

LISÍMETRO PARA MEDIDA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DO PIMENTÃO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SUBSTRATO¹

RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO²; FLÁVIA DINIZ MOTA³; LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO⁴; ANTONIO EVALDO KLAR⁵ E HÉLIO GRASSI FILHO⁶

¹ Trabalho originado da tese de doutorado do primeiro autor intitulada: “Cultivo de pimentão em sistema hidropônico com água de reúso em diferentes níveis de disponibilidade de água no substrato”

² Doutora, Programa de Pós-graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, 3780, CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, Brasil, renatacuba@hotmail.com.

³ Doutora, Programa de Pós-graduação em Agronomia/Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, 3780, CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, Brasil, fdmota@yahoo.com.br.

⁴ Professor Associado do Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia da Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Domingos da Costa Lopes, 780, Jardim Itaipu, 17602-496, Tupã-SP, Brasil, gabriel.filho@unesp.br.

⁵ Professor Emérito do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, 3780, CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, Brasil. E-mail: a.klar@unesp.br.

⁶ Professor Titular do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, 3780, CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, Brasil, helio.grassi@unesp.br.

1 RESUMO

Diante da necessidade de um método para o manejo da irrigação em cultivos em ambiente protegido e utilizando substrato, objetivou-se avaliar o desenvolvimento vegetativo, fisiológico e produtivo da cultura do pimentão, cultivado em lisímetro de lençol freático constante para mensurar o consumo diário de água. O experimento foi composto por três lisímetros de lençol freático constante, instalados em ambiente protegido. Em cada lisímetro cultivou-se uma planta de pimentão usando um vaso de polietileno com capacidade volumétrica de 15 L, o qual foi preenchido com substrato de fibra de casca de coco. A evapotranspiração da cultura foi obtida a partir da medida diária do volume consumido de solução nutritiva em cada lisímetro. A cultura foi avaliada a partir de medidas morfológicas, fisiológicas e produtivas. A produtividade obtida foi 3,9 kg por planta, com um consumo total de água de 905 mm e eficiência do uso da água de 43,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Do ponto de vista técnico, os lisímetros de lençol freático constantes proporcionaram desenvolvimento satisfatório para a cultura pimentão, em relação ao desenvolvimento vegetativo, fisiológico e produtivo, podendo ser usados para medir a evapotranspiração da cultura.

Palavras-chave: hortaliça, fibra de coco, solução nutritiva, capilaridade, transpiração.

CARVALHO, R. S. C.; MOTA, F. D.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; KLAR, A. E.; GRASSI FILHO, H.

LYSIMETER FOR EVAPOTRANSPIRATION MEASUREMENT IN PEPPER CULTURE IN HYDROPONIC SYSTEM WITH SUBSTRATE

2 ABSTRACT

The purpose of this project is to evaluate the vegetative, physiological and productive development of pepper crop cultivated in a constant water table lysimeter device, due to the necessity of a crop irrigation management method in a protected environment and utilizing substrate to measure the daily consumption of water and to compare with the data estimates of crop evapotranspiration. The experiment was composed of three lysimeters of constant water table, installed inside a protected environment. One pepper plant was grown in each lysimeter in a 15 L volumetric polyethylene vessel filled with coconut husk fiber substrate, and the daily volume of nutrient solution consumed by the plants was considered to be the evapotranspiration of the crop. The cultivation was evaluated from morphological, physiological and productive measurements. The productivity obtained was 3.9 kg per plant, with total water consumption of 905 mm and water use efficiency 43.8 kg ha⁻¹ mm⁻¹. The constant water table lysimeters provided satisfactory development for the pepper crop from the technical point of view relatively to the vegetative, physiological and productive development and it can be used to measure crop evapotranspiration.

Keywords: vegetable, coconut fiber, nutrient solution, capillarity, transpiration.

3 INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas em ambiente protegido e com uso de substratos vêm crescendo devido as vantagens que essa prática proporciona em comparação com o cultivo convencional, como maior produtividade, melhor qualidade do produto final, maior proteção em relação as variáveis climáticas e ausência de patógenos geralmente encontrados no solo. A cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) destaca-se entre as dez hortaliças mais consumidas no país (OLIVEIRA et al., 2015).

Os padrões de comercialização exigem frutos uniformes e em perfeito estado, conforme proposto pela CEAGESP (2016), considerando a coloração da superfície, medidas de comprimento e diâmetro de cada fruto.

É uma planta que requer o fornecimento constante de água, sendo essencial o controle da quantidade, uma vez que o excesso favorece o aparecimento de doenças que podem levar ao apodrecimento do colo e das raízes, bem como o abortamento de flores (CARVALHO et al., 2011). Além disso, em sistemas

hidropônicos com substrato sem recirculação, o fornecimento em excesso de solução nutritiva implica em maiores custos com fertilizantes e risco de contaminação do solo e lençol freático através dos nutrientes lixiviados.

O manejo da irrigação na maioria dos cultivos em substrato, é realizado através de sistemas automatizados, com volume e frequência pré-fixados, porém essa prática não leva em conta as variações das necessidades hídricas da cultura, podendo subestimar ou superestimar a necessidade de água da planta (MIRANDA et al., 2015). Além disso, as plantas são cultivadas em calhas ou vasos e por isso o volume de água disponível para as raízes pode ser menor que no solo, tornando necessário fornecer a água com maior frequência para suprir as demandas hídricas da cultura (VALANDRO et al., 2007).

