



ELVIS MÁRCIO DE CASTRO LIMA

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA PIMENTA
CAYENNE CULTIVADA EM AMBIENTE
PROTEGIDO**

**LAVRAS – MG
2012**

ELVIS MÁRCIO DE CASTRO LIMA

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA PIMENTA CAYENNE CULTIVADA EM
AMBIENTE PROTEGIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de mestre.

Orientador

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho

Coorientadora

Dra. Fátima Conceição Rezende

**LAVRAS – MG
2012**

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples

Excluído: Ficha Catalográfica

Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca da UFLA

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples

Lima, Elvis Márcio de Castro.

Manejo de irrigação da pimenta Cayenne cultivada em ambiente protegido / Elvis Márcio de Castro Lima. – Lavras : UFLA, 2012. 83 p. : il.

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples

Formatado: Recuo: À esquerda: 7,49 cm, Espaçamento entre linhas: simples

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012. Orientador: Jacinto de Assunção Carvalho. Bibliografia.

Formatado: Centralizado, Espaçamento entre linhas: simples

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples

1. *Capsicum frutescens* L. cv. Cayenne. 2. Tensões de água no solo. 3. Função de produção. 4. Características. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.84

Formatado: À direita

Formatado: À direita, Espaçamento entre linhas: simples

ELVIS MÁRCIO DE CASTRO LIMA

Excluído:

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA PIMENTA CAYENNE CULTIVADA EM
AMBIENTE PROTEGIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de mestre.

Aprovada em 20 de Setembro de 2012.

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho

Dra. Fátima Conceição Rezende UFLA

Dra. Mirian de Lourdes Oliveira e Silva

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho

Orientador

**LAVRAS – MG
2012**

Ao meu pai Erico de Castro Lima (in memorian).
A minha mãe Creusa Pereira de Castro Lima.
Aos meus irmãos: Eudes de Castro Lima e Erico de Castro Lima Júnior.
A minha esposa Jussara das Graças Teixeira Lima

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Agradeço aos meus pais e irmãos pelo apoio incondicional e aos meus familiares, pela força de sempre.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização do mestrado.

Agradeço ao professor Dr. Jacinto de Assunção Carvalho, pelos ensinamentos, ajuda e disposição, tempo e amizade durante o período de realização do mestrado.

Agradeço ao professor, Dr. Luiz Antônio Augusto Gomes e ao técnico da EMATER João Augusto Avelar pela atenção e orientação durante a condução do experimento.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Engenharia de Água e Solo da Universidade Federal de Lavras, em especial aos professores da área de concentração Irrigação e drenagem.

Ao professor Dr. Luiz Antônio Lima e à professora Fátima Conceição Rezende, pelas orientações e amizade.

Agradeço também a todos os colegas, pelo carinho, respeito, a amizade e horas de estudo em conjunto. Em especial aos colegas: Rafael FreesGatto e Michael Silveira Thebaldi.

Ao secretário do departamento Gilson Malta e ao técnico em laboratório José Luiz, além de todos os funcionários do departamento.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

A irrigação também tem sido um fator determinante na produção de pimenta em algumas regiões do Brasil. No entanto, são necessárias maiores informações sobre o manejo da irrigação da pimenteira. Partindo dessa informação, foram desenvolvidos dois estudos com a irrigação da cultura da pimenta Cayenne. O estudo I consistiu em um delineamento inteiramente casualizado, utilizando quatro tensões de água no solo (20, 40, 60 e 120 kPa) como tratamentos e quatro repetições, em duas fases distintas de desenvolvimento da cultura da pimenta (vegetativa e reprodutiva), com os objetivos de determinar o momento mais adequado para se iniciar a irrigação e avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo nas diferentes fases fenológicas. No estudo II, também se utilizou um delineamento inteiramente casualizado, envolvendo cinco níveis de aplicação de água no solo, (50%, 75%, 100%, 125% e 150%) da quantidade de água necessária para reposição, com cinco repetições, tendo como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre a produção da cultura, aliada a uma análise econômica do processo. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que: a produtividade da cultura apresentou comportamento inversamente proporcional à tensão de água no solo, observando menor valor quando para a tensão de 120 kPa, sendo a fase reprodutiva a mais sensível ao déficit hídrico; os fatores de reposição K_y obtidos foram 0,8098 e 1,0148 para as fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente; o número de frutos foi influenciado significativamente pelas tensões de água no solo somente durante a fase vegetativa, porém a massa média dos frutos por planta foi influenciada nas duas fases; as maiores eficiências do uso da água foram obtidas para a tensão de 20 kPa nas duas fases de desenvolvimento (vegetativa e reprodutiva); maior produtividade física foi obtida com aplicação de uma lâmina de 604,72 mm e a aplicação de uma lâmina de 598,23 mm proporcionou maior rentabilidade econômica.

Palavras-chave: Pimenta Cayenne. Tensão de água no solo. Função de produção.

Excluído: 9257

Excluído: 1070

ABSTRACT

Irrigation also has been a determinant factor in the pepper production in some regions of Brazil. However, more information are need on irrigation management of pepper plant. Based on this information, two studies were developed with irrigation of Cayenne pepper culture. The study I consisted of a completely randomized design, using four soil water tension (20, 40, 60 and 120 kPa) as treatments and four replications in two distinct phases of development pepper culture (vegetative and reproductive), with objectives to determine the most appropriate time to start irrigation and evaluate the different soil water tensions at different phenological stages. In study II also used a completely randomized design involving five levels of applying soil water (50%, 75%, 100%, 125% and 150%), the amount of water necessary for replacement with five replicates had as objective to evaluate the application effect of different depth irrigation on crop production, coupled an economic analysis of the process. From the results, it was concluded that: the yeld was inversely proportional to soil water tension, with the lowest tension value of 120 kPa and reproductive stage most sensitive to water deficit; response factors K_y were 0.8098 and 1.0148 for vegetative and reproductive stages, respectively, the fruits number was significantly influenced by soil water tension only during the vegetative phase, but the average weight of fruits per plant was influenced in two phases, the major water use efficiencies were obtained for tension of 20 kPa at both developmental stages (vegetative and reproductive); higher physical productivity was obtained by applying a depht of 604.72 mm and depht application of 598.23 mm provided greater economic profitability.

Excluído: 9257

Excluído: 1070

Keywords: Cayenne pepper. Soil water tension. Production function.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Curva característica de retenção de água no solo gerada por meio do modelo proposto por Genuchten (1980).....	25	
Figura 2	Mudas após germinação (A) e mudas após transplântio (B).....	27	
Figura 3	Mudas transplantadas (A) e isolamento das unidades experimentais com a utilização de lona plástica (B)	29	
Figura 4	Frutos da pimenta Cayenne no ponto de colheita.....	30	
Figura 5	<i>Layout</i> dos tratamentos experimento 1(A); <i>layout</i> dos tratamentos experimento 2 (B).....	32	
Figura 6	<i>Layout</i> dos tratamentos estudo II	37	
Figura 7	Temperatura máxima, mínima e média, no interior da casa de vegetação, durante a execução dos experimentos 1 e 2	46	Excluído: I Excluído: II
Figura 8	Umidade relativa máxima, mínima e média, no interior da casa de vegetação, durante a execução dos experimentos 1 e 2	47	Excluído: I Excluído: II
Figura 9	Número de frutos, em função das tensões de água no solo, no experimento 1 (Fase Vegetativa).....	49	Excluído: I
Figura 10	Vista da unidade experimental sob tensão de 40 kPa (Fase Vegetativa)(A); Vista da unidade experimental sob tensão de 60 kPa; (Fase Vegetativa)(B); Vista da unidade experimental sob tensão de 120 kPa (Fase Vegetativa)(C).....	50	
Figura 11	Massa média dos frutos por planta, em função das tensões de água no solo, no experimento 1 (Fase Vegetativa)	52	Excluído: I
Figura 12	Massa média dos frutos, em função das tensões de água no solo, no experimento 2 (fase Reprodutiva)	55	Excluído: II
Figura 13	Massa média dos frutos por planta, em função das tensões de água no solo, no experimento 2 (Fase Reprodutiva)	57	Excluído: II

Figura 14	Queda na produção em função do déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva da pimenta Cayenne.....	60
Figura 15	Temperaturas máxima, mínima e média no interior da casa de vegetação, registradas durante a execução do experimento	62
Figura 16	Umidade relativa máxima, mínima e média no interior da casa de vegetação, registradas durante a execução do experimento	63
Figura 17	Número de frutos por planta, em função das lâminas aplicadas durante o ciclo da cultura, no estudo II	66
Figura 18	Massa dos frutos por planta, em função das lâminas aplicadas durante o ciclo da cultura, no estudo II	69
Figura 19	Receita bruta, receita líquida e custos totais da produção, em função das lâminas de irrigação	74
Figura 20	Lâmina ótima econômica em função da relação entre o preço da água (P_w) e o preço da pimenta Cayenne (P_y), para produtividade comercial.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Granulometria e classificação textural dos solos utilizados nos estudos.....	24	
Tabela 2	Caracterização química dos solos das casas de vegetação onde foram realizados os estudos I e II.....	26	
Tabela 3	Épocas de aplicação, dosagens e fontes dos nutrientes utilizados nos estudos.....	28	
Tabela 4	Análise de variância para as médias da massa média dos frutos (MMF), número médio de frutos por planta (NF), massa média de frutos por planta (MFP), diâmetro (DF) e comprimento médio dos frutos (CF), em função dos tratamentos no experimento <u>1</u>	48	Excluído: I
Tabela 5	Número médio de fruto por planta (NF), encontrados para cada tensão de água no solo <u>experimento 1</u> (Fase vegetativa).....	48	Excluído: E Excluído: I
Tabela 6	Massa de frutos por planta (MFP), encontrados para cada tensão de água no solo <u>experimento 1</u> (Fase vegetativa).....	50	Excluído: E Excluído: I
Tabela 7	Massa média dos frutos por planta (MFP), lâminas de água aplicadas na fase vegetativa (FV) e na fase reprodutiva (FR), lâmina de água aplicada no ciclo total da cultura e eficiência do uso da água para cultura da pimenta Cayenne, durante a condução do experimento 1.....	53	
Tabela 8	Análise de variância para amassa média dos frutos (MMF), número médio de frutos por planta (NF) e massa média de frutos por planta (MFP), diâmetro médio dos frutos (DF) e comprimento médio dos frutos (CF), em função dos tratamentos no experimento <u>2</u> (Fase Reprodutiva).....	53	Excluído: II

Tabela 9	Massa média dos frutos encontrados para cada tensão de água no solo <u>experimento 2</u> (Fase reprodutiva).....	54
Tabela 10	Massa média de frutos por planta encontrados para cada tensão de água no solo <u>experimento 2</u> (Fase Reprodutiva).....	56
Tabela 11	Massa média dos frutos por planta (MFP), lâminas de água aplicadas na fase vegetativa (FV) e na fase reprodutiva (FR), lâminas de água aplicadas no ciclo total da cultura e eficiência do uso da água para cultura da pimenta Cayenne, durante a condução do experimento 2.....	58
Tabela 12	Redução no número médio de frutos por planta (NF) e na massa média dos frutos por planta (MFP), obtidos nas fases vegetativa e reprodutiva, para cada tensão de água no solo	58
Tabela 13	Percentuais de reposição de água e respectivas lâminas aplicadas	63
Tabela 14	Análise de variância para a massa média dos frutos (MMF), número médio de frutos por planta (NF), massa de frutos por planta (MFP), Diâmetro médio do fruto (DF) e Comprimento médio do Fruto (CF), em função dos tratamentos no Estudo II	64
Tabela 15	Número médio dos frutos por planta, encontrados para cada percentual de reposição de água no solo e respectivas lâminas aplicadas (Estudo II).....	65
Tabela 16	Massa média de frutos por planta encontrados para cada lâmina de reposição de água no solo e respectivas lâminas aplicadas (Estudo II).....	67
Tabela 17	Produto físico marginal do fator água (PFMa), para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas	71

Excluído: E

Excluído: II

Excluído: E

Excluído: II

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Aspectos gerais da cultura	16
2.2	Ambiente protegido	17
2.3	Irrigação e manejo	18
2.4	Função de produção	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1	Caracterização da área experimental	23
3.2	Cultura, adubação e tratamentos culturais	27
3.3	Instalação e condução dos experimentos	28
3.4	Estudo I	31
3.4.1	Delineamento experimental e tratamentos	31
3.4.2	Sistema de irrigação e manejo	32
3.4.3	Características avaliadas	35
3.5	Estudo II	36
3.5.1	Delineamento experimental e tratamentos	36
3.5.2	Sistema de irrigação e manejo	37
3.5.3	Características avaliadas	39
3.5.4	Função de produção	40
3.6	Análises dos dados	44
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	45
4.1	Estudo I	45
4.1.1	Características climáticas no interior da casa de vegetação nos experimentos 1 e 2 (fase vegetativa e reprodutiva)	45

4.1.2	Avaliação dos parâmetros relacionados ao rendimento da cultura e das características físicas dos frutos do experimento 1 (fase vegetativa)	47
4.1.2.1	Número de frutos por planta	48
4.1.2.2	Massa média de frutos por planta	50
4.1.2.3	Eficiência de uso da água	52
4.1.3	Avaliação dos parâmetros relacionados ao rendimento da cultura e as características físicas dos frutos experimento 2 (fase reprodutiva)	53
4.1.3.1	Massa média dos frutos	54
4.1.3.2	Massa média de frutos por planta	55
4.1.3.3	Eficiência do uso da água (EUA)	57
4.1.4	Redução do número de frutos e da massa média dos frutos por planta nos experimentos 1 e 2 (fase vegetativa e reprodutiva)	58
4.1.5	Análise da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico	59
4.2	Estudo II	61
4.2.1	Características climáticas do estudo II	61
4.2.2	Lâminas de irrigação	63
4.2.3	Avaliação das características relacionadas ao rendimento da cultura e características físicas dos frutos	64
4.2.3.1	Número de frutos por planta	65
4.2.3.2	Massa média dos frutos por planta	67
4.2.4	Análise econômica da lâmina de água	69
4.2.5	Análise econômica da lâmina de água em casa de vegetação	75
5	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

A pimenta (*Capsicum Frutesces* L.) cv. Cayenne é originária da cidade de Caiena na Guiana Francesa. As pimentas do gênero *Capsicum*, são conhecidas por apresentarem um grau de ardência maior do que as pimentas do gênero Piper, popularmente conhecidas como pimenta do Reino.

No Brasil, as pimentas são produzidas praticamente em todos os Estados da federação, principalmente nos Estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo e Rio Grande do Sul, podendo atingir produtividades médias entre 10 e 30 t ha⁻¹ dependendo do seu tipo. As pimentas *Capsicum* podem ser comercializadas *in natura* e em forma de conservas, que é mais comum no Brasil. Além dessas, existem outras formas de comercialização e consumo, como a páprica, a pasta, desidratada e conservas ornamentais, etc.

O alto valor econômico torna o agronegócio brasileiro de pimentões e pimentas *Capsicum*, com mercado anual estimado em mais de R\$100 milhões e em crescimento. A crescente demanda do mercado tem impulsionado o aumento da área cultivada e o estabelecimento de agroindústrias, diante disso, os empresários brasileiros vêm buscando alternativas para agregar valor ao produto e torná-lo lucrativo. Contudo, algumas dificuldades são enfrentadas pelos produtores e agroindústrias processadoras de pimenta no Brasil, entre elas, a ausência de técnicas alternativas de processamento, limitação de cultivares, resistência a alguns patógenos e padronização do produto (REIFSCHNEIDER; RIBEIRO, 2008).

