**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Cultivo de pimentão em ambiente protegido utilizando diferentes
manejos de fertirrigação**

Francisco de Assis de Oliveira

**Tese apresentada para obtenção de título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba
2012**

Francisco de Assis de Oliveira
Engenheiro Agrônomo

**Cultivo de pimentão em ambiente protegido utilizando diferentes manejos de
fertirrigação**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. SERGIO NASCIMENTO DUARTE

**Tese apresentada para obtenção de título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem**

Piracicaba
2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Oliveira, Francisco de Assis de

Cultivo de pimentão em ambiente protegido utilizando diferentes manejos de
fertirrigação / Francisco de Assis de Oliveira.- - versão revisada de acordo com a
resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.
222 p: Il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Ambiente protegido (Plantas) 2. Concentração iônica 3. Condutividade elétrica
4. Fertirrigação - Manejo 5. Pimentão I. Título

CDD 635.643
O48m

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*Aos meus pais, José Dózio e Cleonice
me conceberam, me criaram, me orientaram e
incentivaram para lutar pelos sonhos, pelo
exemplo de amor, fé e dignidade, para se
alcançar o sucesso em cada caminhada.*

DEDICO

*À minha amada esposa Mychelle
Karla, pelo incentivo, amor e confiança,
mesmo distante sempre me apoiou nessa
jornada, embora as dificuldades fossem
inerentes, foram importantes no
fortalecimento do nosso amor.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela força para superar todos os obstáculos em todos os momentos de minha vida;

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização deste curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

A todos os professores do Curso do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ, em especial ao Prof. Dr. Sergio Nascimento Duarte pela valiosa orientação, confiança e amizade;

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, pelo apoio material necessário para o desenvolvimento desta pesquisa;

Aos Professores da UFERSA, em especial aos Drs. Nildo da Silva Dias e José Francismar de Medeiros, pela contribuição valiosas sugestões durante a execução deste trabalho;

A minha amada esposa Mychelle, pelo amor incondicional, apoio, paciência e confiança; fundamentais para me fortalecer nesta batalha;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, em especial: Davilmar, Beatriz, Sandra, Sr. Antônio, Gilmar, Hélio, Luis, pelo apoio recebido durante a minha estadia em Piracicaba, a todos meus parabéns pelo profissionalismo e competência;

Aos professores do Departamento de Ciências Ambientais da UFERSA, especialmente aos profs. José Francismar de Medeiros, Nildo da Silva Dias, Neyton de Oliveira Miranda, Manoel Januário da Silva Júnior e Miguel Ferreira Neto, pela grandiosa colaboração no desenvolvimento deste trabalho;

Aos amigos Valfísio, Pedro Robinson, Carlos, Cláudio Uyeda e Allan, que me apoiaram desde a minha chegada a Piracicaba;

Aos amigos e companheiros nordestinos, que exalam todo o orgulho em fazer parte da nação nordestina, contribuindo para o desenvolvimento Brasil;

Aos amigos e contemporâneos da Vila Acadêmica de Pós-graduação da ESALQ, pelos momentos compartilhados;

Ao colega e grande amigo Carlos José, pelo apoio ao longo dessa e de outras jornadas, mesmo distante suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho;

Aos colegas do curso de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas: Allan, Alexssandro, Basalto, César, Cícero, Cornélio, Danilton, Daniele, Dinara, Everaldo, Fernando, Janaína, João Lelis, Jussálvia, Lucas Vellame, Marinaldo, Pedro Róbinson, Rafael Maschio, Renato, Róbson, Sérgio, Vanessa, pelos momentos vividos durante o doutorado, cada um contribuiu de forma especial para o sucesso deste trabalho;

Ao grupo de pesquisas em Irrigação e Nutrição de Plantas (IRRIGANUTRI-UFERSA), em especial aqueles que participaram diretamente na execução, Matheus, Ricardo, Keivianne, Otaciana, Priscila, Willame, Priscila, Ronaldo, Alcione, Isaias; Aracati, Ana Cláudia..., pelo apoio, companherismo e apoio físico necessários ao sucesso deste trabalho,