A eficiência do uso da água é obtida a partir da relação entre a produtividade da cultura e a quantidade de água utilizada, e para determinar essa quantidade de água a evapotranspiração (ET) tem sido usada como parâmetro para manejar de maneira mais eficiente a irrigação e obter o uso mais

eficiente da água. A ET é a combinação de dois processos separados, a transpiração e a evaporação (ALLEN et al., 1998), podendo ser estimada ou medida diretamente. A sua estimativa através de equações matemáticas é o processo mais usual, porém são necessários dados climáticos e fisiológicos para sua aplicação (LORENZONI et al., 2019), o que nem sempre está disponível para o agricultor.

Os lisímetros são uma opção para medida direta da ET, constituem-se de recipientes preenchidos com solo, instalados no campo, e quando cultivados com alguma espécie vegetal permitem a medida da evapotranspiração dessa espécie, e sem cobertura vegetal possibilitam a medida da evaporação do solo (VALBUENA MATERÁN et al., 2009). De acordo com Campeche et al. (2011), são três tipos de lisímetros para a determinação da ET: de drenagem, de pesagem, e de lençol freático constante.

No Brasil, os lisímetros de lençol freático constante são bastante usados em pesquisas (VELLAME et al., 2012), e podem medir com confiança o consumo de água de culturas que não estejam submetidas a condições de estresse hídrico (PUPPO; GARCÍA-PETILLO, 2010).

Na literatura são encontrados resultados de pesquisas, com métodos diferentes de estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), mostrando o consumo de água do pimentão cultivado em solo (CARVALHO et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2012; COELHO et al., 2013; PANDORFI et al., 2016; SILVA et al., 2017; LORENZONI et

al., 2019), porém para o cultivo em substrato as informações são escassas.

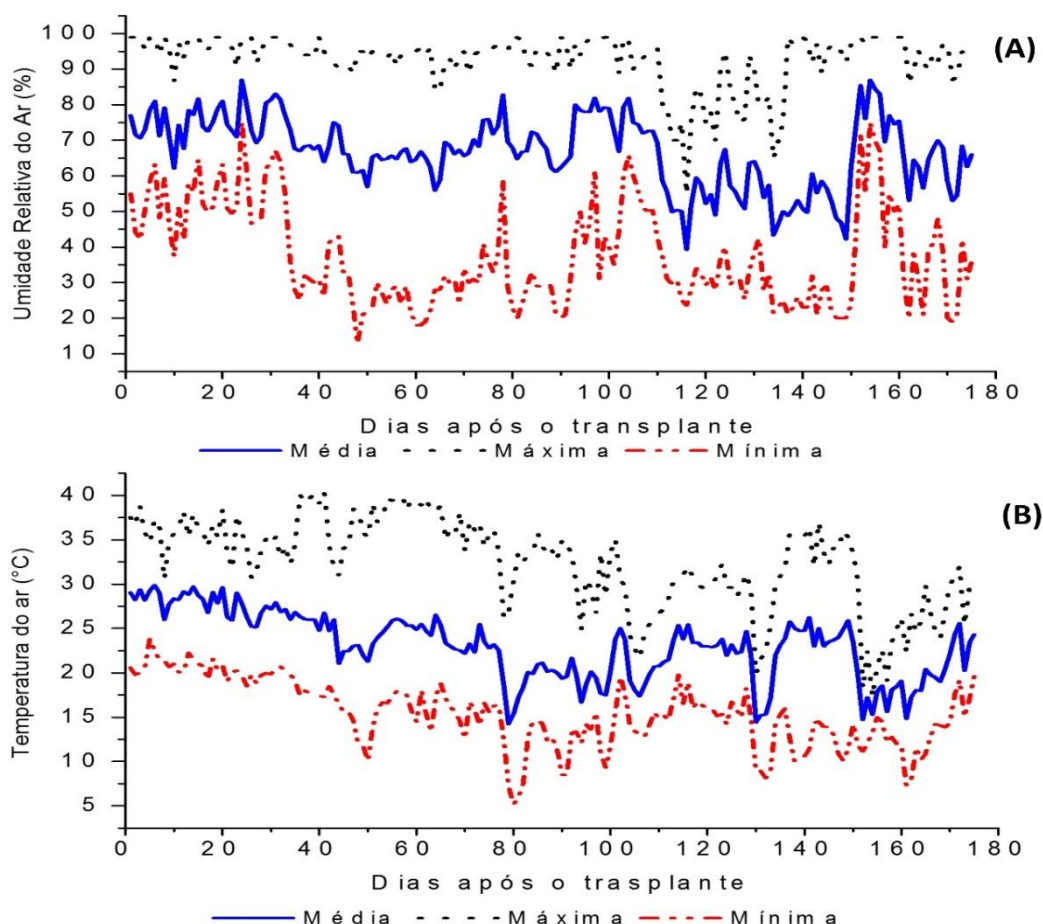
Diante da necessidade de um método simplificado para o manejo da irrigação em cultivos em ambiente protegido e utilizando substrato de fibra de casca de coco, este trabalho objetivou avaliar o desempenho de um lisímetro de lençol freático constante para determinar a evapotranspiração diária da planta, através do acompanhamento do desenvolvimento vegetativo, fisiológico e produtivo da cultura do pimentão.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido nas instalações do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista, na cidade de Botucatu-SP, com localização geográfica à 22° 51' S de latitude, 48° 26' W de longitude, e 786 m de altitude.

A condição climática da região enquadra-se como sendo Cfa pelo método de Köppen, clima temperado quente (mesotérmico) úmido, e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C (CUNHA; MARTINS, 2009; ALVARES et al., 2013). Ao longo do período experimental, de março a agosto do ano de 2018, a temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foram monitoradas diariamente, através de uma estação meteorológica automática (Nexus Incoterm®, 22° 51' S, 48° 26' W), com medições a cada uma hora, e os resultados são apresentados na Figura 1.