Praticamente todo o cultivo de pimenta no Brasil é realizado em condições de campo, e na maioria das vezes os problemas encontrados nas regiões produtoras estão normalmente associados a condições climáticas e água. Diante disso, o ambiente protegido pode ser utilizado para amenizar parte desses problemas.

A utilização dessa técnica na produção de hortícolas tem aumentado, devido às vantagens relacionadas à maior proteção das plantas contra fenômenos climáticos (baixas temperaturas, geadas e excesso de chuva), além de diminuir o ciclo e melhorar a produção e a qualidade dos frutos. Outra importante vantagem é a possibilidade de oferta do produto o ano todo, conseguindo melhores preços na entressafra, devido à sazonalidade dos preços nos diversos segmentos da agroindústria.

A irrigação também tem sido um fator determinante na produção de pimenta em algumas regiões do Brasil. Em ambiente protegido a irrigação deve ser manejada adequadamente, já que é a única forma de suprimento de água para as plantas.

O cultivo em ambiente protegido e o manejo adequado da irrigação poderão propiciar o aumento de produtividade, produtos de melhor qualidade e aumento da renda do produtor, uma vez que essas técnicas de cultivo permitem a oferta do produto durante todo o período produtivo. Entretanto, são necessárias maiores informações sobre o manejo da irrigação da pimenteira em ambiente protegido.

Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido objetivando-se:

- a) avaliar os efeitos de diferentes tensões de água no solo e lâminas de reposição de água sobre rendimento da pimenta Cayenne em ambiente protegido;
- b) identificar a fase fenológica mais sensível ao déficit hídrico;
- c) definir a tensão crítica ideal para irrigação em duas fases fenológicas estudadas;
- d) indicar a lâmina ótima de reposição de água para cultura da pimenta Cayenne.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura

Com a chegada dos Portugueses e Espanhóis no continente Americano, algumas espécies de pimenta do gênero *Capsicum*, foram descobertas e disseminadas pelo mundo. Existem relatos de que algumas tribos indígenas brasileiras já as cultivavam e as utilizavam como parte da alimentação (REIFSCHNEIDER; RIBEIRO, 2008).

As pimentas do gênero *Capsicum*, são conhecidas por apresentarem um elevado grau de ardência, o que não acontece com as pimentas do gênero *Piper*, popularmente conhecidas como pimenta do Reino. São representadas pelos pimentões, pimentas doces e pimentas picantes, sendo da mesma família da solanácea, como tomate, batata, berinjela e o jiló (CARVALHO; BIANCHETTI, 2008).

Considerada uma cultura perene, a pimenta Cayenne é produzida na maioria das vezes como cultura anual. Apresenta ciclo de verão de aproximadamente noventa dias, com frutos de características cônico-alongado e coloração, que variam do verde ao vermelho, comprimento variando de oito a doze centímetros e diâmetro de um a dois centímetros (RIBEIRO; REIFSCHNEIDER, 2008).

Em geral é considerada como uma cultura de clima tropical, sensível a baixas temperaturas e intolerante a geadas, por isso, é recomendável que se cultive nos meses mais quentes do ano em algumas regiões. As temperaturas médias mensais ideais estão entre 21 e 30°C, enquanto a média das mínimas é de 18°C e a das máximas é 35°C (PINTO et al., 2006).

O consumo de água pela pimenteira normalmente varia de 500 a 800 mm por ciclo, ultrapassando até 1000 mm em cultivares de ciclo longo,

dependendo, principalmente, das condições climáticas, da cultivar utilizada e do ciclo de desenvolvimento (MAROUELLI; SILVA, 2008). As plantas possuem sistema radicular pivotante, com elevado número de ramificações laterais, podendo chegar a 120 cm de profundidade (CARVALHO; BIANCHETTI, 2008). Allen et al. (1998), sugerem que a umidade seja mantida a 30 cm, ao se utilizar a irrigação.

Os solos ideais para cultivo da pimenteira devem ser profundos, leves e de fácil drenagem, dando prioridade aos solos mais férteis, com boa disponibilidade de nutrientes e com pH variando de 5,5 a 6,8. De forma geral os latossolos brasileiros são propícios para o cultivo da pimenteira (ALCÂNTARA; RIBEIRO, 2008).

As mudas devem ser produzidas em casas de vegetação, e o transplântio deverá ser realizado quando as plantas tiverem de quatro a seis folhas definitivas ou de 10 a 15 cm de altura. Diversos são os espaçamentos utilizados para o plantio, podendo variar de acordo com a cultivar a ser plantada e da região a ser cultivada, e vão desde 0,33 a 1,0m entre plantas e 0,8 a 1,5m entre fileiras (CRUZ; BANCI, 2008; PINTO et al., 2006).

2.2 Ambiente protegido

Em algumas regiões produtoras do Brasil, tanto o déficit hídrico como o excesso de água têm prejudicado a produção e a qualidade da hortaliça principalmente durante o período de colheita.

Os cultivos em ambiente protegido se diferenciam dos sistemas de produção realizados a céu aberto, principalmente pelo uso constante do solo e controle parcial de fatores ambientais como: temperatura, umidade do ar, radiação, solo, vento e composição atmosférica. O ambiente protegido

possibilita a realização do cultivo, até mesmo quando em condições normais de campo não seria possível (PURQUERIO; TIVELLI, 2006).

O melhor aproveitamento dos recursos de produção (nutrientes, luz e CO₂) em ambiente protegido, resulta em precocidade de produção. Além disso, a necessidade hídrica (irrigação) é menor, devido principalmente, à redução da velocidade do vento e a atenuação da radiação solar direta incidente (KLAR; JADOSKY, 2004).

Segundo Chaves (2008), as técnicas de cultivo em estufa, cobertura do solo, irrigação por gotejamento e fertirrigação são recomendadas para o cultivo da pimenta (*Capsicum frutescens*). Assim, o manejo adequado do sistema solo-água-planta-ambiente é de fundamental importância para o sucesso de empreendimentos nesse sistema de produção, já que é a única forma de suprimento de água para as plantas.

2.3 Irrigação e manejo

A irrigação tem sido um fator determinante na produção agrícola em algumas regiões do Brasil, tendo como principal objetivo o fornecimento de água em quantidade adequada para as culturas e a prevenção do estresse hídrico, que pode afetar tanto em quantidade quanto em qualidade, a produção de frutos, grãos, hortaliças, etc. (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008; CABELLO, 1986). De acordo com Doorembos e Kassan (2000), a irrigação é essencial para cultura da pimenteira, pois é considerada como uma das hortícolas mais sensíveis ao estresse hídrico.

Alguns métodos de irrigação são passíveis de serem utilizados em ambiente protegido, entre eles, sulcos, aspersão e localizada, contudo, o sistema de irrigação mais conhecido e recomendado para essa prática é o gotejamento (CARRIJO; APARECIDO; SILVA, 1999). Para Bernardo, Soares e Mantovani

(2005), o sistema de irrigação por gotejamento deve ser considerado como integrante de um conjunto de técnicas agrícolas, a fim de obter efeito significativo na produção por área e por quantidade de água consumida.

A medição do requerimento de água e do estresse hídrico é muito importante para programar a irrigação, para que não haja perdas na produção e na qualidade dos frutos (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008; MAROUELLI; SILVA, 2008). O déficit hídrico consiste na diminuição do estado de umidade do solo abaixo da capacidade de campo. É também considerado como um dos principais fatores causadores de estresse nas culturas (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008; KLAR; JADOSKY, 2002).

Para a realização do manejo adequado da irrigação é necessário conhecer, entre outros fatores, a necessidade hídrica e o momento ideal de suprimento de água para a espécie a ser cultivada, nas suas diferentes fases de desenvolvimento (GOMES, 1997). É importante também conhecer a umidade crítica para cada cultura, que é definida em função do potencial matricial crítico do solo (SILVA, 2011).

A ocorrência de déficit hídrico durante fase vegetativa limita drasticamente o desenvolvimento das plantas, no entanto, a floração e o desenvolvimento dos frutos são as fases consideradas as mais sensíveis ao déficit hídrico (KATERJI; MASRORILLI; HANDY, 1993; MAUROELLI; SILVA, 2007).

Estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar o efeito do déficit hídrico sobre a produção de diferentes culturas, em casas de vegetação (BILIBIO et al., 2010; CARVALHO et al., 2012; FRIZZONE; GONÇALVES; REZENDE, 2001; GONZÁLEZ-DUGO; ORGAZ; FERERES, 2007; OLIVEIRA, 2009, 2011).

Marinho (2011) avaliou o efeito da irrigação plena e deficitária, sobre a produção da pimenteira cv. Tabasco, em casas de vegetação, aplicando lâminas

de irrigação equivalentes a 40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura, determinadas a partir de lisímetros, em duas fases distintas de desenvolvimento da cultura, aos 39 dias após transplântio (DAT) e aos 59 (DAT). Verificou para as duas épocas de diferenciação da irrigação que o déficit hídrico influenciou significativamente tanto o peso médio por planta, quanto o número de frutos por planta.

Azevedo et al. (2005), avaliaram o efeito de lâminas de reposição de água na cultura da pimenta Tabasco cv. McIlhenny, utilizando como tratamentos 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração do tanque classe A, em condições de campo. As lâminas obtidas do transplântio aos 126 dias após transplântio variaram entre 684 mm e 1080 mm, representando os tratamentos de 40 e 120%, e concluíram que a maior produtividade ocorreu para lâmina de reposição correspondente ao tratamento de 120% da ECA.

Dorji, Behboudian e Zegbe-Domínguez (2005), compararam o efeito de duas práticas de economia de água de irrigação, na produção e qualidade da pimenta *Ancho São Luis (Capsicum annuum L.)*, sendo aplicado o volume da irrigação comercial (CI), irrigação com metade do volume da irrigação comercial (CI) em ambos os lados das raízes considerados como (DI), e metade do volume de irrigação de CI aplicada a um lado das raízes em cada momento de irrigação (PRD), e observaram uma redução da massa fresca total de frutos de 19 e 34,7% no PRD e DI, respectivamente, em relação à CI e o número de frutos por planta foi reduzido em mais de 20% no PRD e DI em relação ao CI.

Em contrapartida, o excesso de água na zona radicular pode causar saturação do perfil do solo, com efeito negativo sobre a produção, além de perdas agregadas em termos de desperdício de energia, agroquímicos e do solo (ABULQUERQUE; DURÃES, 2008; FRIZZONE, 1993).

O melhor rendimento da cultura da pimenta, é obtido para as tensões até 15 kPa, quando irrigado por gotejamento (MAUROELLI; SILVA, 2008).

[G1] Comentário: Favor verificar.

Alguns instrumentos auxiliam no manejo da irrigação, entre eles estão: a sonda de nêutrons, tanque classe A, a sonda de raios gama, blocos porosos e os tensiômetros (GOMIDE, 1998). De acordo com Carrijo, Aparecido e Silva (1999), em ambiente protegido os mais utilizados para manejo da irrigação são os tensiômetros e o tanque classe A.

2.4 Função de produção

Bernardo (1998) define função de produção como sendo a relação técnica entre um conjunto específico de fatores envolvidos num processo produtivo qualquer e a produtividade física possível de se obter com a tecnologia existente.

Na atividade de irrigação, a água é o recurso natural sobre o qual se tem maior interesse em exercer controle, no sentido de alterar seu padrão de disponibilidade espacial e temporal, adequando-se à demanda agrícola. As funções de resposta das cultivares com bases experimentais constituem fontes valiosas de informações a serem utilizadas no modelo de tomada de decisão pelas empresas agrícolas (FRIZZONE, 1993).

Para quantificar os benefícios econômicos da irrigação é necessário saber quantificar o esperado aumento na produtividade em função do aumento da quantidade de água aplicada. O modelo polinomial do segundo grau é normalmente utilizado para função de produção água-cultura quando se trabalha com lâmina total aplicada (BERNARDO, 1998).

Diante disso alguns autores utilizaram o modelo quadrático para representação das estimativas de produção, obtendo-se bons resultados (CARVALHO et al., 2011; LIMA JÚNIOR et al., 2011; OLIVEIRA, 2009; VILAS BOAS et al., 2008).

Para o produtor, o interessante não é a produtividade em si e sim o lucro a ser obtido da produção, ou seja, a produtividade ótima econômica. Segundo Bernardo (1998), devido à competição internacional na oferta de alimentos é preciso, cada vez mais, aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois estudos com a cultura da pimenta Cayenne. O estudo I constituiu-se de dois experimentos desenvolvidos em uma casa de vegetação, sendo que, no primeiro experimento, diferentes tensões de água no solo foram utilizadas para reinício das irrigações na fase vegetativa, e, no segundo experimento, as diferentes tensões foram aplicadas na fase reprodutiva. No estudo II, as plantas foram submetidas a cinco percentuais da lâmina de reposição de água (50%, 75%, 100%, 125%, 150%), durante todo o ciclo da cultura objetivando-se obter a função de produção.

3.1 Caracterização da área experimental

Os experimentos foram realizados em duas casas de vegetação próximas ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, localizadas a 21° 14' 00'' de latitude sul e 45° 00' 00'' de longitude oeste e 918m de altitude (BRASIL, 1992).

As casas de vegetação possuíam estrutura de madeira e cobertura metálica em arco, comprimento de 15 metros, largura de 6,5 metros (área interna de 97,5 m²) e pé direito de 3,5 metros, cobertas por filmes plásticos em polietileno transparente de 150 micra com tratamento anti-UV, e laterais fechadas, totalmente, com tela de polipropileno.

O clima é do tipo Cwa de acordo com a classificação de Köppen e caracterizado por temperatura média anual do ar de 19,4°C, umidade relativa média do ar de 76,2% e precipitação 1529,7mm, por (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

O solo da área das casas de vegetação foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA, 1999).

Na Tabela 1 são representados os resultados das análises físicas e a classificação textural das amostras dos solos onde foram realizados os estudos (I e II). Os resultados representados foram obtidos por (OLIVEIRA, 2009).

Tabela 1 Granulometria e classificação textural dos solos utilizados nos estudos

Identificação	Areia	Silte (%)	Argila	Classe textural
Estudo I	18	21	61	Muito argilosa
Estudo II	12	22	66	Muito argilosa

A curva de retenção de água do solo foi determinada no Laboratório de Relação Água-Solo-Planta do Departamento de Engenharia da UFLA. Foram coletadas amostras indeformadas em sistema de trincheiras nas camadas de 0-0,30 m de profundidade. As amostras foram coletadas com amostrador de Uhland e cilindros de PVC; colocadas para saturação em água destilada, posteriormente foram levadas para bancada dotada de Funis de Haines para obtenção dos pontos de baixa tensão (0, 2, 4, 6, 8, 10 kPa). Para determinação dos pontos de maiores tensões (33, 1000 e 2000 Kpa) foram utilizadas as mesmas amostras retiradas da bancada e que foram levadas para Câmara de Pressão de Richards.

Levando em consideração os dados de umidade obtidos em função das tensões analisadas, foi gerada a curva de retenção do solo. O ajuste foi obtido através do *software SWRC* (DOURADO NETO et al., 2001), conforme os parâmetros empíricos apresentados na (equação1), do modelo proposto por (GENUTCHEN, 1980).

A curva de retenção ajustada pelo modelo de Genuchten (1980) é descrita pela equação1:

$$\theta = 0,236 + \left(\frac{0,418}{[1 + (0,377 \cdot |\Psi|)^{1,7902}]^{0,4414}} \right) \quad (1)$$

Em que,

θ = Umidade com base em volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Ψ = Potencial de água no solo (kPa).

A partir da equação1, foi gerada a curva de retenção de água no solo representada na Figura 1.