Finalmente, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Importância socioeconômica do pimentão	23
2.2 Cultivo em ambiente protegido	24
2.3 Resposta do pimentão a fertirrigação nitrogenada e potássica	25
2.4 Manejo da fertirrigação	26
2.5 Salinização do solo em ambiente protegido	30
2.6 Movimentação de nitrogênio e de potássio na solução do solo	34
2.7 Monitoramento da solução do solo	37
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 Localização geográfica da área experimental	45
3.2 Descrição experimental	45
3.3 Tratamentos e delineamento experimental	47
3.4 Calibração dos extratores de solução do solo	49
3.5 Instalação e condução da segunda fase da pesquisa	54
3.6 Plantio e condução da cultura	57
3.7 Sistema e manejo da irrigação	58
3.8 Extração da solução do solo e manejo da fertirrigação	59
3.9 Parâmetros avaliados	62
3.9.1 Crescimento e desenvolvimento	63
3.9.2 Rendimento de frutos	63
3.9.3 Qualidade de frutos	65
3.9.4 Alterações químicas do solo	65
3.9.5 Teor de nutrientes no tecido vegetal	66
3.9.6 Índices de eficiência da fertirrigação	67
3.9.7 Consumo hídrico e eficiência do uso da água	68
3.9 Análise estatística	69

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1 Dados climáticos durante o experimento	71
4.2 Monitoramento da solução do solo	72
4.3 Consumo de Nitrogênio e de Potássio.....	77
4.4 Potencial mátrico do solo e consumo de águas pelas plantas.....	79
4.5 Parâmetros de desenvolvimento das plantas	85
4.5.1 Diâmetro do caule, altura de plantas, número de folhas e área foliar	85
4.5.2 Acúmulo e partição de fitomassa	92
4.6 Parâmetros de rendimento e qualidade de frutos	99
4.6.1 Rendimento de frutos.....	99
4.6.2 Qualidade química de frutos	113
4.7 Atributos químicos do solo.....	121
4.7.1 Cálcio, magnésio, sódio e potássio.....	121
4.7.2 Condutividade elétrica do extrato de saturação, potencial hidrogeniônico, percentagem de sódio trocável e razão de adsorção de sódio.....	132
4.8 Aspectos nutricionais das plantas.....	144
4.8.1 Teor e acúmulo de nitrogênio	144
4.8.2 Teor e acúmulo de fósforo	155
4.8.3 Teor e acúmulo de potássio.....	163
4.8.4 Teor e acúmulo de cálcio	173
4.8.5 Teor e acúmulo de magnésio	183
4.9 Eficiência da fertirrigação nitrogenada e potássica.....	192
4.9.1 Eficiência Agronômica	192
4.9.2 Eficiência Fisiológica.....	194
4.9.3 Eficiência de Recuperação	195
4.9.4 Eficiência de Absorção	196
5 CONCLUSÕES.....	198
REFERÊNCIAS	199

RESUMO

Cultivo de pimentão em ambiente protegido utilizando diferentes manejos de fertirrigação

Em busca da máxima produtividade das culturas em ambiente protegido, muitos agricultores aplicam doses excessivas de adubos. Isto, na maioria das vezes, acarreta no aumento dos custos de produção, no baixo rendimento das culturas, contaminação ambiental e acúmulo de sais no solo, podendo torná-lo impróprio para o cultivo. Neste sentido, são realizados estudos para desenvolver um manejo da fertirrigação que propicie maior eficiência produtiva da cultura do pimentão em ambiente protegido. Neste contexto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficiência de manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e de potássio na cultura do pimentão em ambiente protegido. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, em esquema fatorial 3×6 , totalizando 18 tratamentos, com quatro repetições. Os tratamentos resultaram da combinação de três manejos de fertirrigação (M_1 - Fertirrigação a partir da marcha de absorção de nutrientes pela cultura; M_2 - Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M_3 - Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo), com seis níveis de nitrogênio e de potássio (0, 50, 100, 150, 200 e 300% da recomendação padrão para a cultura cultivada no sistema hidropônico). Para o manejo M_1 foi adotada como dose padrão de N e K a recomendação destes nutrientes para a cultura do pimentão em condições de campo (100% de NK, sendo $N = 16,1$ e $K = 23,5$ g planta⁻¹). Para os manejos M_2 e M_3 , utilizou-se como dosagem padrão a recomendação de N e K para o cultivo hidropônico no sistema NFT (100% NK, sendo $N = 152$ e $K = 245$ mg L⁻¹). Ao longo do ciclo da cultura foi realizado o monitoramento da concentração dos íons de N e K (M_2) e da condutividade elétrica (M_3) da solução coletada. Os resultados eram analisados e utilizados na tomada de decisão quanto ao momento de se fazer a fertirrigação e as quantidades de N e K a serem aplicadas. Os parâmetros avaliados foram produtividade e qualidade de frutos, além do consumo de nutrientes e de água. Avaliaram-se também, ao final do experimento, as características químicas do solo, bem como os principais índices de eficiência nutricional de N e K na cultura do pimentão. Os resultados demonstraram que a resposta das plantas à adubação mineral depende do manejo de fertirrigação. Os tratamentos afetaram a absorção de nutrientes no tecido vegetal, mas, na maioria dos casos, as concentrações de nutrientes estavam dentro da faixa considerada adequada para a cultura. Observou-se também que o manejo da fertirrigação a partir do monitoramento da concentração dos íons de N e K, ou da condutividade elétrica da solução do solo foi mais eficiente que a fertirrigação realizada com base na marcha de absorção de nutrientes da cultura do pimentão, proporcionando em plantas mais desenvolvidas, mais produtivas e com maior eficiência no uso de fertilizantes.