Figura 1. Dados ambientais da umidade relativa do ar média, máxima e mínima, e temperatura do ar média, máxima, mínima (B), monitorados durante o período experimental no interior da casa de vegetação, Botucatu, SP.

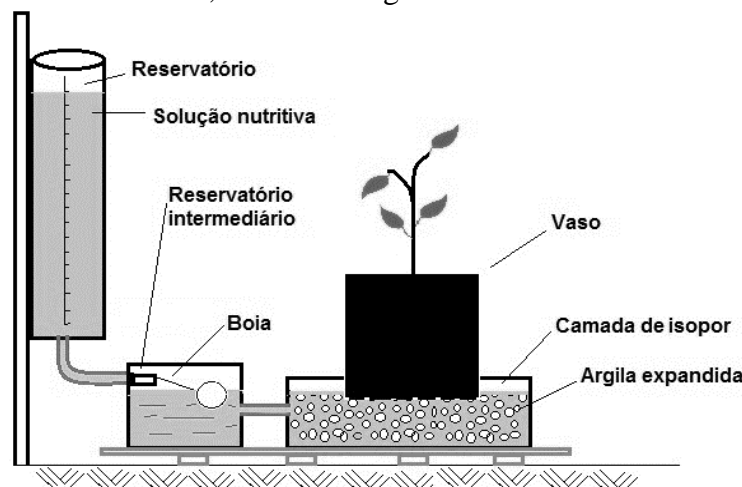


Os lisímetros de lençol freático constante foram instalados em casa de vegetação, sendo esta composta por estrutura metálica do tipo teto em arco, coberta com filme plástico transparente difusor (100 microns), 2,5 m de altura, 30 m de comprimento por 7 m de largura, e laterais fechadas com tela de sombreamento de 50%.

A estrutura de cada lisímetro foi composta por uma bandeja de polietileno com dimensões de 0,37 m de largura por 0,55 m de comprimento e altura de 0,12 m, contendo uma camada de 0,06 m de argila expandida de granulometria 6/15 mm. Em cada lisímetro foi colocado um vaso de

polipropileno com capacidade para 15 litros, preenchido com substrato de fibra de casca de coco, e cultivado com uma muda de pimentão. O nível constante da água na bandeja foi mantido através de um reservatório intermediário provido de um dispositivo flutuador (boia), sendo este reservatório abastecido por um segundo reservatório de água, graduado em milímetros, construído com tubo de PVC de diâmetro nominal de 0,075 m, e 1,10 m de altura. O vaso ficou enterrado na argila expandida, para obter um lençol de 0,03 m, a partir de sua base, sendo mantido constante o lençol freático (Figura 2).

Figura 2. Desenho esquemático representando a construção e o funcionamento do lisímetro de lençol freático constante, em corte longitudinal.



Os lisímetros foram construídos com materiais facilmente encontrados no comércio, totalizando três unidades. Com o intuito de mensurar a evapotranspiração da cultura em cada vaso, o espaço entre a borda da bandeja e o vaso foi coberto com uma placa de isopor e vedado por uma cobertura plástica, para evitar a evaporação da água da bandeja.

Por se tratar de um cultivo sem solo, os lisímetros foram constantemente alimentados com solução nutritiva recomendada para a cultura do pimentão. A composição da solução nutritiva seguiu as recomendações para a cultura, proposta por Furlani et al. (1999). As doses de fertilizantes usadas para preparar 1.000 litros de solução nutritiva foram: 750 g de Nitrato de Cálcio, 450 g de Nitrato de Potássio, 200 g de Fosfato Monoamônio, 400 g de Sulfato de Magnésio e 25 g de formulado contendo micronutrientes quelatizados (ConMicros Standard®). A quantidade de 25 g usada do formulado de micronutrientes apresenta os seguintes teores de micronutrientes: 0,4, 0,4, 1,81, 0,4, 0,09, 0,08, e 0,18 g de B, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn, respectivamente. Na fase de frutificação, a solução foi complementada com mais 150 g de fosfato monobásico de potássio e 1,9 g ácido bórico.

A leitura do volume de solução nutritiva consumido pela cultura foi diária, sempre no mesmo horário, entre as 8h00min e 9h00min, correspondendo a evapotranspiração da cultura medida (ET_c).

O híbrido de pimentão cultivado foi o Gaston, do tipo verde-vermelho, recomendado para o cultivo em ambiente protegido. As mudas de pimentão foram adquiridas em produtor credenciado junto ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), com cerca de 30 dias após a emergência. A condução das plantas foi feita deixando uma haste, seguida de duas, depois quatro e finalmente deixou-se o crescimento livre com o número indeterminado de hastes.

Ao longo do período experimental fez-se o monitoramento semanal do pH e da CE (condutividade elétrica) das soluções nutritivas dos reservatórios intermediários de cada lisímetro, os quais mantiveram-se dentro dos níveis considerados adequados, entre 5,5 a 6,5 e 1,8 dS m⁻¹, respectivamente, conforme proposto por Martinez (2017) e Ayers e Westcot (1999).

As variáveis biométricas avaliadas foram: altura (cm), diâmetro da base caulinar (cm), massa fresca e seca da parte aérea (g). As medições de altura e diâmetro da base caulinar foram realizadas a cada 30 dias, e a

massa fresca e seca da parte aérea, ao final do experimento. Também foram avaliados parâmetros fisiológicos utilizando o equipamento IRGA (“Infra Red Gas Analyser”), modelo LI-6400, LI-COR.

As medidas de caráter fisiológico, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, foram feitas aos 115 dias após transplante, nas três plantas dos lisímetros, na segunda folha com limbo totalmente expandido contadas a partir do ápice, no período das 9h00min às 11h00min da manhã, em dia sem presença de nuvens.