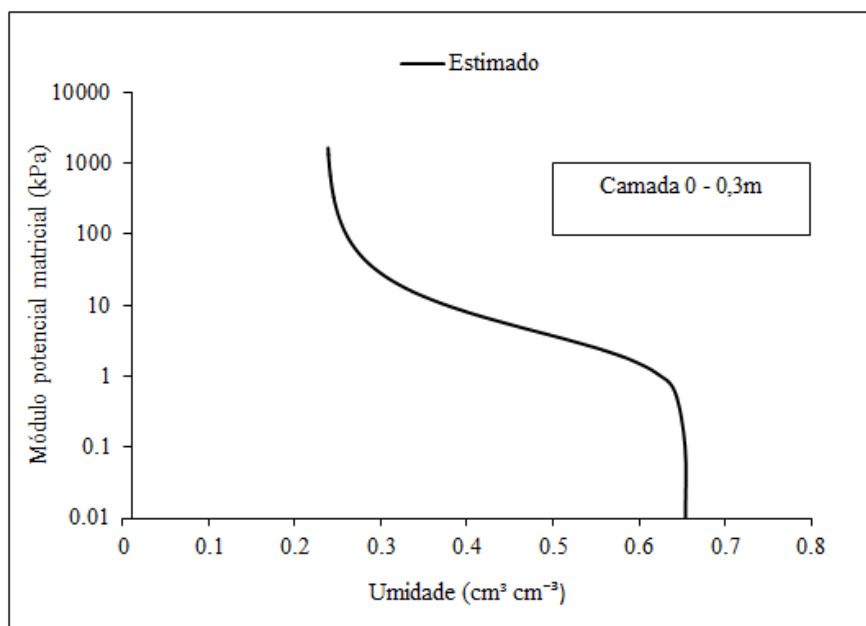


Figura 1 Curva característica de retenção de água no solo gerada por meio do modelo proposto por Genuchten (1980)

As análises químicas foram realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Na Tabela 2 estão representados os nutrientes encontrados no solo das duas casas de vegetação onde foram conduzidos os estudos I e II. As amostras compostas foram coletadas antes da realização do plantio nas profundidades (P) de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm.

Tabela 2 Caracterização química dos solos das casas de vegetação onde foram realizados os estudos I e II

(Estudo I)								
Profundidade (cm)	PH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
	H ₂ O	mgdm ⁻³				cmol _c dm ⁻³		
0-20	6,5	6,5	142	-	2,4	0,7	0,0	1,2
20-40	6,5	2,6	36	-	3,0	0,7	0,0	1,7
	SB	(t)	(T)	V	m	ISNA	MO	P-rem
	cmol _c dm ⁻³			%	Dagkg ⁻¹		mgL ⁻¹	
0-20	3,5	3,5	4,7	74,4	0,0	-	1,5	1,1
20-40	3,8	3,8	5,5	69,5	0,0	-	2,1	1,6
	mgdm ⁻³							
	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S		
0-20	1,3	42,3	23,2	6,2	0,1	46,1		
20-40	1,5	36,1	27,7	6,2	0,4	100,6		
(Estudo II)								
Profundidade (cm)	PH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
	H ₂ O	mgdm ⁻³				cmol _c dm ⁻³		
0-20	5,4	2,0	115	-	2,1	0,6	0,0	2,9
20-40	5,7	1,1	117	-	0,9	0,2	0,0	1,7
	SB	(t)	(T)	V	m	ISNA	MO	P-rem
	cmol _c dm ⁻³			%	Dagkg ⁻¹		mgL ⁻¹	
0-20	3,0	3,0	5,9	50,8	0,0	-	2,4	2,2
20-40	1,4	1,4	3,1	45,7	0,0	-	1,2	0,5
	mgdm ⁻³							
	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S		
0-20	1,8	33,1	21,6	6,0	0,1	85,7		
20-40	0,2	33,9	6,0	4,8	0,3	33,5		

Profundidade de coleta das amostras (cm).

3.2 Cultura, adubação e tratos culturais

Foi utilizada para condução dos experimentos a espécie (*Capsicum frutescens*) cv. Cayenne. As mudas foram produzidas em bandejas de 128 células em casa de vegetação (semeadas dia 10/07/2011) e transplantadas dia 24/09/2011, quando as mudas atingiram de 10 a 15 cm de altura (Figura 2).

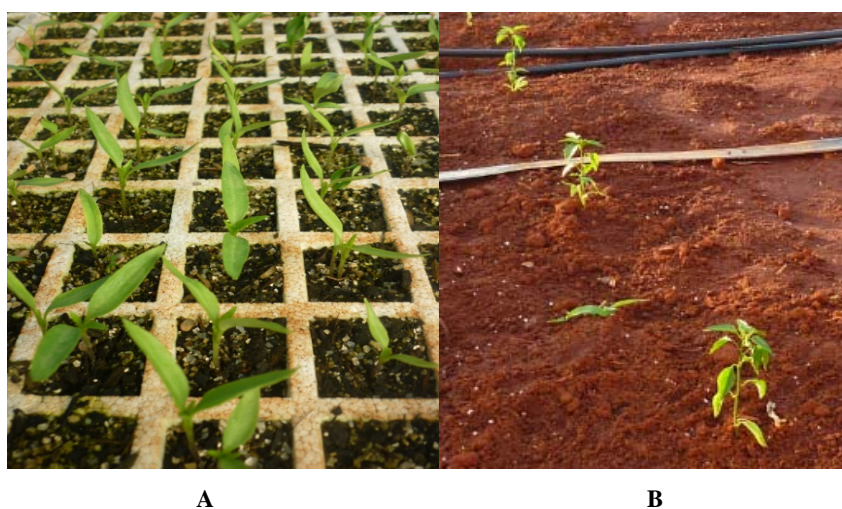


Figura 2 Mudas após germinação (A) e mudas após transplântio (B)

As adubações e os tratos culturais foram realizados de forma manual. As adubações foram realizadas com base nas análises de fertilidade do solo, de acordo a recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (5^a Aproximação) e a adubação de cobertura foi parcelada em aplicações semanais (GOMES; SILVA; FAQUIN, 1999). A quantidade de adubo aplicado por planta foi diluída em 100 ml e aplicado próximo de cada planta. As épocas de aplicação dos nutrientes, com suas respectivas dosagens e fontes, estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 Épocas de aplicação, dosagens e fontes dos nutrientes utilizados nos estudos

Adubação	Épocas Semanas	Nutrientes (kg ha ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Plantio		0	300	80
Coberturas	1 ^a a 4 ^a	20	60	15
	5 ^a a 8 ^a	40	30	25
	9 ^a a 14 ^a	60	10	50
	Após 15 ^a	40	0	70
	Total	160	400	240
Fertilizantes utilizados		Uréia MAP	Super triplo MAP	Sulfato de K Cloreto de K

O controle das plantas daninhas foi realizado por meio de capinas periódicas durante todo o ciclo da cultura.

Para manutenção do bom estado sanitário das plantas foram realizadas duas inspeções semanais, a fim de detectar a presença de pragas e doenças. Pulverizações semanais foram realizadas de forma preventiva com fungicida à base de cobre, até a fase de florescimento das plantas. Na fase de frutificação/amadurecimento foram utilizados fungicidas à base de enxofre e mancozebe para o controle de fungos, que surgiram durante o período de colheita.

O controle de pragas como mosca branca, ácaro vermelho, ácaro branco, tripés e pulgão foi realizado semanalmente utilizando-se inseticidas e acaricidas registrados, nas dosagens recomendadas, de forma alternada para o controle das mesmas.

3.3 Instalação e condução dos experimentos

Os estudos iniciaram-se aos 74 dias após semeadura (24 de setembro de 2011) e terminaram com a última colheita (05 de abril de 2012), com duração de 195 dias. Durante o período de 15 dias após transplântio (DAT), período

necessário para o pegamento uniforme das mudas, os tratamentos foram submetidos às mesmas lâminas de água (Figura 3A).

No estudo I, a fase vegetativa teve duração de 50 dias, já a fase reprodutiva teve duração de 145 dias. O estudo II teve a mesma duração do ciclo da cultura 195 dias, ou seja, não houve diferenciação das fases. Todas as unidades experimentais foram isoladas por plásticos resistentes, enterrados a uma profundidade de 60 cm, para não haver interferência de umidade entre os diferentes tratamentos (Figura 3B).

**A****B**

Figura 3 Mudas transplantadas (A) e isolamento das unidades experimentais com a utilização de lona plástica (B)

As pimenteiras foram conduzidas sem poda, contudo, a partir dos 20 dias após transplântio (DAT) foram retiradas todas as brotações e flores abaixo da primeira bifurcação, quinzenalmente, com a finalidade de deixar a planta com o formato de taça e facilitar movimentação e os tratos culturais no interior da estufa. Devido ao acamamento das plantas, houve a necessidade do tutoramento das plantas com o uso fitilho de *nylon* e estacas de madeira.

A colheita iniciou-se aos 74 DAT, adotando como critério a retirada de frutos totalmente maduros, ou seja, coloração avermelhada conforme a Figura 4. Os frutos eram colhidos semanalmente e a colheita foi finalizada 195 DAT.



Figura 4 Frutos da pimenta Cayenne no ponto de colheita

O monitoramento das temperaturas do ar (máxima e mínima) e das umidades relativas do ar (máximas e mínimas) foi realizado com auxílio de termo-higrômetros digitais, instalados no interior das casas de vegetação a 2m de altura do solo. As leituras foram realizadas diariamente às 9:00 e 16:00 horas e as médias diárias foram calculadas pelas equações 2 e 3:

$$\text{Temperatura média do ar (Tm)} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2 \quad (2)$$

$$\text{Umidade relativa média do ar (Urm)} = (U_{\text{max}} + U_{\text{min}}) / 2 \quad (3)$$

3.4 Estudo I

3.4.1 Delineamento experimental e tratamentos

O estudo I foi constituído de dois experimentos, que foram conduzidos simultaneamente dentro de uma mesma casa de vegetação, onde plantas de pimenta foram submetidas a diferentes tensões de água no solo em duas fases distintas de desenvolvimento da cultura (vegetativa e reprodutiva).

Neste estudo as plantas foram submetidas a diferentes tensões de água no solo (20, 40, 60 e 120 kPa), sendo que, no experimento 1, a aplicação de tais tensões foram realizadas durante o período vegetativo, e no experimento 2, durante a fase reprodutiva.

A fase vegetativa compreendeu o período entre o transplantio e o momento no qual 50% das plantas apresentaram flores. Após esse período, as plantas foram submetidas somente à tensão de 20 kPa. A fase reprodutiva compreendeu o período entre o final da fase vegetativa e a colheita final.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para distribuição dos tratamentos dentro da casa de vegetação. Os dois experimentos foram constituídos de unidades experimentais com três plantas, espaçadas de 0,6m entre plantas e 1,0m entre fileiras, sendo quatro repetições por tratamento.

A Figura 5 representa a distribuição dos tratamentos em cada fase de desenvolvimento da cultura.

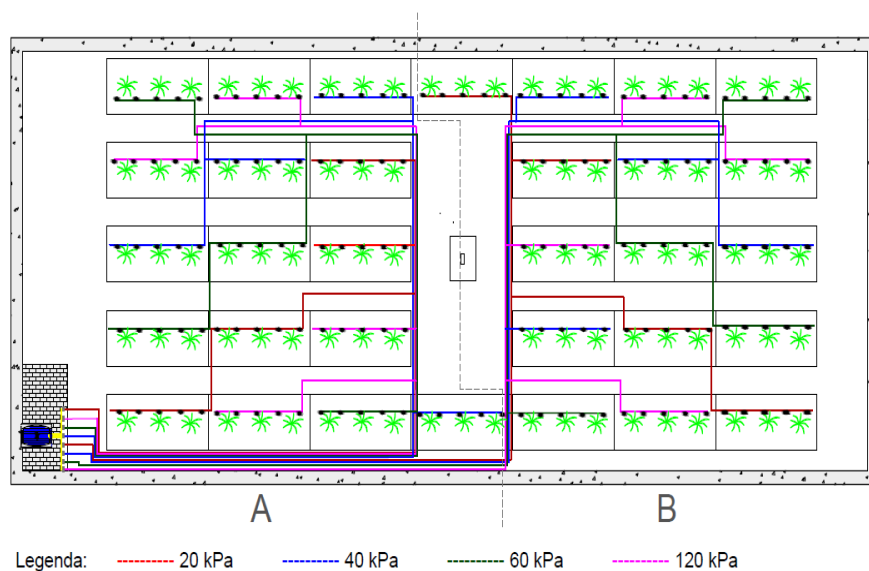


Figura 5 *Layout* dos tratamentos experimento 1(A); *layout* dos tratamentos experimento 2 (B)

3.4.2 Sistema de irrigação e manejo

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, sendo composto por um reservatório com volume de 1000 litros, instalado próximo a casa de vegetação, cabeçal de controle, conjunto motobomba, tubulação de sucção e recalque de PVC de 32 mm, filtro de tela, tomadas de pressão, manômetros e registros. A água foi conduzida para seus respectivos tratamentos por meio de tubulação de polietileno de 16 mm de diâmetro e distribuído para as plantas por meio de gotejadores tipo *on-line* autocompensantes com vazão nominal de 2 L h^{-1} , sendo 5 gotejadores por unidade experimental.

Após a montagem do sistema, foi determinado o coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) do sistema de irrigação. Para isso, foram coletadas as vazões de todos os gotejadores do sistema. A partir das

vazões desses emissores foi calculado o coeficiente de uniformidade de distribuição. A vazão média dos gotejadores foi de 2,08 L h⁻¹ e o coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) encontrado foi de 97%.

O manejo da irrigação foi realizado a partir da leitura das tensões nos tensiômetros instalados em unidades experimentais, com as tensões de 20, 40 e 60kPa e sensores de matriz granular (Watermark®) instalados em unidades experimentais para a tensão de 120kPa, ambos instalados a 0,15 m de profundidade. Buscou-se, em todas as irrigações, elevar a umidade do solo à condição de capacidade de campo.

O momento de irrigar foi estabelecido quando a média das leituras de, pelo menos três tensiômetros ou sensores de matriz granular, atingisse a tensão estabelecida para cada tratamento. As leituras das tensões de água no solo observadas no tensímetro foram corrigidas através da Equação 4, para a profundidade desejada.

$$\Psi = L + 0,098 \cdot h \quad (4)$$

Em que:

Ψ = tensão da água no solo (kPa);

L = leitura no tensímetro transformada em (kPa);

h = altura entre o ponto de leitura no tensiômetro até o centro da cápsula porosa (cm).

Com as tensões observadas foram calculadas as umidades correspondentes, a partir da equação característica de retenção de água no solo. De posse dessas umidades e daquela correspondente à capacidade de campo (10 kPa) obtidas por Koetz (2006) na área experimental, e ainda, considerando a profundidade efetiva do sistema radicular (0,3 m) foram calculados os volumes

de água das minas de reposição, correspondente às tensões pré-determinadas para cada tratamento, como demonstrado nas equações.

O volume de água aplicado por planta foi obtido através da equação 5, considerando o volume de solo ocupado por planta (o produto da área ocupada por planta $0,6 \text{ m}^2$, pela profundidade efetiva do sistema radicular $0,3 \text{ m}$), e diferenciado pelo tempo de funcionamento da irrigação em cada tratamento. Esse por sua vez, foi determinado a partir da relação entre o volume de água aplicado em cada tratamento e a vazão média dos emissores, conforme equação 6.

$$\text{Vol} = (\theta_{cc} - \theta_{\text{atual}}) \cdot V_s \quad (5)$$

Em que:

Vol = volume de água para cada tensão de água no solo (m^3);

θ_{cc} = umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{atual} = umidade do solo no momento de irrigar ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

V_s = volume de solo ocupado por planta (m^3).

$$T = \frac{\text{Vol}}{q_a} \quad (6)$$

Em que:

T = tempo de funcionamento do sistema de irrigação em cada tratamento, visando elevar a umidade à capacidade de campo (h);

Vol = volume de água para cada tensão de água no solo (m³);

qa = vazão média dos emissores por planta (m³ h⁻¹).

