUEZ, J.A. Water relations,growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, p. 137–149, 2005.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio De Janeiro, RJ). **Manual De Métodos de Análise de Solo** - 2. Ed .Rev Atual. – Rio de Janeiro –1997.

FRIZZONE, J.A.; MATIOLI, C.S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A. Viabilidade econômica de irrigação suplementar em cana-de-acúcar, *Sacharum* spp., para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

GONZÁLEZ-DUGO, V.; ORGAZ, F.; FERERES, E. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 114, p. 77–82, 2007.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.519-570, 1973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA**, 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/dbda> . Acesso em 07 jan. 2010.

KIRKHAM, M.B. **Principles of soil and plant water relations**. San Diego: Elsevier, 2005. 500 p.

KLAR, A.E.; JADOSKI,S.O. Irrigation and muching management for sweet pepper crop in protected environment. **Irriga**, v.9, .3, p.217-224, 2004.

KRAMER, P.J. & BOYER J. S. **Water relations of plants and soils**, San Diego: Academic, 1995, 495p.

LIMA, E. M. de C.; CARVALHO, J. de A.; REZENDE, F. C. ; THEBALDI, M.S. ; Gatto, R.F. Rendimento da pimenta cayenne em função de diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.11, p.1181–1187, 2013.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, H.R. **Irrigação da pimenteira**. Brasília; EMBRAPA/CNPQ, 2007. 14p. (Circular Técnica, 51).

MARINHO, L. B. VELLAME, L.M, FRIZZONE, J.A.; TOLENTINO JUNIOR, J.B.; FRAGA JUNIOR, E.F. Tabasco pepper transpiration by the heat dissipation probe method. **Water Resources and Irrigation Management**. v.2, n.1, p.11-18, 2013.

MELO, R.F. de; GRUBER, Y.B.G.; COELHO, R.D. Efeito do armazenamento das amostras para a determinação do potencial da água na folha pela câmara de pressão. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.3, p.326-337, 2007.

PAULA, F.L.M. Aplicação de CO_2 **Via Irrigação na Pimenta Tabasco Cultivada em Ambiente Protegido**, 2008. 133p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. 1991. 106p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.

SEZEN, S. M.; YAZAR, A.; EKER, S. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. **Agricultural Water Management**, v. 81, p.115-131, 2006.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

van Genuchten, M.T. van. 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.