Os parâmetros de trocas gasosas medidos foram: taxa de assimilação de CO₂ (*A*, μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), condutância estomática (*g_s*, mol m⁻² s⁻¹), concentração interna de CO₂ na folha (*C_i*, μmol CO₂ mol⁻¹ ar), taxa de transpiração (*E*, mmol vapor d’água m⁻² s⁻¹). A partir da relação entre a taxa de assimilação de CO₂ e taxa de transpiração calculou-se a eficiência do uso da água na folha (*A/E*, μmol CO₂ (mmol H₂O)⁻¹), e a eficiência de carboxilação (*A/C_i*) foi obtida através da relação entre taxa de assimilação de CO₂ e concentração interna de CO₂ na folha.

A avaliação da fluorescência da clorofila *a* envolveu: medida da fluorescência máxima (*F_m'*), fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (*F'*) e fluorescência mínima (*F₀'*); e com estes resultados calculou-se os seguintes parâmetros: eficiência quântica potencial do fotossistema II (*F_v/F_m'*), eficiência quântica da antena (*F_v'/F_m'*), coeficiente de extinção fotoquímico (*q_P*), coeficiente de extinção não-fotoquímico (*q_{NP}*), e a taxa aparente de transporte de elétrons (*ETR*).

Para o cálculo da taxa aparente de transporte de elétrons, a fração de excitação de energia distribuída para o fotossistema II foi considerada 0,5, e a fração de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos absorvida pela folha 0,84 (DEMMIG; BJÖRKMAN, 1987).

Aos dois terços de desenvolvimento da cultura foram coletadas amostras de

folhas e de frutos de cada planta, e encaminhadas para o laboratório de análises de tecidos vegetais para determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, zinco e sódio, de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (1997).

A colheita dos frutos foi semanal, e teve início aos 80 dias após o transplante, com frutos colhidos com coloração da casca 100% verde. Cada fruto foi pesado, e classificado de acordo com os padrões de comercialização propostos pela CEAGESP (2016), a qual considera a coloração da superfície, medidas de comprimento e diâmetro de cada fruto para obter o grupo, classe, subclasse, respectivamente. A eficiência no uso da água (EUA) foi calculada a partir da razão entre produtividade (kg ha⁻¹) e o consumo total de água (mm).

Durante o desenvolvimento da cultura foram necessários tratamentos culturais como poda de ramos laterais e a retirada do fruto da primeira bifurcação. O monitoramento de pragas e doenças foi diário, por meio de avaliação visual. Foram aplicados Abamectin[®], Cabrio Top[®] e Bion WG[®], sendo o primeiro para o controle de ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e minadora (*Liriomyza huidobrensis*), e os dois últimos para o fungo oídio (*Oidio* spp), seguindo as recomendações de dosagem e aplicação de cada produto recomendados para a cultura.

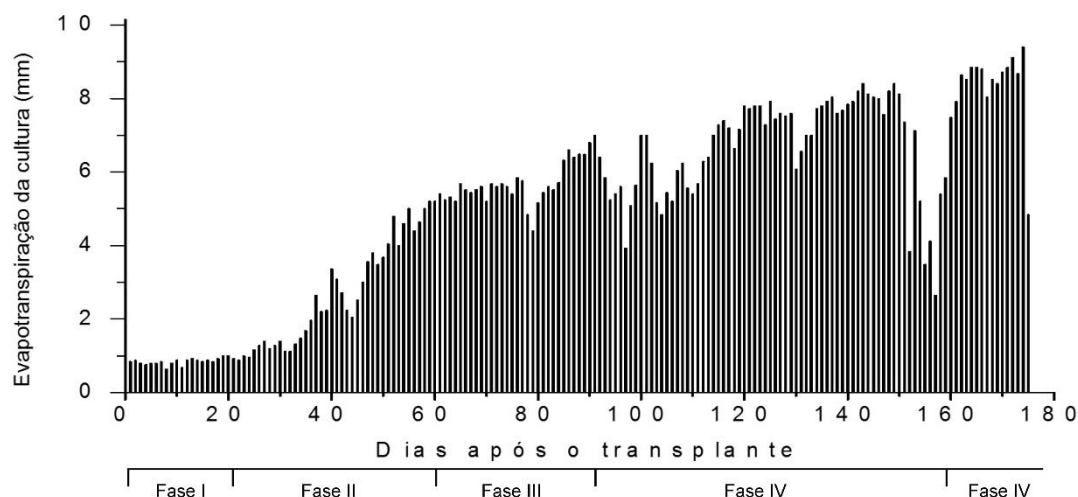
Os resultados obtidos das medidas de altura e diâmetro das plantas, ao longo do período experimental, foram submetidos a análise de variância com posterior teste de médias com o Teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, sendo considerado como variável independente a idade da planta, expressa em dias, após o transplante. Os demais resultados foram descritos e comparados com dados referentes a cultura reportados na literatura.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração da cultura medida através dos lisímetros de lençol freático é apresentada na Figura 3. É possível notar que nos primeiros 38 dias

após o transplante há um menor consumo de água pela cultura, e conforme o desenvolvimento da planta e condições climáticas do ambiente, esse consumo aumenta gradativamente.

Figura 3. Evapotranspiração da cultura diária (mm), medida pelos lisímetros de lençol freático constante, Botucatu-SP.



Legenda: Fase I (do transplante ao pegamento das mudas), Fase II (desenvolvimento vegetativo até início do florescimento), Fase III (florescimento até os primeiros frutos atingirem 50% do tamanho), Fase IV (produção plena), Fase V (declínio da produção).