3.4.3 Características avaliadas

As avaliações foram realizadas para todas as plantas dos experimentos, sendo três plantas por unidade experimental. Em cada colheita os frutos sem danos físicos foram pesados em balança digital com precisão de 5 g, contados e medidos individualmente, utilizando um paquímetro digital com precisão de 0,05mm. Foram analisados a massa média dos frutos, número médio de frutos por planta, a massa média de frutos por planta, o diâmetro e o comprimento médios dos frutos.

A quantificação do efeito do déficit hídrico sobre a produtividade dos frutos foi determinada pela relação entre a redução relativa da produtividade e a redução relativa da lâmina de irrigação aplicada, dado pelo coeficiente de resposta k_y (DOORENBOS; KASSAN, 1994).

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = K_y \cdot \left(1 - \frac{L_r}{L_m}\right) \quad (7)$$

Em que:

Y_r = produtividade real obtida;

Y_m = produtividade potencial obtida;

K_y = coeficiente de resposta da cultura;

L_r = lâmina de irrigação real, e

L_m = lâmina de irrigação potencial.

Foram consideradas produtividade potencial (Y_m) e lâmina de irrigação potencial (L_m) aquelas obtidas dos tratamentos correspondentes à tensão de 20 kPa e a produtividade real (Y_r) e lâmina de irrigação real (L_r) aquelas obtidas dos diferentes tratamentos.

A eficiência de uso da água foi obtida pela relação entre a produtividade total de frutos e a quantidade total de água aplicada em cada tratamento. Foram utilizadas para obtenção das eficiências dez mil plantas por hectare, ou seja, considerou-se área utilizada com carreadores, estradas, etc.

3.5 Estudo II

3.5.1 Delineamento experimental e tratamentos

O estudo II foi constituído de um delineamento inteiramente casualizado (DIC), tendo como tratamentos, os percentuais (50%, 75%, 100%, 125%, 150%) da lâmina de reposição de água e cinco repetições. As unidades experimentais foram constituídas de três plantas, espaçadas entre si de 0,6m e entre fileiras de 1,0m. A Figura 6 representa o esquema de distribuição dos tratamentos do estudo II.

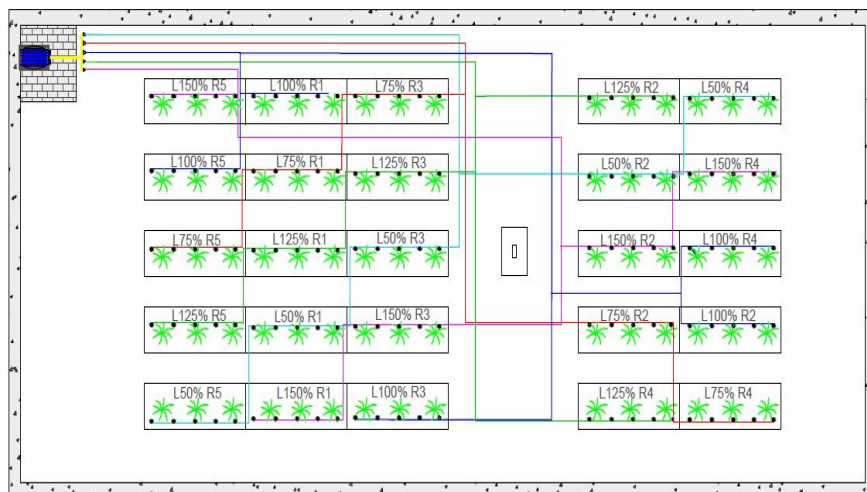


Figura 6 *Layout* dos tratamentos estudo II

3.5.2 Sistema de irrigação e manejo

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, sendo composto por um reservatório com volume de 1000 litros, Cabeçal de controle, caracterizado por conjunto motobomba, tubulação de sucção e recalque de PVC de 32 mm, filtro de tela, tomadas de pressão, manômetros e registros. A água foi conduzida para seus respectivos tratamentos por meio de tubulação de polietileno de 16 mm de diâmetro e distribuído às plantas por meio de gotejadores tipo *on-line*, autocompensantes, com vazão nominal de 2 L h^{-1} , sendo 5 gotejadores por unidade experimental, como ilustrada Figura 6.

Após a montagem do sistema, foram realizados testes para determinar a vazão média do gotejador e o coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) do sistema de irrigação. A vazão média dos gotejadores obtida foi de $2,04 \text{ L h}^{-1}$ e o coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) encontrado foi de 96%.

Para definição do momento de irrigar, foram utilizados tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade nas unidades experimentais equivalentes ao tratamento de 100% de reposição da lâmina de água, e quando a média de pelo menos três desses tensiômetros atingisse a tensão de 15 kPa, eram feitas aplicações de água nas unidades experimentais de cada tratamento, afim de elevar a umidade do solo à condição de capacidade de campo. As leituras das tensões de água no solo foram realizadas diariamente às 8:00 horas e as 15:00 horas, com um tensímetro digital de punção e aplicadas na equação 4, para correção das mesmas, para a profundidade desejada.

O volume de água aplicado foi obtido aplicando-se um percentual (relativo a cada tratamento) do volume previamente calculado para reposição integral (equação 8). O tempo de funcionamento da irrigação em cada tratamento foi determinado a partir da relação entre o volume de água aplicado em cada tratamento e a vazão média dos emissores conforme equação 9.

$$\text{Vol} = \frac{(\theta_{cc} - \theta_{15}) \cdot V_s \cdot P}{100} \quad (8)$$

em que:

Vol = volume de água para cada percentual de reposição de lâmina de água no solo (m³);

θ_{cc} = umidade do solo na capacidade de campo (cm³ cm⁻³);

θ_{15} = umidade do solo no momento de irrigar (cm³ cm⁻³);

V_s = volume de solo ocupado por planta (m³);

P = Percentual de reposição da lâmina de água (%).

$$T = \frac{\text{Vol}}{q_a} \quad (9)$$

Em que:

T = tempo de funcionamento do sistema de irrigação em cada tratamento, visando elevar a umidade à capacidade de campo (h);

Vol = volume de água para cada percentual de reposição de lâmina de água no solo (m³);

q_a = vazão média dos emissores por planta (m³ h⁻¹).

As lâminas totais de aplicação em cada tratamento foram obtidas dividindo-se o volume total aplicado pela área da unidade experimental.

3.5.3 Características avaliadas

As avaliações foram realizadas para todas as plantas dos experimentos, sendo três plantas por unidade experimental. Em cada colheita os frutos sem danos físicos foram pesado sem balança digital com precisão de 5 g, contados e medidos individualmente, utilizando um paquímetro digital com precisão de 0,05mm. Foram analisados a massa média dos frutos, número médio de frutos

por planta, a massa média de frutos por planta, o diâmetro e o comprimento médios dos frutos.

3.5.4 Função de produção

Para determinação da lâmina ótima de irrigação foi utilizada uma função polinomial quadrática representada pela equação 10. Para efeito de cálculos considerou-se uma área de 1 hectare de cultivo, da qual foram descontadas as áreas com carregadores e estradas, resultando um *stand* de 10.000 plantas.

$$Y = f(w) = a + b \cdot w + c \cdot w^2 \quad (10)$$

Onde:

Y = Produção (kg);

w = lâmina total de água aplicada (mm);

a, b e c = parâmetros de ajuste da equação.

Para determinação da lâmina de água que representa a máxima produtividade física foi utilizada a equação 11.

$$w(\text{máx}) = \frac{b}{2c} \quad (11)$$

A rentabilidade econômica foi obtida através da diferença entre a receita bruta e o custo total para cultura da pimenta, representada pela equação 12.

$$L(w) = P_y \cdot Y - P_w \cdot W - C \quad (12)$$

Em que:

$L(w)$ = lucro (R\$);

P_w = preço do fator água (R\$kg⁻¹);

P_y = preço do produto (R\$kg⁻¹);

C = custo dos fatores fixos (R\$ kg⁻¹).

O preço do produto (P_y) correspondeu ao preço médio obtido pelo produtor rural, no Estado de Minas Gerais, nos meses de fevereiro, março e abril de 2012, o qual foi de R\$3,00 kg⁻¹(CEASAMINAS CENTRAIS DE ABASTECIMENTO, 2012). Esse preço foi considerado para efeito de análise econômica no presente estudo.

O preço do fator água (P_w) foi obtido considerando os custos de energia, mão de obra, manutenção e reparos de um sistema de bombeamento, fixando alguns parâmetros e condições típicas da agricultura regional:

- a) método de irrigação: localizada por gotejamento;
- b) número de plantas por hectare: 10.000;
- c) altura manométrica total: 60 m;
- d) vazão da motobomba: 10 m³ h⁻¹;

- e) eficiência do conjunto motobomba: 50%;
- f) vida útil do sistema de irrigação: 10 anos;
- g) utilização: 1 ciclo de cultura por ano.

Nessas condições, o custo do sistema de irrigação foi de R\$7.700,00, incluídas todas as obras necessárias para o funcionamento adequado do sistema.

No cálculo da depreciação do sistema de irrigação, considerou-se a taxa básica de juros anual (SELIC) de 7,5 % e a vida útil do equipamento de 10 anos, chegou-se a um fator de recuperação de capital (FRC) de 0,1457 que, multiplicado ao custo do sistema de irrigação, gerou o custo de amortização dos fatores mantidos constantes de R\$1.121,90.

Para a obtenção do custo da energia elétrica de bombeamento da água, foram consideradas, as características do sistema de irrigação descritas acima e um ciclo de 195 dias de cultivo. O valor do kWh fornecido pela concessionária de energia elétrica (CEMIG) para o mês de março de 2012 foi de R\$0,33.

Os fatores mantidos constantes no experimento (custos de produção) foram orçados em R\$15.000,00. A receita líquida foi obtida entre o valor bruto da produção ($P_y \cdot Y$) e das despesas fixas (C) e daquelas consideradas variáveis (função da lâmina de água aplicada) ou seja, ($P_w \cdot W$).

O custo operacional efetivo foi calculado somando-se o custo de manutenção e operação do sistema e o custo da energia consumida no bombeamento referente ao tratamento de 100% de reposição de água. Assim, chegou-se ao valor de R\$835,79 $\text{ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ da cultura. O custo da água (P_w) de R\$1,44 mm^{-1} foi determinado pela relação entre o custo operacional efetivo e a lâmina total aplicada ao tratamento de 100% de reposição de água, sendo este tomado como referencial para essa análise econômica.

Sob a hipótese de que $L(w)$ tem um máximo e que a água é o único fator variável, tem-se a equação 13:

$$\frac{\partial L}{\partial W} = \left(P_Y \cdot \frac{\partial Y}{\partial W} \right) - P_W = 0 \quad (13)$$

Em que:

$$\left(P_Y \cdot \frac{\partial Y}{\partial W} \right) = \text{receita da máxima produtividade física do fator água (W);}$$

$$\left(\frac{\partial Y}{\partial W} \right) = \text{máxima produtividade física do fator água (W).}$$

A máxima produtividade física (MPF) do fator variável é o aumento no produto físico total decorrente do emprego de uma unidade adicional do fator variável. Graficamente, a MPF representa a declividade da variação do produto total ou da função de produção em um determinado nível do fator variável e é o indicador das eficiências técnica e econômica do experimento.

Indicador de eficiência econômica é dado pela equação 14:

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = \frac{P_W}{P_Y} \quad (14)$$

A determinação da lâmina ótima economicamente é dada pela equação 15:

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = b - 2 \cdot c \cdot W = \frac{PW}{PY} \quad (15)$$

3.6 Análises dos dados

Os dados amostrados foram submetidos à análise de variância, com regressão polinomial com nível de significância de 1% e 5%, com auxílio do *software* Sisvar 5.0 (FERREIRA, 2007).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Estudo I

4.1.1 Características climáticas no interior da casa de vegetação nos experimentos 1 e 2 (fase vegetativa e reprodutiva)

As coletas dos dados climáticos no interior das casas de vegetação tiveram início juntamente com a aplicação dos tratamentos aos 15 DAT. As temperaturas máximas, mínimas e médias estão representadas na Figura 7.

No período de condução do experimento, a temperatura média do ar foi de 23,9 °C, a temperatura mínima ficou entre 9,3 °C e 23 °C e a temperatura máxima estiveram entre 16,7 °C e 40,8 °C, com média mínima de 16,5°C, e média máxima de 31,5 °C.

Segundo Pinto et al. (2006), as médias de temperatura ideais para um bom desenvolvimento da pimenteira, situa-se entre 21 °C e 30 °C e a média das temperaturas máxima e mínima de 18 °C e 35 °C, respectivamente. Portanto, a temperatura média observada encontra-se dentro da faixa considerada ideal e os valores de temperatura média mínima e média máxima, próximos aos valores recomendados.

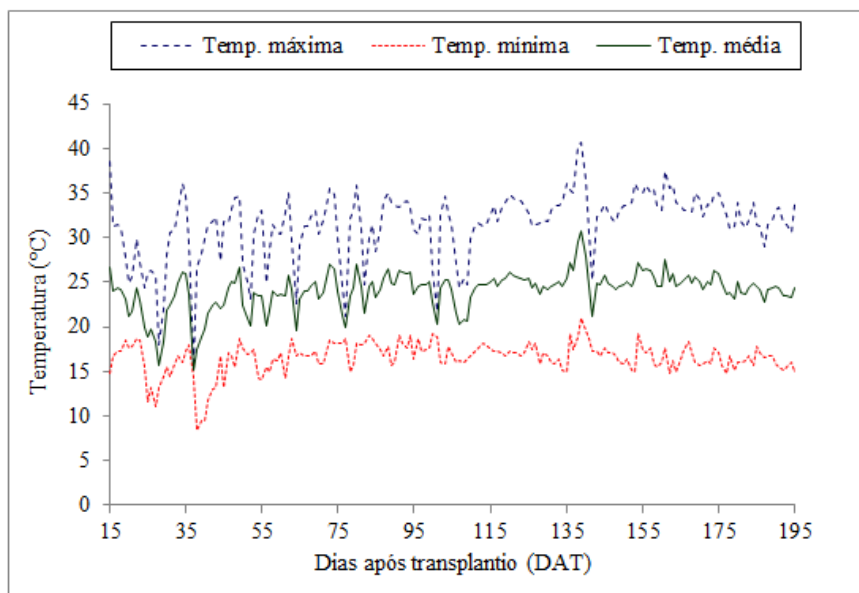


Figura 7 Temperatura máxima, mínima e média, no interior da casa de vegetação, durante a execução dos experimentos 1 e 2

Os valores de umidade relativa do ar representados na figura 8 foram coletados para o mesmo período experimental. A umidade relativa média observada foi de 66,2%, a umidade relativa mínima variou entre 20% e 80% e a umidade relativa máxima entre 88 e 99%. O valor obtido de umidade relativa média de 66,2% encontra-se próximo ao valor de 80%, considerado ideal para cultivo (CRISÓSTOMO et al., 2006).