Palavras-chave: Ambiente protegido (plantas); Concentração iônica; Condutividade elétrica; Fertirrigação – manejo; *Capsicum annuum*

ABSTRACT

Greenhouse Sweet Pepper production using different fertirrigation management

Looking for maximum crop yield in greenhouse, several growers apply excessive nutrient doses. This behavior frequently brings increase in production costs, lower crop yields, environmental contamination and salt buildup in the soil, which can become inappropriate for cropping. With this concern, studies are made for developing fertirrigation management that improves Sweet Pepper crop efficiency in greenhouse. For these reasons, this work was carried out with the objective of evaluating fertirrigation management efficiency as well as levels of nitrogen and potassium for Sweet Pepper grown in greenhouse. Experimental design was a randomized blocks in a 3x6 factorial scheme, totaling 18 treatments, with four replications. Treatments resulted from the combination of three fertirrigation managements (M_1 – Fertirrigation based on the curve of nutrient absorption of the crop; M_2 - Fertirrigation based on monitoring of ions N and K in soil solution; M_3 – Fertirrigation based on monitoring of electrical conductivity of soil solution) with six levels of nitrogen and potassium (0; 50; 100; 150; 200 and 300% of standard recommendation for Sweet Pepper grown in hydroponics). Standard dose of N and K adopted for M_1 management was the recommendation of these nutrients for Sweet Pepper in field conditions (100% NK was: N = 16.1 and K = 23.5 g plant⁻¹). For M_2 and M_3 , the standard dose was the N and K recommendation for hydroponics in the NFT system (100% NK was: N = 152 e K = 245 mg L⁻¹). During crop cycle were monitored the concentrations of N and K ion (M_2) and the electric conductivity of sampled solution (M_3). After analyzed, results were used for decision making on the moment of application and amounts of N and K to be applied. Parameters evaluated were those related to fruit yield and quality, as well as nutrient and water consumption. At the end of the trial were also analyzed soil chemical characteristics and the main indexes of nutritional efficiency for N and K in Sweet Pepper crop. Results showed that plant response to mineral fertilization depended on fertirrigation management. Treatments influenced absorption of nutrients by plant tissue, but, in most cases, nutrient concentrations were in the range considered adequate for the crop. It was also observed that fertirrigation managements based on monitoring of concentration of ions N and K, or of electrical conductivity of soil solution were more efficient than the management based on nutrient absorption curve of Sweet Pepper, because they provided plants more developed and productive, with higher fertilizer use efficiency.