Ao correlacionar o consumo de água com as fases de desenvolvimento fenológico da cultura propostos por Marouelli e Silva (2012), os quais estabelecem como Fase I do transplante ao pegamento das mudas, Fase II do desenvolvimento vegetativo até início do florescimento, Fase III do florescimento até os primeiros frutos atingirem 50% do tamanho, Fase IV a produção plena, Fase V o declínio da produção, nota-se que esse consumo acompanha o desenvolvimento das plantas.

A quantidade total de água demandada ao longo do período experimental foi de $905 \text{ mm} \pm 9,54$, sendo estes valores dentro da faixa do consumo de água relatados por Doorenbos e Kassam (2000) e Marouelli e Silva (2012), o qual pode variar de 450 a 1.500 mm, dependendo do período de cultivo e número de colheitas.

Lorenzoni et al. (2019) em um experimento para determinar o coeficiente de cultura (k_c) em ambiente protegido para plantas de pimentão usando lisímetros de lençol freático constante, relatam um consumo de água total de 282 mm e concluíram que o k_c indicado pela FAO (ALLEN et al., 1998) para a cultura do pimentão (0,6 Fase inicial, 1,05 Fase intermediária, e Fase final 0,9), subestima a demanda hídrica da cultura em ambiente protegido.

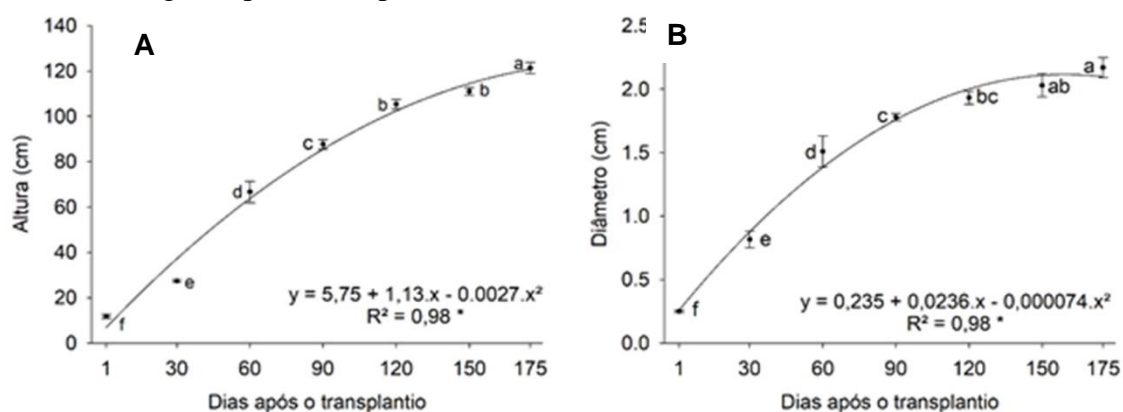
Para a maioria dos substratos a água disponível para as plantas fica em uma faixa de tensão entre 0,1 e 1 mca, enquanto para os solos, de maneira geral, é entre 0,6 e 1 mca (MAROUELI; SILVA, 2012), porém o volume reduzido para o desenvolvimento das raízes proporcionado pelo cultivo em vasos, faz com que seja necessário a irrigação mais frequente, quando comparada

a cultivos no solo. Além disso, segundo Materán et al. (2009), plantas cultivadas em lisímetros de lençol freático constante podem ter um maior crescimento devido a disponibilidade constante de água proporcionada por este sistema, podendo

superestimar a evapotranspiração em até 10 ou 20%.

O crescimento em altura e diâmetro ao longo do período experimental das plantas cultivadas nos lisímetros analisados estatisticamente por regressão são apresentados na Figura 4.

Figura 4. Análise de variância com posterior teste de médias com o Teste de Tukey, ao nível de significância de 5% para a altura (cm) (A) e diâmetro (cm) (B) das plantas ao longo do período experimental.



Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A curva de crescimento das plantas seguiu uma função polinomial quadrática, a qual é bastante usada para ilustrar resultados de crescimento de animais e vegetais (HOFFMAN; VIEIRA, 1977). Os coeficientes de determinação (R^2) para a altura e diâmetro foram superiores a 0,95, demonstrando ajuste adequado ao modelo escolhido (Figura 4).

Os maiores ganhos de altura e diâmetro foram observados nos primeiros 90 dias, sendo que aos 60 dias após o transplante as plantas já apresentavam altura média de 66,67 cm, correspondendo a

metade da altura no final do cultivo. O diâmetro aos 45 dias após o transplante correspondeu a pouco mais da metade do diâmetro final (Figura 4).

As medidas de trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a* realizadas aos 115 dias após o transplante foram usadas para demonstrar se houve algum efeito deletério nos cloroplastos e dano ao aparelho fotossintético (Tabela 1). A taxa de assimilação de CO_2 (A) ficou dentro do esperado para plantas com metabolismo de carbono C_3 , a qual varia entre 12 e 25 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$, de acordo com Pimentel (1998).

Tabela 1. Médias e desvio padrão das trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante, cultivadas em lisímetros de lençol freático constante.

Trocas gasosas	A	gs	Ci	E	A/E	A/Ci
Média	16,73	0,17	230,62	4,97	3,43	0,07
Desvio Padrão	0,77	0,02	9,35	0,89	0,61	0,00

Fluorescência da clorofila <i>a</i>	Fv/Fm	Fv'/Fm'	qP	qNP	ETR
Média	0,91	0,48	0,39	2,08	127,52
Desvio Padrão	0,02	0,02	0,02	0,22	4,55

Legenda: A: taxa de assimilação de CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹); gs: condutância estomática (mol m⁻² s⁻¹); Ci: concentração interna de CO₂ na folha (μmol mol⁻¹); E: taxa de transpiração (mmol m⁻² s⁻¹); A/E: eficiência do uso da água na folha (μmolCO₂ (mmol H₂O)⁻¹); A/Ci: eficiência de carboxilação; Fv/Fm: eficiência quântica potencial do FSII; Fv'/Fm': eficiência quântica da antena, qP: coeficiente de extinção fotoquímico, qNP: coeficiente de extinção não-fotoquímico, ETR: taxa aparente de transporte de elétrons.