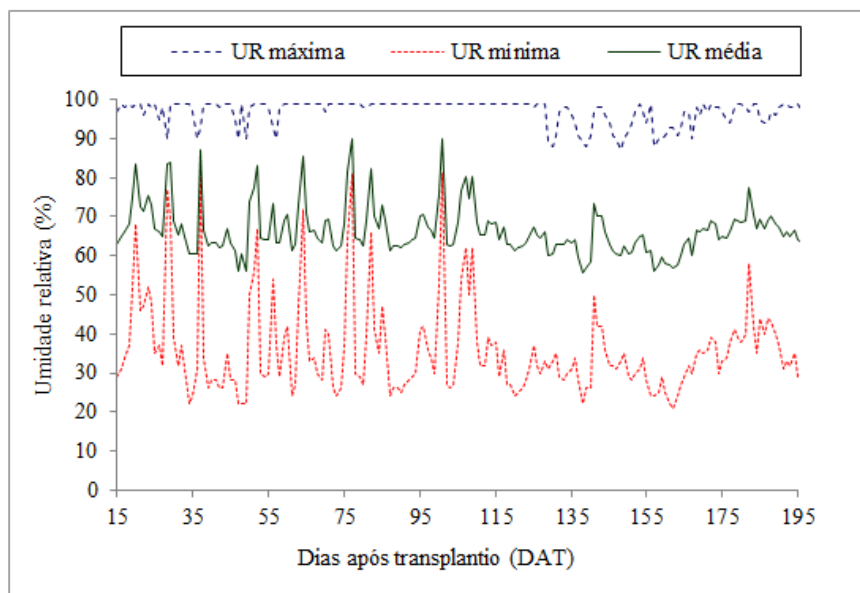


Figura 8 Umidade relativa máxima, mínima e média, no interior da casa de vegetação, durante a execução dos experimentos 1 e 2

Baer e Smeets (1978), observaram que houve um aumento na massa dos frutos e do brilho, além de diminuir o intervalo de tempo entre a polinização e a colheita, sob condições de umidade relativa acima de 95%, condições que foram observadas em mais de 80% das umidades obtidas durante o período noturno.

4.1.2 Avaliação dos parâmetros relacionados ao rendimento da cultura e das características físicas dos frutos do experimento 1 (fase vegetativa)

Na Tabela 4 está representado o resumo da análise de variância, realizada para a massa média dos frutos, número de frutos por planta, massa de frutos por plantas, diâmetro e comprimento médios dos frutos em função das tensões de água no solo.

Tabela 4 Análise de variância para as médias da massa média dos frutos (MMF), número médio de frutos por planta (NF), massa média de frutos por planta (MFP), diâmetro (DF) e comprimento médio dos frutos (CF), em função dos tratamentos no experimento 1

FV	GL	QM				
		MMF (g)	NF	MFP (g.p ⁻¹)	DF (cm)	CF (cm)
Tensão	3	0,396ns	13.072,85*	491.858,42**	0,0008ns	0,0341ns
Resíduo	12	0,3280	2.343,35	38.273,52	0,001404	0,3062
CV(%)		11,76	15,73	13,06	3,2	6,16
Média g.		4,87	307,69	1.497,75	1,17	8,98

** : Significativo a 1% de probabilidade; * : Significativo a 5% de probabilidade
ns: Não significativo a 5% de probabilidade

Foi verificado, pela análise de variância a 1 e 5% de probabilidade, que as tensões de água no solo aplicadas interferiram significativamente no número médio de frutos por planta e na massa média de frutos por planta, respectivamente, o que não ocorreu para a massa média, diâmetro e comprimento médios dos frutos.

4.1.2.1 Número de frutos por planta

A Tabela 5 representa o número médio de frutos por planta (NF) para cada tensão de água no solo. Nota-se que a maior amplitude ocorreu entre os tratamentos de 20 e 120 kPa, havendo uma redução de aproximadamente 140 frutos por planta entre a máxima e a mínima.

Tabela 5 Número médio de fruto por planta (NF), encontrados para cada tensão de água no solo experimento 1 (Fase vegetativa)

Tensão de água no solo (kPa)	NF
20	374,00
40	310,33
60	312,08
120	234,33

A Figura 9 representa o comportamento do número médio de frutos por planta em função das tensões de água no solo. Observou-se uma tendência de redução linear, no número médio de frutos por planta, em função do aumento da tensão de água no solo.

Resultados apresentados por Carvalho et al. (2012), mostraram diferença estatística significativa a 5% sobre o número de vagens por planta de ervilha quando submetidas a diferentes tensões de água no solo (15, 30, 60 e 120 kPa). Da mesma forma, em trabalho com pepino japonês cultivado em casa de vegetação, Oliveira et al. (2011) verificaram que o número e a massa de frutos por planta foram significativamente influenciados pelas mesmas tensões de água no solo do autor acima aplicadas na fase vegetativa.

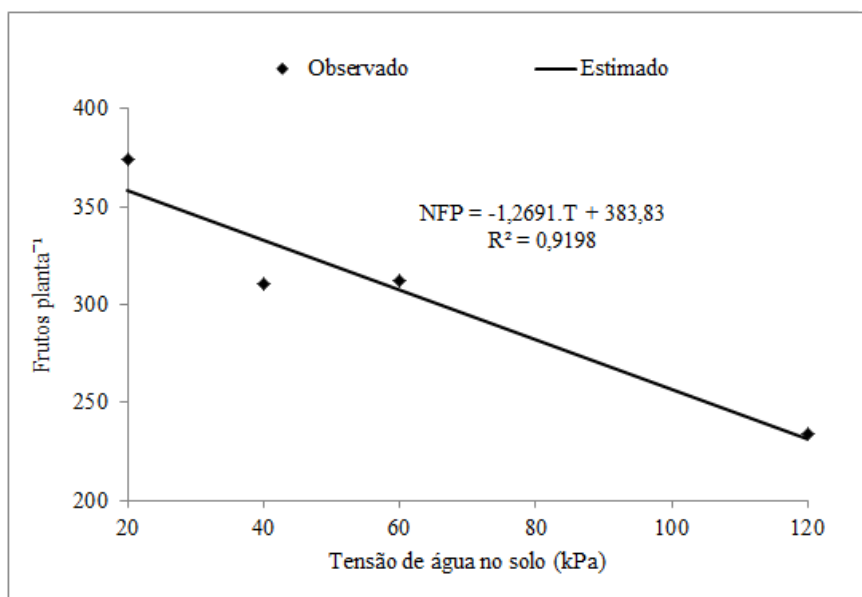


Figura 9 Número de frutos, em função das tensões de água no solo, no experimento 1 (Fase Vegetativa)

A diminuição do número de frutos com o acréscimo da tensão de água no solo pode ser explicada pelo distúrbio no desenvolvimento das plantas, como

redução de área foliar (Figura 10), provocados pelo déficit de água no solo, principais causadores de estresse nas culturas (KLAR; JADOSKI, 2002).

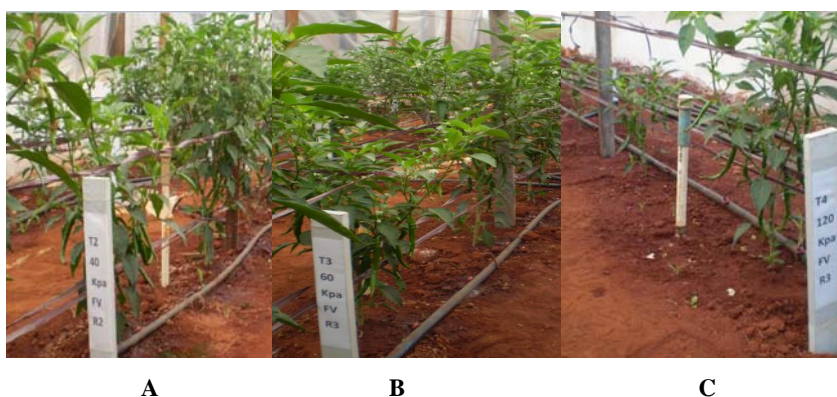


Figura 10 Vista da unidade experimental sob tensão de 40 kPa (Fase Vegetativa)(A); Vista da unidade experimental sob tensão de 60 kPa; (Fase Vegetativa)(B); Vista da unidade experimental sob tensão de 120 kPa (Fase Vegetativa)(C)

4.1.2.2 Massa média de frutos por planta

A Tabela 6 representa a massa média de frutos por planta (MFP) para cada tensão de água no solo. Observou-se maior amplitude (856,55 g planta⁻¹) entre as tensões de 20 e 120 kPa. A menor amplitude foi entre as tensões de 40 e 60 kPa.

Tabela 6 Massa de frutos por planta (MFP), encontrados para cada tensão de água no solo Experimento 1 (Fase vegetativa)

Tensão de água no solo (kPa)	MFP (gplanta ⁻¹)
20	1.936,83
40	1.515,14
60	1.458,75
120	1.080,28

A Figura 11 representa os dados obtidos de massa média dos frutos por planta, em função dos tratamentos aplicados. Observou-se uma tendência de

redução polinomial quadrática, na massa média de frutos por planta, em função do aumento da tensão de água no solo, com coeficiente de determinação R^2 de 0,9568.

Os resultados observados neste trabalho apresentaram-se semelhantes aos obtidos por Marinho (2011), que verificou uma tendência à redução da produtividade da pimenteira com o aumento do déficit hídrico, sendo o modelo linear a 1% de probabilidade o que melhor se ajustou. Segundo o autor, o déficit hídrico durante a fase vegetativa provocou, em determinados níveis, um estresse hídrico de moderado a severo nas plantas.

De forma semelhante, Oliveira (2009) obteve uma tendência à redução quadrática ($P < 0,05$) da produtividade do pepino japonês em ambiente protegido, quando submetido a diferentes níveis de déficit hídrico.

[C2] Comentário: quanto à

Em contrapartida, Bilibio et al. (2010) estudaram o efeito do incremento do déficit hídrico durante a fase de desenvolvimento da cultura da berinjela e verificaram que os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, para um nível de significância de 5%. Segundo os autores, os resultados podem ser explicados pelo curto período da fase vegetativa da cultura, que foi de 24 dias.

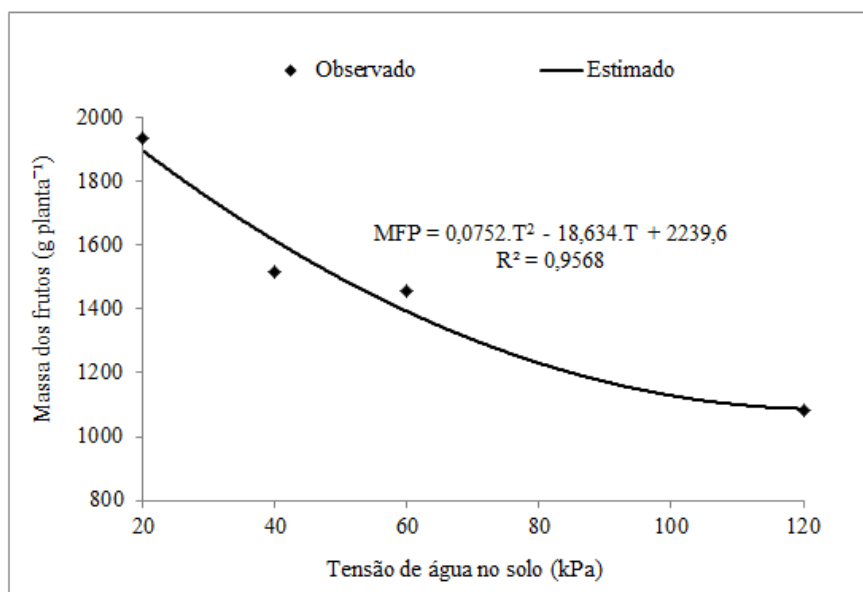


Figura 11 Massa média dos frutos por planta, em função das tensões de água no solo, no experimento 1 (Fase Vegetativa)

De acordo com Marouelli e Silva (2007), quando o déficit hídrico ocorre durante a fase de desenvolvimento vegetativo da pimenteira, provoca um efeito negativo na produção, mesmo que durante o estágio de florescimento e frutificação o suprimento de água seja adequado. Segundo os autores, a ocorrência do déficit hídrico de forma moderada pode favorecer o crescimento do sistema radicular das plantas ao aumento da capacidade de absorção de água e nutriente pela planta.

4.1.2.3 Eficiência de uso da água

A Tabela 7 representa os dados referentes à massa dos frutos, consumo de água durante todo o ciclo da cultura e a eficiência do uso da água para cada tratamento, considerando 10.000 plantas por hectare.

O maior valor de eficiência de uso da água apresentado foi de 31,72 kg mm⁻¹ ha⁻¹ para a tensão de 20 kPa. Já a menor eficiência obtida de 19,26 kg mm⁻¹ ha⁻¹ foi obtida para a tensão de 120 kPa.

Tabela 7 Massa média dos frutos por planta (MFP), lâminas de água aplicadas na fase vegetativa (FV) e na fase reprodutiva (FR), lâmina de água aplicada no ciclo total da cultura e eficiência do uso da água para cultura da pimenta Cayenne, durante a condução do experimento 1

Tratamentos	MFP (kg ha ⁻¹)	Lâminas de água aplicadas (mm)			EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)
		FV	FR	Ciclo total	
20	19368,29	130,70	479,92	610,62	31,72
40	15151,39	127,83	479,92	607,75	24,93
60	14587,50	108,20	479,92	588,12	24,80
120	10802,80	81,09	479,92	561,01	19,26

4.1.3 Avaliação dos parâmetros relacionados ao rendimento da cultura e as características físicas dos frutos experimento 2 (fase reprodutiva)

A Tabela 8 representa o resumo da análise de variância para a massa média dos frutos, número médio de frutos por planta, massa de frutos por planta, diâmetro e comprimento médios dos frutos, em função das tensões de água no solo, observados no experimento 2.

Tabela 8 Análise de variância para amassa média dos frutos (MMF), número médio de frutos por planta (NF) e massa média de frutos por planta (MFP), diâmetro médio dos frutos (DF) e comprimento médio dos frutos (CF), em função dos tratamentos no experimento 2 (Fase Reprodutiva)

FV	GL	QM				
		MMF (g)	NF	MFP (gp ⁻¹)	DF (cm)	CF (cm)
Tensão	3	1,906**	4398,81ns	619.487,98**	0,0087ns	0,1288ns
Resíduo	12	0,2792	2.362,89	20.211,98	0,002913	0,3832
CV(%)		11,99	13,09	8,68	3,2	6,16
Média g.		4,41	371,31	1638,1	1,17	8,98

** : Significativo a 1% de probabilidade; ns: Não Significativo a 5% de probabilidade.

Foi verificado, a 1 e 5% de probabilidade que as tensões de água no solo aplicadas interferiram significativamente na massa média dos frutos e na massa média de fruto por planta, o que não ocorreu para o número de frutos por planta, diâmetro e comprimento médio dos frutos, que não apresentaram diferença significativa nos resultados.

4.1.3.1 Massa média dos frutos

A Tabela 9 representa a massa média de frutos (MMF) em função das tensões de água no solo. O maior valor médio obtido foi de 5,04 g para a tensão de 20 kPa e o menor valor obtido foi de 3,46 g para a tensão de 120 kPa, com redução de aproximadamente 30 %.

Tabela 9 Massa média dos frutos encontrados para cada tensão de água no solo experimento 2 (Fase reprodutiva)

Tensão de água no solo (kPa)	MMF (g)
20	5,04
40	4,72
60	4,41
120	3,46

Excluído: E

A Figura 12 representa o comportamento da massa média dos frutos em função das tensões de água no solo. Observa-se que houve uma redução linear, significativa a ($P < 0,01$), nos valores de massa média dos frutos, em função do aumento das tensões de água no solo.

Comportamento semelhante foi obtido por Azevedo et al. (2005), quando estudou o efeito de diferentes percentuais de reposição de água (40, 60, 80, 100, 120 %) da evaporação do tanque classe A, iniciados durante a fase reprodutiva, sobre as características de rendimento da cultura da pimenta cv. Tabasco, observando-se uma tendência de crescimento do peso médio dos frutos em função do aumento das lâminas de água aplicadas.