Keywords: Greenhouse (plants); Ionic concentration; Electrical conductivity; management – fertirrigation; *Capsicum annuum*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de retenção da água no material de solo utilizado no experimento.....	47
Figura 2 - Disposição dos extratores nos vasos (A), coleta de solução (B e C), fotômetro de chama para determinação do potássio (D), medidor de íon específico, Horiba®, (E) para determinação de nitrato e condutivímetro utilizado para determinação da condutividade elétrica da solução (F).....	51
Figura 3 - Relação entre condutividade elétrica (A), concentração de nitrogênio (B) e de potássio (C) na solução aplicada e na solução coletada utilizando extratores de cápsulas porosas.....	53
Figura 4 - Casa de vegetação utilizada no experimento.....	54
Figura 5 - Croqui do arranjo experimental e esquema dos vasos utilizados.....	56
Figura 6 - Distribuição dos vasos no interior da casa de vegetação (A), arranjo do tensiômetro, extrator e microtubo no vaso (B), desenvolvimento das plantas na primeira colheita (C, D e E).....	62
Figura 7 - Temperaturas máximas (Tmax), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) ocorridas no período experimental.....	71
Figura 8 - Condutividade elétrica na solução do solo durante o ciclo do pimentão submetido manejos de fertirrigação (M ₁ -A, M ₂ -B e M ₃ -C) e níveis de N e K (50, 100, 150, 200, 300% de NK).....	73
Figura 9 - Concentração de nitrogênio na solução do solo durante o ciclo do pimentão submetido manejos de fertirrigação (M ₁ -A, M ₂ -B e M ₃ -C) e níveis de N e K (50, 100, 150, 200, 300% de NK).....	75
Figura 10 - Concentração de potássio na solução do solo durante o ciclo do pimentão submetido manejos de fertirrigação (M ₁ -A, M ₂ -B e M ₃ -C) e níveis de N e K (50, 100, 150, 200, 300% de NK).....	76
Figura 11 - Aplicação acumulada de N e K durante o ciclo da cultura do pimentão para os três manejos de fertirrigação. M ₁ (A e B), M ₂ (C e D) e M ₃ (E e F).....	79
Figura 12 - Potencial matricial do solo durante o ciclo do pimentão submetido manejos de fertirrigação (M ₁ -A, M ₂ -B e M ₃ -C) e níveis de N e K (50, 100, 150, 200, 300% de NK).....	80
Figura 13 - Consumo hídrico acumulado da cultura do pimentão sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (M ₁ -A, M ₂ -B e M ₃ -C).....	82
Figura 14 - Eficiência do uso de água pela cultura do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e de potássio.....	84
Figura 15 - Diâmetro do caule (A), altura de plantas (B), número de folhas (C) e área foliar (D) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e em função dos manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (M ₁ -marcha de absorção, M ₂ -monitoramento da concentração de N e K, M ₃ -monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo).....	89
Figura 16 - Massa seca de caule (A), folhas (B), frutos (C) e total (D) de plantas de pimentão cultivadas em ambiente protegido, e em função dos manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (M ₁ -marcha de absorção, M ₂ -monitoramento da concentração de N e K, M ₃ -monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo).....	95

Figura 17 - Número de número de frutos (NFR), massa média de frutos (MMFR) e produção (PROD) do pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	105
Figura 18 - Produção de frutos seguindo as colheitas de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A-M ₁ , B-M ₂ e C-M ₃).....	107
Figura 19 - Relação entre número de frutos e rendimento (A) e massa média de frutos e rendimento (B) de pimentão para diferentes manejos de fertirrigação.....	110
Figura 20 - Classificação de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido para cada manejo de fertirrigação (M ₁ -A e D, M ₂ -B e E e M ₃ -C e F) e em função de níveis de nitrogênio e potássio.....	111
Figura 21 - Sólidos solúveis (A) e Vitamina C (B) na polpa de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	116
Figura 22 - Potencial hidrogeniônico (A), acidez titulável (B) e relação SS/AT (C) na polpa de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	119
Figura 23 - Teores de cálcio solo cultivado com pimentão, submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B).....	125
Figura 24 - Teores de magnésio do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B).....	127
Figura 25 - Teores de sódio do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B).....	129
Figura 26 - Teores de potássio no solo cultivado com pimentão submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B).....	131
Figura 27 - Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B).....	138
Figura 28 - Potencial hidrogeniônico no solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)	140
Figura 29 - Porcentagem de sódio trocável (PST) do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B).....	141
Figura 30 - Razão de adsorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B).....	144
Figura 31 - Teor de nitrogênio nas folhas (A), caule (B) e frutos (C) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	148
Figura 32 - Acúmulo de nitrogênio nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão, cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	152

Figura 33 - Teores de fósforo nas folhas (A) e no caule (B) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	159
Figura 34 - Acúmulo de fósforo nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	161
Figura 35 - Teores de potássio nas folhas (A), caule (B) e frutos (C) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio... ..	167
Figura 36 - Acúmulo de potássio nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	171
Figura 37 - Teores de cálcio nas folhas (A) e no caule (B) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	176
Figura 38 - Acúmulo de cálcio nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	180
Figura 39 - Teores de magnésio nas folhas (A), caule (B) e frutos (C) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	186
Figura 40 - Acúmulo de magnésio nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	189
Figura 41 - Eficiência Agronômica do nitrogênio (A) e do potássio (B) na cultura do pimentão em função de diferentes manejos de fertirrigação.....	193
Figura 42 - Eficiência Fisiológica do nitrogênio (A) e do potássio (B) na cultura do pimentão em função de diferentes manejos de fertirrigação.....	194
Figura 43 - Eficiência de Recuperação do nitrogênio (A) e do potássio (B) na cultura do pimentão em função de diferentes manejos de fertirrigação.....	195
Figura 44 - Eficiência de Absorção do nitrogênio (A) e do potássio (B) na cultura do pimentão em função de diferentes manejos de fertirrigação.....	197