A partir da abertura estomática ocorre a entrada de CO₂ e também a saída de vapor de água, fatores que estão relacionados com a eficiência do uso da água nas folhas e de carboxilação. Em plantas C₃, a eficiência foliar do uso da água fica entre 1 e 3 μmol CO₂ (mmol H₂O)⁻¹ (PIMENTEL, 1998). A média obtida para as plantas ficou acima desse valor, o que permite inferir que a condutância estomática e a concentração interna de CO₂ estão em níveis adequados para a cultura.

Em conjunto com as medidas de trocas gasosas também foram feitas medidas da fluorescência da clorofila *a* (Tabela 1). O valor de Fv/Fm, segundo Bolhar-Nordenkamp et al. (1989), quando abaixo de 0,75 indica danos ao aparelho fotossintético, e consequentemente fotoinibição. A média obtida para as plantas deste experimento foi de 0,91, sugerindo que não houve dano ao aparelho fotossintético, e as plantas não estavam sob estresse no momento das medições.

Para a eficiência quântica da antena (Fv'/Fm'), parâmetro relacionado a

eficiência de captura da excitação pelos centros de reação abertos do fotossistema II, Anderson (1986) descreve que para plantas expostas ao sol é esperado uma relação de 2:1 entre a eficiência quântica potencial do fotossistema II e a eficiência da antena, e a média obtida se enquadra nesta proporção.

O coeficiente de extinção fotoquímico (*qP*) avalia o metabolismo fotossintético do carbono, ou seja, se o ciclo de Calvin-Benson está ocorrendo normalmente. Kalaji et al. (2014) relatam que para a maioria das plantas os valores de *qP* variam entre 0 e 1, e para o coeficiente de extinção não fotoquímico (*qNP*) fica entre 0 e 10. O coeficiente de extinção não fotoquímico reflete todas as outras formas de dissipação de energia, principalmente o calor, e quanto menor essa dissipação, mais eficiente está sendo o processo de transporte de elétrons.

No que se refere a avaliação dos teores de nutrientes foliares, os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Teores foliares e nos frutos de nutrientes em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante, cultivadas em lisímetros de lençol freático constante.

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
Folhas											
Média	47,3	3,1	54,4	19,5	5,2	3,0	77,6	14,7	224,7	112,3	76,0
Desvio Padrão	2,4	0,2	1,1	4,2	0,6	0,3	13,9	0,6	30,7	7,0	5,2
Frutos											
Média	22,0	3,3	26,2	1,9	1,4	1,8	16,6	10,3	44,0	14,7	24,0
Desvio Padrão	1,1	0,2	2,7	0,1	0,1	0,1	1,1	0,6	14,1	0,6	1,7

Fonte: Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, FCA- UNESP.

Os teores foliares encontrados apresentaram-se de acordo com os teores considerados adequados para folhas recém-desenvolvidas e completamente expandidas de plantas de pimentão, propostos por Trani e Raij (1997). Esses resultados demonstram que o fornecimento da solução nutritiva através de capilaridade proporcionou a absorção necessária de nutrientes pela cultura. Segundo Barreto et al. (2012), a fibra de coco é um substrato adequado para a irrigação por capilaridade, devido às suas características, como a retenção de água e capacidade de elevação de água quando umedecido.

Quanto aos teores nos frutos (Tabela 2), ao compará-los com os valores esperados para as folhas nota-se que estão abaixo do mínimo proposto por Trani e Raij (1997). No entanto, é importante frisar que os frutos coletados para estas análises apresentavam o

máximo de desenvolvimento comercial, o qual considera frutos aptos a serem colhidos com diâmetro e comprimento a partir de 4 a 14 cm, respectivamente (NICK; BORÉM, 2016), e nenhum sinal de deficiência de nutrientes. A fase de desenvolvimento da planta, com muitos frutos em formação e outros próximos ao ponto de colheita, faz com que os nutrientes presentes em frutos completamente desenvolvidos sejam redirecionados para outros tecidos da planta, conforme relata Marcussi (2005) em uma pesquisa para determinar os teores de nutrientes presentes nas diferentes partes de plantas de pimentão o longo do ciclo da cultura.

Os resultados da massa seca da parte aérea são apresentados na Tabela 3, assim como os valores da produção por planta, produtividade, número de frutos e eficiência do uso da água.

Tabela 3. Resultados da massa seca da parte aérea, produção, produtividade, número de frutos por planta e eficiência do uso da água (EUA) das plantas cultivadas em cada lisímetro.

Lisímetros	Massa Fresca Parte Aérea (g)	Massa Seca Parte Aérea (g)	Produção (kg planta ⁻¹)	Produção ¹ (t ha ⁻¹)	Número de frutos por planta	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
1	726,4	125,6	3,9	39,1	15	43,7
2	712,3	123,9	3,9	38,7	15	43,7
3	696,2	113,6	4,0	39,9	15	44,1
Média	711,7	121,1	3,9	39,2	15	43,8
CV (%)	2,1	5,3	2,5	1,5	0,0	0,4

¹Produtividade considerando 10000 plantas por hectare; CV - coeficiente de variação.