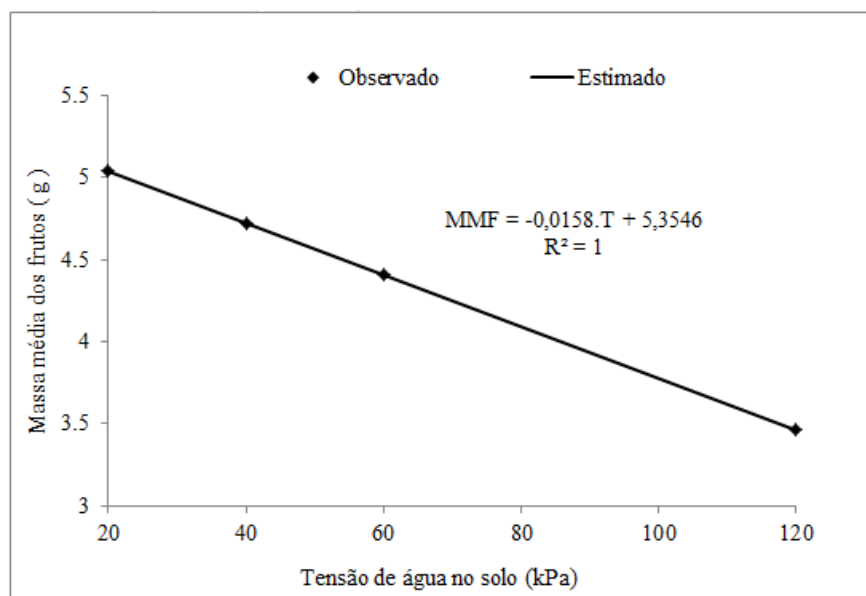


Figura 12 Massa média dos frutos, em função das tensões de água no solo, no experimento 2 (Fase Reprodutiva)

Excluído: f

Marinho (2011) diferentemente do presente estudo não obteve diferença significativa da massa média dos frutos da pimenta cv. Tabasco, quando submetida a diferentes níveis de déficit hídrico (40, 60, 80 e 100 %) da evapotranspiração da cultura, iniciados a partir da fase reprodutiva.

4.1.3.2 Massa média de frutos por planta

A Tabela 10 representa a massa média de frutos por planta (MFP) em função das tensões de água no solo. Observou-se pelo resumo da análise de variância (Tabela 8) que os tratamentos diferiram estatisticamente entre si. A maior massa média dos frutos observada foi 2.091,59 g planta⁻¹ para a tensão de 20 kPa e a menor foi 1.160,58 g planta⁻¹, para a tensão de 120 kPa.

Tabela 10 Massa média de frutos por planta encontrados para cada tensão de água no solo experimento 2 (Fase Reprodutiva)

Tensão de água no solo (kPa)	Massa média de frutos por planta
20	2.091,59
40	1.773,93
60	1.526,34
120	1.160,58

Excluído: E

A Figura 13 representa os dados obtidos de massa média dos frutos por planta, para cada tensão de água no solo, observando-se uma redução polinomial quadrática na massa média dos frutos por planta em função do aumento da tensão de água no solo.

De forma semelhante, Bilibio et al. (2010) verificaram que o aumento da tensão de água no solo, durante a fase reprodutiva da cultura da berinjela apresentou um comportamento que pode ser explicado por um modelo quadrático, mostrando uma queda significativa da produtividade total ($P < 0,05$).

Santana et al. (2004), estudando a influência de diferentes tensões de água no solo (10, 30, 50 e 60 kPa) e doses de cálcio sobre a produtividade total do pimentão cultivado em ambiente protegido, obtiveram um efeito significativo das tensões sobre a variável analisada. Frizzone, Gonçalves e Rezende (2001), obtiveram resultado semelhante estudando o comportamento da produção do pimentão amarelo em função de diferentes tensões de água no solo (15, 32,50 e 65 kPa).

Oliveira (2009), observou que o déficit hídrico imposto durante a fase reprodutiva do pepino japonês provocou uma redução na produção, que é melhor explicada pelo modelo linear.

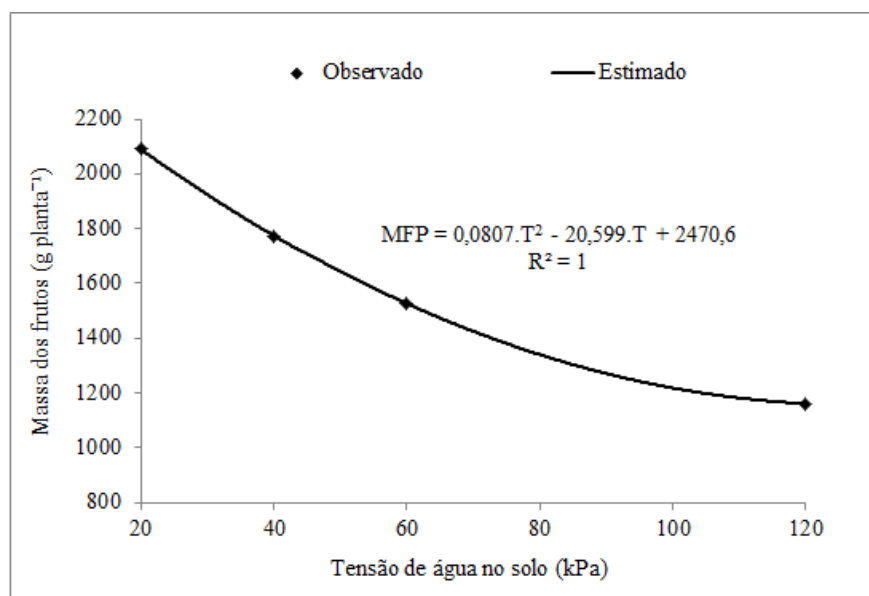


Figura 13 Massa média dos frutos por planta, em função das tensões de água no solo, no experimento 2 (Fase Reprodutiva)

4.1.3.3 Eficiência do uso da água (EUA)

Na Tabela 11 estão representados os dados referentes à massa dos frutos, consumo de água durante todo o ciclo da cultura e a eficiência do uso da água para cada tratamento, considerando 10.000 plantas por hectare.

Observa-se que houve uma diminuição da eficiência do uso da água com o aumento da tensão de água no solo, apresentando como maior eficiência 34,25 kg mm⁻¹ ha⁻¹ e a menor de 28,19 kg mm⁻¹ ha⁻¹ para as tensões de 20 kPa e 60 kPa respectivamente. No entanto, a tensão de 120 kPa apresentou a segunda maior eficiência 30,99 kg mm⁻¹ ha⁻¹.

Tabela 11 Massa média dos frutos por planta (MFP), lâminas de água aplicadas na fase vegetativa (FV) e na fase reprodutiva (FR), lâminas de água aplicadas no ciclo total da cultura e eficiência do uso da água para cultura da pimenta Cayenne, durante a condução do experimento 2

Formatado: Recuo: À esquerda: 0 cm, Deslocamento: 1,75 cm

Tratamentos	MFP (kg ha ⁻¹)	Lâminas de água aplicadas (mm)			EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)
		FV	FR	Ciclo total	
20	20915,89	130,7	479,92	610,62	34,25
40	17739,29	130,7	441,76	572,46	30,99
60	15263,40	130,7	410,80	541,50	28,19
120	11605,80	130,7	246,54	377,24	30,77

4.1.4 Redução do número de frutos e da massa média dos frutos por planta nos experimentos 1 e 2 (fase vegetativa e reprodutiva)

Considerando a tensão de 20kPa como referencial, ou seja, a tensão aplicada que produziu o maior número de frutos por planta e maior massa média de frutos por planta foi atribuído o percentual de redução das duas variáveis analisadas.

Analisando os dados da (Tabela 12) observa-se que o número de frutos apresentou uma redução superior quando o estresse foi aplicado na fase vegetativa, na qual a diferença entre os tratamentos não foi significativa. Já, a massa média de frutos por planta apresentou uma redução com a tensão, com intensidades bastante próximas.

Tabela 12 Redução no número médio de frutos por planta (NF) e na massa média dos frutos por planta (MFP), obtidos nas fases vegetativa e reprodutiva, para cada tensão de água no solo

Tensão de água no solo (kPa)	Redução (%)			
	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva	
	NF	MFP	NF	MFP
20	0,00	0,00	0,00	0,00
40	17,00	21,77	11,06	15,19
60	16,56	24,68	13,58	27,02
120	37,34	44,22	18,90	44,52

4.1.5 Análise da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico

Representa-se na Figura 14, a queda de rendimento em função do déficit aplicado nas fases vegetativa e reprodutiva da cultura (experimentos I e II).

Os coeficientes angulares das equações de regressão caracterizaram fatores de resposta K_y de 0,8098 e 1,0148 para as fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente. De acordo com Doorembos e Kassan (1979), o valor do coeficiente K_y menor que a unidade significa que um menor percentual de redução da produção para um mesmo valor percentual de redução da aplicação de água. Os valores de K_y obtidos neste trabalho permitem classificar a fase reprodutiva como mais sensível ao déficit hídrico, quando comparada à fase vegetativa. Corroborando a afirmação de Marouelli e Silva (2007), de que a fase de frutificação é crítica com relação à necessidade hídrica.

Da mesma forma, Bilibio et al. (2010), obtiveram coeficientes de rendimento (K_y) de 0,2604 e 1,49, para as fases vegetativa e reprodutiva da cultura da berinjela, respectivamente, mostrando que a fase reprodutiva é a mais sensível ao déficit hídrico.

Valores semelhantes de K_y foram obtidos por Ferreyra, Sellés e González (1985) para a cultura do pimentão, apresentando valor médio de K_y para dois anos de cultivo de 0,98.

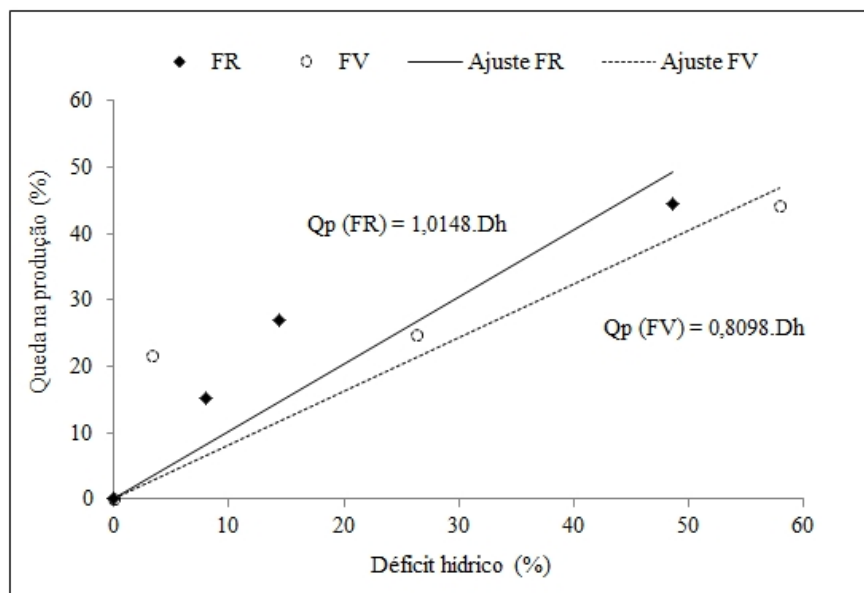


Figura 14 Queda na produção em função do déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva da pimenta Cayenne

Em contrapartida, Marinho (2011), avaliando o efeito do déficit hídrico sobre as características de rendimento da pimenta Tabasco McIlhenny, sob condições de ambiente protegido, observou que as plantas quando submetidas ao déficit hídrico, desde a fase vegetativa, mostraram-se mais susceptíveis quando comparadas às plantas que foram impostas ao déficit hídrico somente a partir da fase de florescimento.

4.2 Estudo II

4.2.1 Características climáticas do estudo II

As coletas dos dados climáticos no interior das casas de vegetação tiveram início juntamente com a aplicação dos tratamentos aos 15 DAT. As temperaturas máximas, mínimas e médias estão representadas na Figura 15.

No período de condução do experimento, a temperatura média do ar foi de 24,2 °C, a temperatura mínima ficou entre 8,4 °C e 21 °C e a temperatura máxima estiveram entre 16,1 °C e 40,6 °C.

Segundo Pinto et al. (2006), as médias de temperatura ideais para um bom desenvolvimento da pimenteira, situa-se entre 21 °C e 30 °C e a média das temperaturas máxima e mínima são de 18 °C e 35 °C, respectivamente. Portanto, a temperatura média observada encontra-se dentro da faixa considerada ideal e os valores de temperatura média mínima e média máxima, próximos aos valores recomendados.

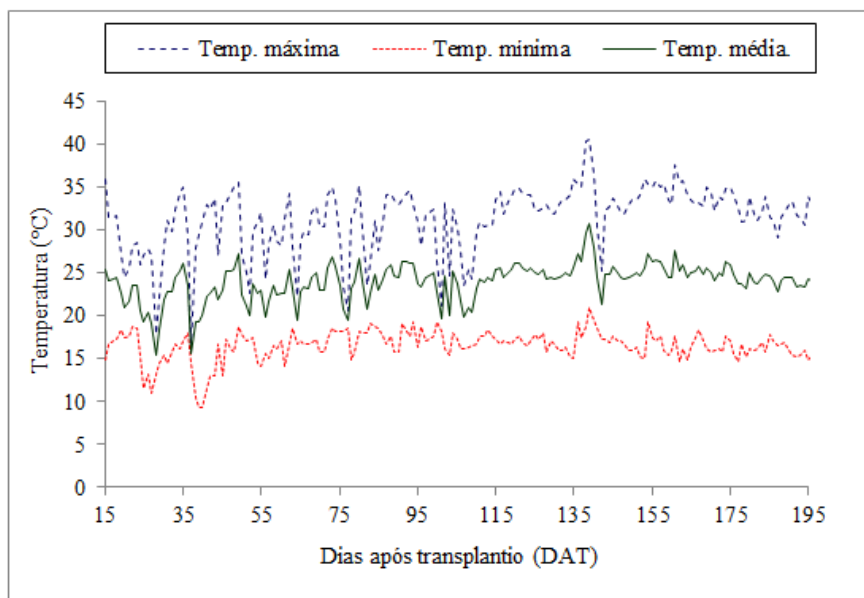


Figura 15 Temperaturas máxima, mínima e média no interior da casa de vegetação, registradas durante a execução do experimento

Os valores de umidade relativa do ar foram coletados para o mesmo período experimental. As umidades máximas, mínimas e médias estão representadas na Figura 16.

A umidade relativa média observada foi de 66,5%, a umidade relativa mínima variou entre 21% e 81% e a umidade relativa máxima entre 87% e 99%. O valor obtido de umidade relativa média de 66,5% encontra-se próximo ao valor de 80%, considerado ideal para cultivo (CRISÓSTOMO et al., 2006).

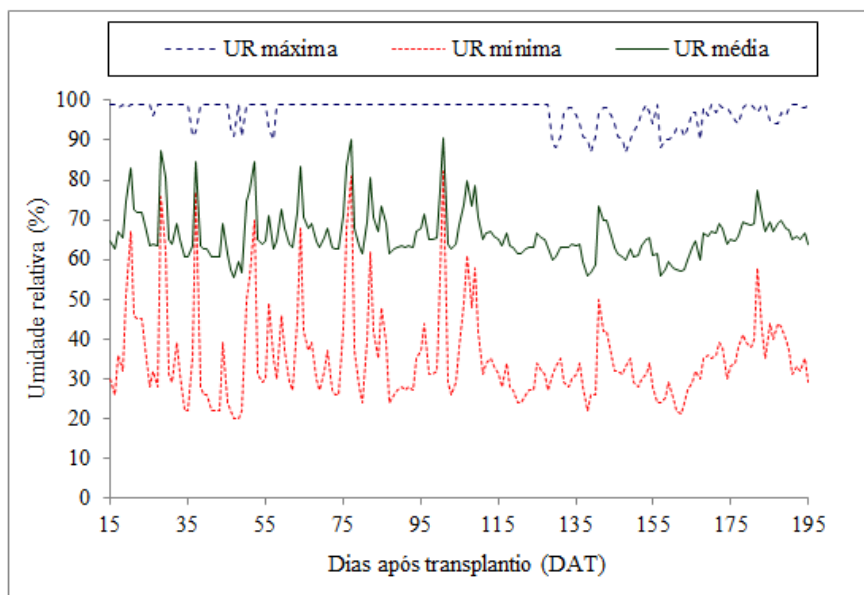


Figura 16 Umidade relativa máxima, mínima e média no interior da casa de vegetação, registradas durante a execução do experimento

4.2.2 Lâminas de irrigação

Observam-se na Tabela 13 os valores das lâminas de irrigação acumulados obtidos em cada tratamento.

Tabela 13 Percentuais de reposição de água e respectivas lâminas aplicadas

Percentuais (%)	Lâminas aplicadas (mm)
50	312,94
75	469,41
100	625,88
125	782,35
150	938,82

As lâminas de água aplicadas para os tratamentos de 100 e 125% durante a condução do estudo II encontraram-se dentro da faixa de consumo de

água pela pimenteira, que normalmente, varia de 500 a 800 mm por ciclo (MAROUELLI, 2008).

Sob as condições de ambiente protegido, em Piracicaba-SP, para cultura da pimenta cv. Tabasco foram requeridos valores de 459 mm, num ciclo de 245 dias (CHAVES, 2008), de 461 mm num ciclo de 188 dias (PAULA, 2008) e de 411 mm num ciclo de 208 dias (MARINHO, 2011). Neste trabalho obteve-se um consumo médio de 625 mm para um ciclo de 195 dias.

4.2.3 Avaliação das características relacionadas ao rendimento da cultura e características físicas dos frutos

A análise de variância realizada para a massa média dos frutos (MMF), número de frutos por planta (NF), massa média de frutos por plantas (MFP), diâmetro (DF) e comprimento médio dos frutos (CF), em função das lâminas de reposição de água no solo, está representada na Tabela 14.

Tabela 14 Análise de variância para a massa média dos frutos (MMF), número médio de frutos por planta (NF), massa de frutos por planta (MFP), Diâmetro médio do fruto (DF) e Comprimento médio do Fruto (CF), em função dos tratamentos no Estudo II

FV	GL	QM				
		MMF (g)	NF	MFP (g p ⁻¹)	DF (cm)	CF (cm)
Lâminas	4	0,1566ns	13831,51*	125185,81**	0,0046ns	0,6346ns
Resíduo	20	0,1790	127,54	41478,08	0,00940	1,1578
CV (%)		9,47	2,44	9,9	8,16	12,27
Média g.		4,47	462,25	2057,18	1,19	8,77

*: significativo a 1% de probabilidade; **: significativo a 5% de probabilidade
ns: não significativo a 5% de probabilidade.

A Tabela de análise de variância demonstra que houve diferença significativa a 1% de probabilidade para o número de frutos por planta e a 5% de probabilidade para a massa média de frutos por planta. As variáveis massa

Formatado: Recuo: A
esquerda: 0 cm,
Deslocamento: 1,75 cm

média dos frutos, diâmetro e comprimento médio dos frutos, não apresentaram diferença estatística nos resultados.

4.2.3.1 Número de frutos por planta

O número de frutos por planta observados para cada lâmina de reposição de água no solo está representado na Tabela 15. O maior valor médio observado foi de 530,00 frutos planta⁻¹, para lâmina equivalente a 100% da lâmina de reposição de água no solo. A maior amplitude de variação foi de 130 frutos planta⁻¹, entre as lâminas de 50 e 100% de reposição de água no solo.

Tabela 15 Número médio dos frutos por planta, encontrados para cada percentual de reposição de água no solo e respectivas lâminas aplicadas (Estudo II)

Percentuais de reposição de água no solo (%)	Lâminas aplicadas (mm)	NFP
50	312,94	400,00
75	469,41	460,67
100	625,88	530,00
125	782,35	495,39
150	938,82	424,60

Na Figura 17 é demonstrado o número médio de frutos por planta em função das lâminas de reposição de água aplicadas. Observou-se uma tendência à redução polinomial quadrática do número de frutos por planta ($P < 0,01$), a partir de 100% da lâmina de reposição de água no solo.

Marinho (2011) verificou de forma similar, tendência linear negativa para o número de frutos por planta em função das lâminas de água em qualquer época de diferenciação dos tratamentos. Observou-se também, que a redução de 1% da lâmina na fase vegetativa e na fase de floração-frutificação provoca a redução de 10,12 e 10,32 frutos planta⁻¹, respectivamente, para o intervalo de

tempo estudado. A maior amplitude de variação encontrada ocorreu entre as lâminas de 40 e 100% da evapotranspiração da cultura.

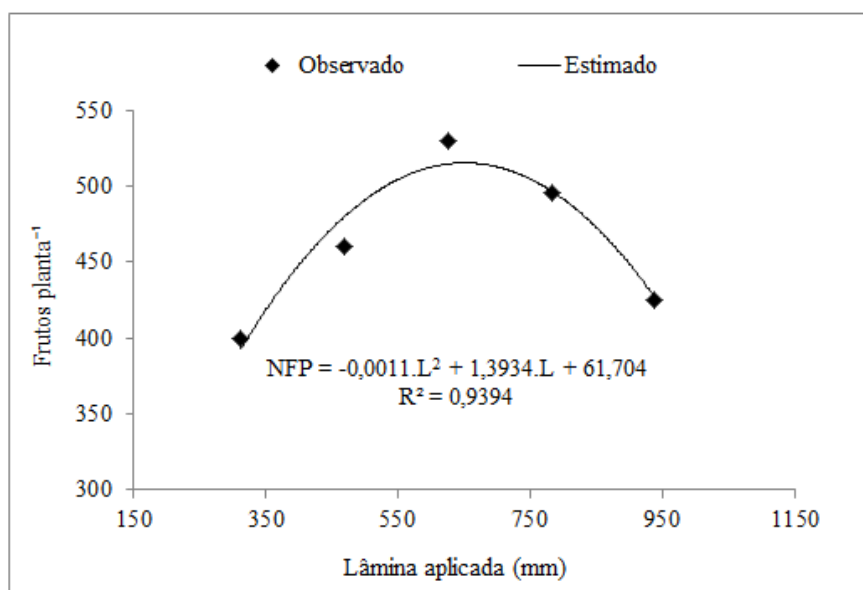


Figura 17 Número de frutos por planta, em função das lâminas aplicadas durante o ciclo da cultura, no estudo II

Em contrapartida, Azevedo et al. (2005), observaram que o número de frutos por planta não diferiu estatisticamente para as lâminas de água aplicadas (674, 765, 873, 969 e 1080 mm), correspondente a (40, 60, 80, 100 e 120 %) da evaporação do tanque classe A. Segundo o autor, tais resultados podem ser explicados pelo alto coeficiente de variação observado ou pela metodologia de amostragem adotada. O mesmo resultado foi obtido por Fernandes et al. (2002) e Lima et al. (2002), que estudaram o efeito de diferentes lâminas de irrigação (70, 100 e 130% da ECA) sobre a cultura do pimentão.

A partir dos resultados da variação do número de frutos em função da quantidade de água de irrigação, representados na Tabela 15 e representado graficamente na Figura 13, pode-se dizer que tanto o déficit hídrico quanto a

aplicação excessiva de água influenciaram negativamente na quantidade de frutos produzidos por planta.

4.2.3.2 Massa média dos frutos por planta

A massa média de frutos por planta observados para cada percentual de lâmina de reposição de água no solo está representada na Tabela 16. Verificou-se que o maior valor obtido foi 2.269,9 g planta⁻¹ para a lâmina de 625,88 mm, correspondente a 100% de reposição da lâmina de água.

Tabela 16 Massa média de frutos por planta encontrados para cada lâmina de reposição de água no solo e respectivas lâminas aplicadas (Estudo II)

Percentuais de reposição de água no solo (%)	Lâminas aplicadas (mm)	MFP (g planta ⁻¹)
50	312,94	1.851,28
75	469,41	2.061,76
100	625,88	2.269,59
125	782,35	2.130,85
150	938,82	1.972,41

A massa média dos frutos apresentou comportamento semelhante ao número de frutos por planta em função das lâminas de irrigação. De acordo com os resultados da Tabela 16, 50% de déficit hídrico provocou maior queda (18,4 %) da massa média dos frutos por planta do que uma aplicação excessiva da mesma magnitude (13,1%). A aplicação excessiva pode provocar o lixiviamento dos nutrientes do solo e redução da aeração das raízes, entretanto, se o solo tiver boa estrutura e sem limitações de infiltração (drenagem) os efeitos negativos da aplicação excessiva podem ser minimizados.

Resultados obtidos por Dorji, Behboudian e Zegbe - Domínguez (2005) mostraram redução da massa fresca total de frutos da pimenta 'Ancho São Luis (*Capsicum annum L.*), quando as plantas foram submetidas a 50 % da lâmina de

reposição de água no solo, com a aplicação de água realizada de forma semelhante a este trabalho a redução obtida foi de 34,7 % em relação a 100% de reposição da lâmina de água, já quando a água foi aplicada nos dois lados da planta a redução obtida foi de 19%, semelhante ao valor obtido no presente trabalho.

A Figura 18 ilustra os dados obtidos de massa média dos frutos por planta, em função dos tratamentos aplicados, observando-se uma redução polinomial quadrática da massa dos frutos por planta, a partir da lâmina de 625,88 mm.

Vilas Boas et al. (2008), estudaram o efeito de diferentes lâminas de reposição de água no solo, em duas cultivares de alface sob cultivo protegido, e obtiveram respostas quadráticas significativas ($P < 0,05$). Comportamento semelhante foi observado por Lima Júnior et al. (2011), obtendo diferença estatística significativa para massa média da alface, em função de diferentes lâminas de reposição de água.

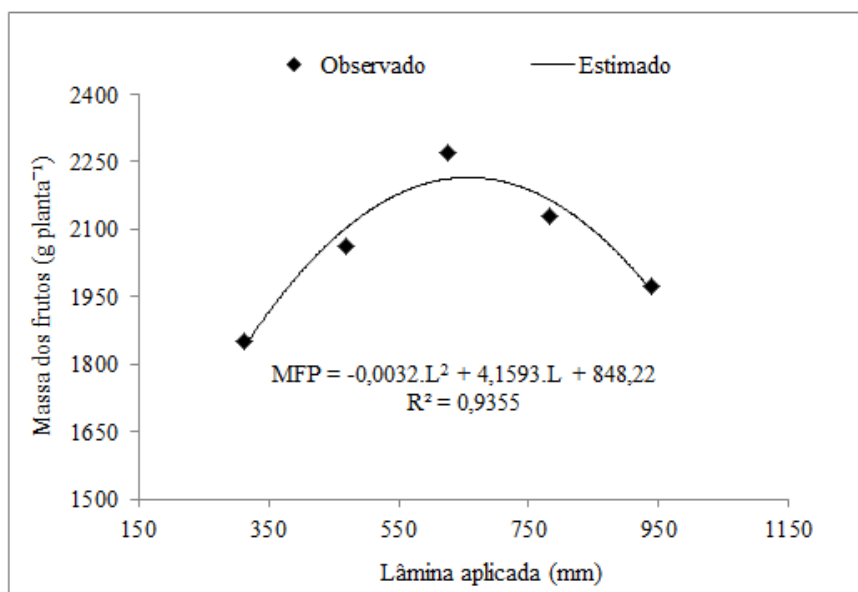


Figura 18 Massa dos frutos por planta, em função das lâminas aplicadas durante o ciclo da cultura, no estudo II

Contrariamente aos resultados obtidos no presente trabalho, Azevedo et al. (2005), avaliaram o efeito de diferentes lâminas de irrigação (674, 765, 873, 969 e 1080 mm), durante o ciclo da cultura da pimenta cv. Tabasco McIlhenny em condições de campo e verificaram tendência ao crescimento de forma linear para variável produtividade. No mesmo trabalho obtiveram como maior produtividade 1.361 g planta⁻¹, para uma lâmina de 765 mm, correspondente a 120% da evaporação do tanque classe A.

4.2.4 Análise econômica da lâmina de água

Considerando a hipótese de que $L(w)$ possui um valor máximo de acordo com a equação 12, e que a água é o único fator variável, foram obtidas as máximas produtividades física e econômica para o cultivo da pimenta Cayenne.

A equação 16, que descreve a variação da produção da pimenteira, em gramas por planta, em função do fator água, foi multiplicada por 10.000 plantas para obter a equação 17, a qual descreve a variação da produção, em quilogramas por hectare, da aplicação de água (mm). A máxima produtividade física da pimenteira foi estimada em 22.997,65 kg ha⁻¹ para aplicação de uma lâmina de 649,89mm. Posteriormente, a equação foi derivada e igualada a zero (equação 18, obtendo-se, assim, a máxima produtividade física do fator água (MPFA). Em seguida, igualou-se esse indicador econômico à relação de preços entre fator lâmina de água e preço da pimenta (equação 19).

$$Y = P = -0,0032 \cdot W^2 + 4,16 \cdot W + 848,2 \quad (16)$$

$$Y = P = -0,032 \cdot W^2 + 41,60 \cdot W + 8482 \quad (17)$$

Excluído: ¶

Formatado: Espaçamento entre linhas: 1,5 linha

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = -0,064 \cdot W + 41,60 = 0 \quad (18)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = -0,064 \cdot W + 41,60 = \frac{PY}{PW} \quad (19)$$

Formatado: Recuo: Primeira linha: 0 cm

Formatado: Recuo: Primeira linha: 0 cm, Espaçamento entre linhas: 1,5 linha

Excluído: $\frac{\partial Y}{\partial W} = -0,064 \cdot W$

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = -0,064$$

Excluído:

Observa-se, pelos dados da Tabela 17, que a máxima produtividade física do fator água, também chamada produto físico marginal do fator água (PFMa), tem valor inicialmente positivo e decresce à medida que se aumenta a lâmina total de irrigação aplicada ao solo.

Tabela 17 Produto físico marginal do fator água (PFMa), para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas

Lâmina de irrigação (mm)	PFMFa (kg ha ⁻¹)
290,44	21,56
436,66	11,55
580,88	1,54
726,10	-8,48
871,32	-18,49

Quando o PFMa atinge o valor zero, significa que a lâmina de irrigação aplicada proporcionou a máxima produtividade física, representando 22.997,65 kg ha⁻¹, aplicando uma lâmina de irrigação de 649,89 mm, o que equivale a 103,84% de reposição de água no solo. A partir do ponto em que o PFMa apresentou valor nulo (649,89 mm), a aplicação de maior lâmina de irrigação conduziu a valores negativos, indicando ser não econômico o uso dessa quantidade de água (utilização excessiva de água).

A lâmina ótima de irrigação para a obtenção da máxima eficiência econômica, que foi calculada igualando-se a expressão da MPFA (PFMa) à relação de preços do fator variável (P_w) e do produto (P_y), como expresso na equação (24), obteve valor de 642,39 mm (102,64% de reposição de água no solo), gerando produtividade de 21.995,85 kg ha⁻¹.