Para todos os parâmetros demonstrados na Tabela 3, a variação das médias ficaram abaixo de 10%, permitindo inferir que as condições de cultivo foram semelhantes nos três lisímetros. Os resultados produtivos encontrados estão próximos dos resultados relatados por Charlo et al. (2012), os quais avaliaram diferentes híbridos de pimentão cultivados em fibra de coco, com produções variando de 3,55 a 4,32 kg planta⁻¹.

A produção para a cultura do pimentão reportada na literatura apresenta grande variação, isso é devido aos diferentes arranjos espaciais, formas e períodos de cultivos, além do híbrido cultivado, porém para cultivos em ambientes protegidos, de acordo com Miranda *et al.* (2015), são esperadas produções de 3 a 4 kg planta⁻¹.

O número de frutos por planta e o peso médio de cada fruto também variam bastante nos trabalhos encontrados na literatura. Santos et al. (2017), em um experimento para avaliar a produção de frutos em dois sistemas de poda em 15 genótipos diferentes de pimentão hidropônico, obtiveram resultados de 17 a 52 frutos por planta, com peso médio do fruto variando entre 85,45 e 235,61 g, sendo o maior número de frutos associado ao menor peso.

A eficiência no uso da água (EUA) (Tabela 3), é expressa pela relação entre a quantidade de matéria fresca produzida, neste caso os frutos, para cada unidade de água utilizada. Carvalho et al. (2011) obtiveram em ambiente protegido para o pimentão cultivado no solo e submetido a diferentes lâminas de irrigação, uma EUA de 74,76 kg ha⁻¹ mm⁻¹, valor superior ao encontrado neste estudo. Em um outro estudo para verificar o impacto de diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na cultura do pimentão desenvolvida em substrato, Aragão et al. (2012), encontraram EUA de 21,36 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

O conceito da EUA é relativo, para o qual a maior eficiência não representa a maior produtividade, ademais, a variação nos valores reportados na literatura são em função do manejo, espaçamento e sistemas de cultivo diferentes adotados, inviabilizando a comparação direta entre resultados.

Além dos resultados produtivos, a classificação dos frutos colhidos é de extrema importância. Na Tabela 4 são apresentadas as características relacionadas a qualidade dos frutos.

Tabela 4. Médias do peso, diâmetro, comprimento, e relação comprimento por diâmetro dos frutos colhidos nas plantas cultivadas nos lisímetros.

Parâmetros	Peso Fruto (g)	Diâmetro Fruto (cm)	Comprimento (cm)	Relação C/D
Média ¹	262,46	8,49	14,89	1,75
Desvio Padrão	41,23	0,74	0,78	0,09

¹ Média obtida a partir de 30 amostras de frutos dos três lisímetros.

As características dos frutos mensuradas atendem aos padrões esperados para híbridos, de acordo com a CEAGESP. Os frutos foram classificados em Grupo, Subgrupo, Classe, Subclasse e Categoria. O grupo é de acordo com o formato do fruto, para este trabalho, os frutos se enquadraram no grupo retangular, caracterizado pelo comprimento maior que o diâmetro transversal, e relação diâmetro por comprimento mais distante de um.

O subgrupo é em função da coloração, neste caso, verde, com frutos

colhidos na tonalidade de verde escuro. A classe e subclasse relacionam-se com o comprimento e diâmetro, respectivamente.

A categoria classifica em função da qualidade dos frutos, e estabelece os percentuais de defeitos leves e graves permitidos, e classifica em Extra, Categoria I, Categoria II e Categoria III. Na Tabela 5 são apresentados os percentuais de distribuição dos frutos em cada classificação.

Tabela 5. Classificação e distribuição em percentuais para Classe e Sub-classe dos frutos de pimentões cultivados em lisímetros de lençol freático constante de acordo com os padrões da CEAGESP.

Lisímetros	Grupo	Subgrupo	Classe (%)		Sub-classe (%)			Categoria
			15	12	6	8	10	
1	Retangular	Verde	56,2	43,8	25,0	75,0	0	Extra
2	Retangular	Verde	43,8	56,2	43,8	56,2	0	Extra
3	Retangular	Verde	60,0	40,0	31,2	62,5	6,3	Extra

Em média mais da metade dos frutos, 53,33% apresentaram comprimento superior a 15 e 64,58%, e diâmetro entre 8 e 10 cm. Os frutos maiores que 15 cm de diâmetro são comercializados com melhor preço. Não foram encontrados nenhum dos defeitos não permitidos pelos padrões mínimos de qualidade, os quais são ferimentos, deterioração microbiana, murchamento, deformação grave e viroses, e portanto, não houve descarte de frutos.

Através do desempenho da cultura do pimentão, em relação aos parâmetros morfológicos, fisiológicos e produtivos avaliados, é possível inferir que os lisímetros

de lençol freático constante proporcionaram desenvolvimento satisfatório da cultura, compatível com o esperado para ambiente protegido.

6 CONCLUSÕES

Do ponto de vista agrônômico, os lisímetros de lençol freático constantes proporcionaram desenvolvimento satisfatório para a cultura do pimentão, em relação ao desenvolvimento vegetativo, fisiológico e produtivo. A produtividade obtida foi 3,9 kg por planta, com um

consumo total de água de 905 mm e EUA 43,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Os lisímetros de lençol freático constante podem ser usados para efetuar medidas da evapotranspiração da cultura do pimentão cultivado em substrato de fibra de casca de coco, usando solução nutritiva e em casa de vegetação.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas concessões de bolsas de doutorado ao primeiro e segundo autor, e de produtividade em pesquisa (Processo nº 313570/2017-5) ao terceiro autor. Agradecem também a empresa NaanDanJain pela doação de parte do sistema de irrigação.

8 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. S.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, A. E. R.; SANTOS, A. N. Nutrientes minerais em pimentão fertirrigado sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 681-687, 2012.
- ANDERSON, J. M. Photoregulation of the composition, function, and structure of thylakoid membranes. **Annual review of plant physiology**, Camberra, v. 37, n. 1, p. 93-136, 1986.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Dranaige Paper, 56).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVEZ, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARAGÃO, V. F.; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M.; FEITOSA, H. O.; FEITOSA, E. O. Produção e eficiência no uso de água do pimentão submetido a diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 6, n. 3, p. 207-216, 2012.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999.
- BARRETO, C. V. G.; TESTEZLAF, R.; SALVADOR, C. A. Ascensão capilar de água em substratos de coco e de pinus. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p. 385-399, 2012.
- BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll Fluorescence as a Probe of the Photosynthetic Competence of Leaves in the Field: A Review of Current Instrumentation. **Functional Ecology**, Londres, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007. **Diário Oficial da União**: seção 01, Brasília, DF, n. 04, p. 8, 24 maio 2007. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLe.gislacao.do?operacao=visualizar&id=17762>. Acesso em: 5 ago. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 31, de 23 de outubro de 2008. **Diário Oficial da União**: seção 01, Brasília, DF, n. 207, p. 20, 24 out. 2008. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=19154>. Acesso em: 5 ago. 2018.

CAMPECHE, L. F. M. S.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 519-525, 2011.

CARVALHO, J. A.; REZENDE, F. C.; AQUINO, R. F.; FREITAS, W. A.; OLIVEIRA, E. E. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 569-574, 2011.

CEAGESP. **Pimentão**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/pimentao/pimentao.html>. Acesso em: 3 dez. 2016.

CHARLO, H. C. O.; OLIVEIRA, S. F.; VARGAS, P. F.; CASTOLDI, R.; BARBOSA, J. C.; BRAZ, L. T. Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 125-131, 2012.

COELHO, M. E. H.; FREITAS, F. C. L.; CUNHA, J. L. X.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. G. O. Production and efficiency of water usage in capsicum crops under no-tillage and conventional planting systems. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 741-749, 2013.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DEMMIG, B.; BJÖRKMAN, O. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, Berlin, v. 170, n. 4, p. 489-504, 1987.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 2000.

FURLANI, P. R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L. C. P.; FAQUIN, V. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. **Informe Agropecuário**, Campinas, v. 20, n. 5, p. 90-98, 1999.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão**: uma introdução à econometria. São Paulo: HUCITEC/EDUSP, 1997.

KALAJI, H. M. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. **Photosynthesis Research**, Berlin, v. 122, n. 2, p. 121-158, Nov. 2014.

LORENZONI, M. Z.; REZENDE, R.; SANTOS, F. A. S.; SOUZA, A. H. C.; SERON, C. C.; NASCIMENTO, J. M.R. Estimation of the crop coefficient (kc) for bell pepper under greenhouse conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 10, p. 741-746, out. 2019.

MARCUSSI, F. F. Uso da fertirrigação e teores de macronutrientes em planta de pimentão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 642-650, 2005.

MARTINEZ, E. P. **Manual prático de hidroponia**. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2017.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Irrigação na cultura do pimentão**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. (Circular Técnica, 101).

MATERÁN, F. J. V.; OLIVEIRA, R. A.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; RUIZ, H. A.; TAGLIAFERRE, C. Minilímetro com lençol freático constante operando com Irrigâmetro® para medida da evapotranspiração de referência. **Revista Científica UDO Agrícola**, Sucre, v. 9, n. 1, p. 243-258, 2009.

MIRANDA, F. R.; ABREU, R. T. M.; MESQUITA, A. L. M.; MARTINS, M. V. V.; ROSSETTI, A. G. **Irrigação automatizada com sensores Irrigas® para o cultivo do pimentão em substrato de fibra de coco**. Fortaleza: Embrapa, 2015. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 96).

NICK, C.; BORÉM, A. (ed.). **Pimentão: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2016.

OLIVEIRA, F. A.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; SILVA, R. C. P.; LIMA, K. S. Nutrição mineral do pimentão submetido a diferentes manejos de fertirrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 216-223, jun. 2015.

PANDORFI, H.; BEZERRA, A. C.; ATARASSI, R. T.; VIEIRA, F. M.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; GUISELINI, C. Artificial neural networks employment in the prediction of evapotranspiration of greenhouse-grown sweet pepper. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 507-512, jun. 2016.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998.

PUPPO, L.; GARCÍA-PETILLO, M. Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 25-31, 2010.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997.

SANTOS, P. R.; MELO, R. A.; CARVALHO FILHO, J. L. S.; FERREIRA, I. V. S.; SILVA,

F. S.; LIMA FILHO, F. P.; MENEZES, D. Desempenho de linhagens e híbridos de pimentão em dois sistemas de poda no cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 129-134, 2017.

SILVA, P. F.; SILVA, C. B.; SANTOS, D. P.; SANTOS, C. S.; SANTOS, M. A. L.; SILVA, J. C. Determinação do coeficiente de cultivo da cultura do pimentão (*Capsicum Anuum*) por meio do lisímetro de drenagem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 7, p. 2040-2051, dez. 2017.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. V. Hortaliças. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997.

VALANDRO, J.; BURIOL, G. A.; ANDRIOLO, J. L.; HELDWEIN, A. B. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1593-1600, 2007.

VALBUENA MATERÁN, F. J. Minilísímetro com lençol freático constante operando com Irrigâmetro® para medida da evapotranspiração de referência. **Revista UDO Agrícola**, Sucre, v. 9, n. 1, p. 243-258, 2009.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; FRAGA JUNIOR, E. F. Lisímetro de pesagem e de lençol freático de nível constante para uso em ambiente protegido. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 153-159, 2012.