Fazendo-se uma análise comparativa entre a lâmina ótima econômica e a lâmina que gera a máxima produtividade física, observam-se valores bastante próximos. A proximidade dos valores da lâmina que proporciona a máxima produtividade física com aquela responsável pela máxima produtividade econômica significa que o custo adicional com aplicação da irrigação é pequeno com relação ao valor da produção, indicando, ainda, que a irrigação da pimenteira deve ser feita de forma a manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo.

Corroborando essa comparação, Carvalho et al. (2011), fazendo uma avaliação econômica do efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a produção do pimentão em ambiente protegido, também observou valores bem próximos para a lâmina de 443,9 mm, que obteve a maior produtividade física representando (103,7% de reposição de água) e a lâmina de 443,5 mm (103,62 %), com que se obteve o maior retorno econômico.

Conforme a equação 20, a receita bruta (RB) foi obtida por meio dos valores de cada produtividade (Y) multiplicada pelo preço da pimenta Cayenne (P_y) tomado para o mês de março de 2012. Já a receita líquida (RL), foi gerada da subtração da receita bruta pelos custos totais (CT), envolvendo os custos dos fatores fixos e os custos com a variação das lâminas de irrigação aplicadas (equação). As funções de produção para a RB, RL e CT são verificadas pelas Equações 20, 21 e 22, respectivamente.

$$RB = -0,096.W^2 + 124,78.W + 25.447 \quad (20)$$

Em que:

RB = receita bruta (R\$);

W = lâmina de irrigação (mm);

$$RL = -0,096.W^2 + 123,34.W - 9.316 \quad (21)$$

Em que:

RL = receita líquida (R\$);

$$CT = 1,44.W + 16.130 \quad (22)$$

Em que:

CT = Custos totais (R\$).

Na Figura 19, são explicitados os valores da RB e da RL gerados pelas funções de produção, juntamente com os custos totais (CT). A receita líquida obtida por simulação para o máximo retorno econômico neste estudo foi de R\$48.932,61, equivalente a uma lâmina de 642,39 mm (102,64% de reposição de água no solo), acarretando em uma produtividade de 21.995,85(kg ha⁻¹).

Esse alto valor obtido no retorno econômico pode ser justificado, uma vez que foi considerado o preço de venda do produto diretamente na propriedade, não sendo levados em conta os custos com logística, perdas físicas no transporte, na recepção e armazenamento do produto na central de abastecimento, dentre outras perdas decorrentes por outros fatores.

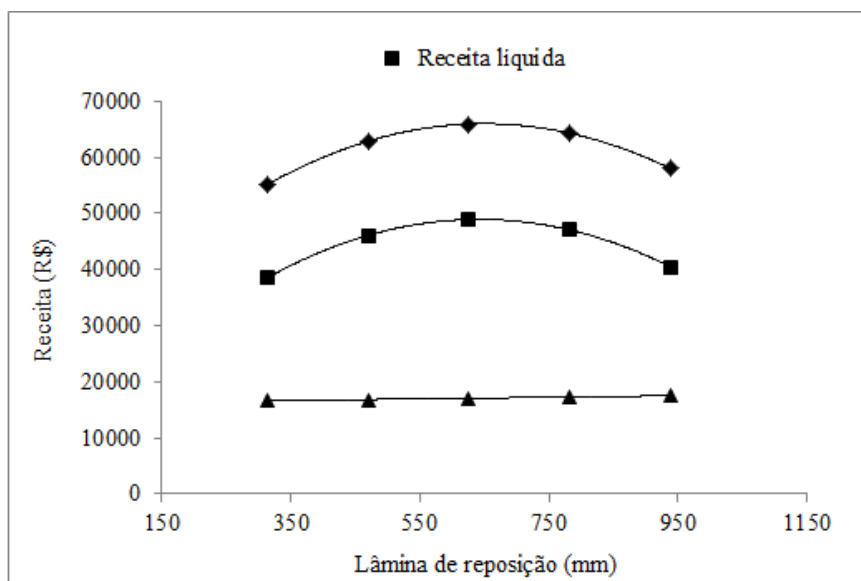


Figura 19 Receita bruta, receita líquida e custos totais da produção, em função das lâminas de irrigação

Pelo gráfico da Figura 20 gerado pela equação 24, observa-se que quando a relação P_w/P_y atinge o valor zero, significa que a lâmina de irrigação aplicada (lâmina ótima econômica) proporcionou, da mesma forma, a máxima produtividade física.

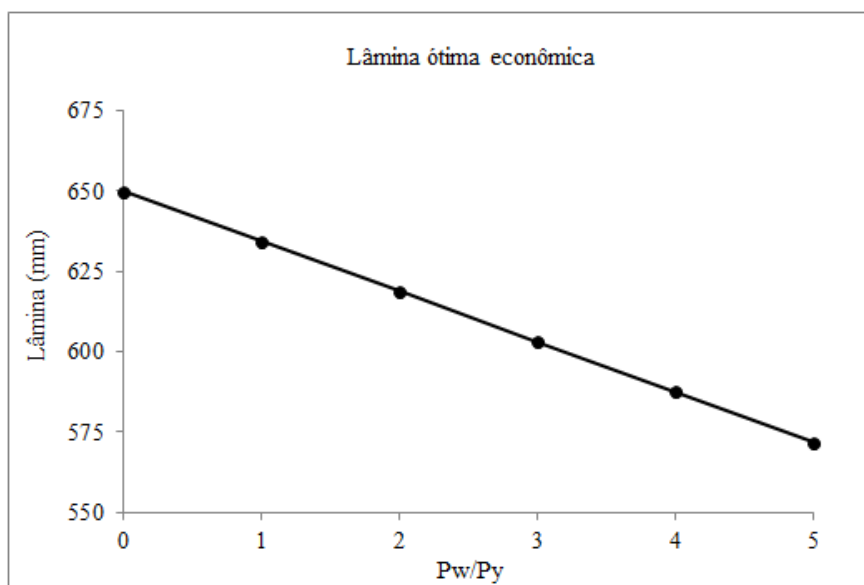


Figura 20 Lâmina ótima econômica em função da relação entre o preço da água (P_w) e o preço da pimenta Cayenne (P_y), para produtividade comercial

Verifica-se que a lâmina ótima decresce à medida que aumenta a relação entre preços (P_w/P_y). Assim, considerando essa tendência, variando o preço da água e mantendo fixo o preço da pimenta Cayenne, a lâmina econômica total de irrigação a aplicar deve ser menor, para que o produtor obtenha o lucro máximo na atividade.

4.2.5 Análise econômica da lâmina de água em casa de vegetação

O mesmo estudo foi realizado para as condições experimentais, ou seja, em função do cultivo da pimenta cv. Cayenne em casas de vegetação de 97,5 m². Utilizou-se para efeito de cálculo uma área útil de 60,0 m², levando-se em consideração as áreas destinadas a um carreador de 1 metro de largura entre as

fileiras de plantas, base do conjunto motobomba e entre as laterais da casa de vegetação e as plantas, com isso, obteve-se cem plantas por estufa.

Nessas condições, o custo da casa de vegetação, devidamente montada, foi de R\$15.000,00, incluindo todas as obras relativas às instalações elétricas e hidráulicas necessárias para o funcionamento do sistema.

No cálculo da depreciação da casa de vegetação, consideraram-se a taxa básica de juros anual (SELIC) de 7,5 % e a vida útil dos equipamentos de 15 anos, chegando-se a um fator de recuperação de capital (FRC) de 0,1133 que, multiplicado ao custo do sistema de irrigação, gerou o custo de amortização dos fatores mantidos constantes de R\$1.699,17.

Considerando a hipótese de que $L (W)$ possui um valor máximo de acordo com a equação 16, e que a água é o único fator variável, foram obtidas as máximas produtividades físicas para o cultivo da pimenta Cayenne. A partir daí foi calculada a máxima receita bruta, considerando o preço da pimenta Cayenne (P_y) de (R\$ kg^{-1} 3,00) e a máxima produtividade 229,98 kg, obtendo-se a máxima receita bruta (R\$689,94).

Nota-se que a máxima receita obtida não paga os custos gerados pela amortização do sistema, tornado nessas condições o cultivo da pimenta Cayenne em casa de vegetação economicamente inviável, considerando o tempo de cultivo do presente trabalho.

5 CONCLUSÕES

- a) A produtividade da cultura decresceu com o aumento das tensões aplicadas durante as fases vegetativa e reprodutiva.
- b) Os fatores de resposta K_y obtidos foram de 0,9257 e 1,1070 para as fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente, indicaram que a fase reprodutiva é mais sensível ao déficit hídrico.
- c) O manejo da irrigação com utilização da tensão de 20kPa para se promover as irrigações se mostrou a mais adequada para as fases vegetativa e reprodutiva da cultura da pimenta cv. Cayenne cultivado em ambiente protegido.
- d) A lâmina de maior rentabilidade econômica representou 98,8 % da lâmina aplicada para obtenção da máxima produtividade física.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.
- ALCÂNTARA, F. A. D.; RIBEIRO, C. S. D. Solos e adubação. In: RIBEIRO, C. S. D. C. **Pimentas Capsicum**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. v. 1, cap. 8, p. 81-94.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AZEVEDO, B. M. D. et al. Rendimento da pimenteira em função de lâminas de irrigação. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 36, n. 3, p. 268-273, 2005.
- BAER, J.; SMEETS, L. Effects of relative humidity on fruit set and seed set in pepper (*Capsicum annun L.*). **Horticultura abstracts**, Wageningen, v. 48, n. 8, p. 645, 1978.
- BERNARDO, S. Irrigação e produtividade. In: FARIA, M. A. et al. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: SBEA, 1998. Cap. 1.4, p. 117-132.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 611 p.
- BILIBIO, C. et al. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.
- BRASIL. **Normas climatológicas 1965-1990**. Brasília, 1992. 84 p.
- CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madri: Mundi-Prensa, 1986. 461 p.
- CARRIJO, O. A.; APARECIDO, M. V.; SILVA, H. R. D. Manejo da água do solo na produção de hortaliças em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 45-51, set./dez. 1999.

CARVALHO, J. A. et al. 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.

CARVALHO, J. A. et al. Produção da ervilha cultivada em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 44-50, 2012.

CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B. Cultivo. In: RIBEIRO, C. S. D. **Pimentas Capsicum**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. Cap. 5, p. 39-54.

CEASAMINAS CENTRAIS DE ABASTECIMENTO. **Boletim diário de preços**. Disponível em: <http://minas.ceasa.mg.gov.br/detec/boletim/boletim_produto/boletim_produto.php>. Acesso em: 31 mar. 2012.

CHAVES, S. W. P. **Efeito da alta frequência de irrigação e do mulching plástico na produção da pimenta tabasco fertirrigada por gotejamento**. (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CRISÓSTOMO, J. R. et al. **Sistemas 3 de produção: cultivo de pimenta Tabasco no Ceará**. Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 40 p. Disponível em: <www.cnpat.embrapa.br/home/dow/index.php?pub/sp_3pdf>. Acesso em: 10 jan. 2012.

CRUZ, D. M. R.; BANCI, C. A. Produção de mudas e plantio. In: RIBEIRO, C. S. D. C. **Pimentas Capsicum**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. v. 1, cap. 7, p. 73-79.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO Irrigation and drainage, 1979. 193 p. (Paper, 35).

DORJI, K.; BEHBOUDIAN, M. H.; ZEGBE-DOMINGUEZ, J. A. Waterrelations, growth, yield and fruit quality of hot pepper underdeficit

irrigation and partial rootzone drying. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 105, p. 138–149, 2005.

DOURADO NETO, D. et al. **Programa SWRC**: soil-water retention curve (version 3.0). Piracicaba: ESALQ, 2001. (Software).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERNANDES, D. L. et al. Utilização de substratos orgânicos na produção de pimentão, sob diferentes lâminas de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: [s. n], 2002. 1 CD ROM.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: sistema de análise de variância. Lavras: DEX/UFLA, 2007.

FERREYRA, E. R.; SELLÉS, V. S. G.; GONZALÉZ, P. M. Efecto de diferentes alturas de água sobre el cultivo del pimiento (*Capsicum annum*). **Agricultura Técnica**, Santiago, v. 45, n. 3, p. 235-239, jul./sept. 1985.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: [s. n.], 1993. 42 p.

FRIZZONE, J. A.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R. Produtividade do pimentão amarelo *Capsicum annum* L., cultivado em ambiente protegido, em função do potencial mátrico da água no solo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1111-1116, 2001.

GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 1, p. 898-982, 1980.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 2. ed. Campina Grande: EDUEPB, 1997. 390 p.

GOMES, L. A. A.; SILVA, E. C. D. S.; FAQUIN, V. Recomendações de adubação para cultivos em ambiente protegido. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendação para usos de**

corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 99-110.

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: FARIA, M. A. et al. **Manejo de irrigação.** Poços de Caldas: SBEA, 1998. Cap. 2, p. 133-239.

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.

KATERJI, N.; MASTRORILLI, M.; HAMDY, A. Effects of water stress at different growth stage on pepper yield. **Acta Horticulture**, Almeria, v. 355, n. 1, p. 165-172, 1993.

KLAR, A. E.; JADOSKY, S. O. Efeitos da irrigação e da cobertura do solo por etileno preto sobre as características morfológicas do pimentão. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 154-167, 2002.

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

KOETZ, M. **Maracujazeiro-amarelo:** cultivo protegido e natural, irrigação e adubação potássica. 2006. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

LIMA JÚNIOR, J. A. de et al. Comportamento produtivo e econômico da alface americana em função de diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1161-1167, 2011.

LIMA, L. M. L. et al. Utilização de diferentes lâminas de irrigação e substratos orgânicos na produção de pimentão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: [s. n.], 2002. 1CD ROM.

MARINHO, L. B. **Irrigação plena e com déficit em pimenta cv. Tabasco em ambiente protegido.** 2011. 102 p. (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Irrigação. In: _____. **Pimentas Capsicum**. Brasília: EMBRAPA/CNPH, 2008. Cap. 9, p. 95-108.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetro para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA/CNPH, 2008. 14 p. (Circular Técnica, 57).

OLIVEIRA, E. C. et al. Effects of water deficit in two phenological stages on production of japanese cucumber cultivated ingreenhouse. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 31, p. 676-686, 2011.

OLIVEIRA, E. C. **Manejo de irrigação da cultura do pepino Japônes (Cucumis sativus L.) em ambiente protegido**. 2009. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PAULA, F. L. M. **Aplicação de Co₂ via irrigação na pimenta Tabasco cultivada em ambiente protegido**. 2008. 133 p. Tese (Doutorado em irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PINTO, M. F. et al. Clima, época de semeadura, produção de mudas, plantio e espaçamento na cultura da pimenteira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 235, p. 40-49, nov./dez. 2006.

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. **Manejo do ambiente em cultivo protegido**. 2006. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/tecnologias/MANEJO_Cultivo_protegido.htm>. Acesso em: 20 jul. 2011.

REIFSCHNEIDER, F. J. B.; RIBEIRO, C. S. D. Cultivo. In: RIBEIRO, C. S. D. **Pimentas Capsicum**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. Cap. 1, p. 11-14.

RIBEIRO, C. S. D.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Genética e melhoramento. In: RIBEIRO, C. S. D. C. **Pimentas Capsicum**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. v. 1, Cap.6, p. 55-70.

SANTANA, M. J. et al. Produção do pimentão (*Capsicum annuum* L.) irrigado sob diferentes tensões de água no solo e doses de cálcio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1385-1391, nov./dez. 2004.

SILVA, E. L. D. **Relação água-solo-planta**. Lavras: UFLA, 2011. p. 74.

VILAS BOAS, R. C. et al. Avaliação técnica econômica da produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 525-531, 2008.