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas e químicas do material de solo utilizado.....	46
Tabela 2 - Concentrações de nitrogênio e de potássio, e condutividade elétrica nas soluções nutritivas utilizadas na segunda etapa da pesquisa para os manejos M ₂ e M ₃	49
Tabela 3 - Teores de nutrientes e condutividade elétrica nas soluções nutritivas utilizadas no processo de calibração dos extratores.....	50
Tabela 4 - Produtos fitossanitários aplicados na cultura durante o período experimental.....	58
Tabela 5 - Parâmetros para classificação dos frutos de pimentão.....	65
Tabela 6 - Esquema da análise de variância e do desdobramento dos efeitos da regressão para os parâmetros avaliados.....	70
Tabela 7 - Quantidade de N e K aplicados durante o experimento para os diferentes manejos de fertirrigação.....	77
Tabela 8 - Resumo da análise da variância (teste F) e análise de regressão para diâmetro do caule (DC), altura (ALT), número de folhas (NF) e área foliar (AF) no pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	86
Tabela 9 - Valores médios para diâmetro do caule (DC), altura de plantas (ALT), número de folhas (NF) e área foliar (AF) no pimentão cultivado em ambiente protegido e sob diferentes manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	87
Tabela 10 - Resumo da análise de variância e da análise de regressão para massa seca de caule (MSC), de folhas (MSF), de frutos (MSFR) e total (MST), em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido, e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	92
Tabela 11 - Valores médios para massa seca de caule (MSC), folhas (MSF), frutos (MSFR) e total (MST) no pimentão cultivado em ambiente protegido, e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	94
Tabela 12 - Partição de massa seca nas diferentes partes em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido, e em função dos manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e de potássio.....	99
Tabela 13 - Resumo da análise da variância (teste F) e análise de regressão para número de frutos (NFR), massa média de frutos (MMFR) e produção (PROD) do pimentão cultivado em ambiente protegido, e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	100
Tabela 14 - Valores médios para número de frutos (NFR), massa média de frutos (MMFR) e produção (PROD) do pimentão cultivado em ambiente protegido, e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	101
Tabela 15 - Resumo da análise da variância e da análise de regressão para potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), teor de vitamina C (Vit C) e relação sólidos/acidez titulável (SS/AT) em frutos de pimentão, cultivados em ambiente protegido, e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	114
Tabela 16 - Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), teor de vitamina C (Vit C) e relação sólidos/acidez titulável (SS/AT) em frutos de pimentão cultivados em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	115

Tabela 17 - Resumo da análise de variância para teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) no solo cultivado com pimentão, sob manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio.....	122
Tabela 18 - Valores médios do desdobramento entre os fatores manejo de fertirrigação e níveis de N e K para os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) no solo, cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	124
Tabela 19 - Valores médios obtidos após o desdobramento entre os fatores manejos de fertirrigação e profundidade de coleta do solo, do pimentão cultivado em ambiente protegido.....	126
Tabela 20 - Resumo da análise de variância para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão sob diferentes manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio.....	133
Tabela 21 - Valores médios do desdobramento entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de absorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão sob manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio.....	134
Tabela 22 - Valores médios do desdobramento entre os fatores níveis de NK e profundidades de coleta de solo para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão sob manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio.....	135
Tabela 23 - Valores médios do desdobramento entre os fatores manejos de fertirrigação e profundidades de coleta de solo para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de absorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão sob manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio.....	137
Tabela 24 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de nitrogênio nas folhas (TNF), no caule (TNC) e nos frutos (TNFR), e acúmulo de nitrogênio nas folhas (ACNF), no caule (ACNC), nos frutos (ACNFR) e total (ACNT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	145
Tabela 25 - Valores médios dos teores de nitrogênio nas folhas (TNF), no caule (TNC) e nos frutos (TNFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	146
Tabela 26 - Valores médios para acúmulo de nitrogênio nas folhas (ACNF), caule (ACNC), frutos (ACNFR) e total (ACNT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	150
Tabela 27 - Distribuição de nitrogênio no tecido vegetal do pimentão, cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	154
Tabela 28 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de fósforo nas folhas (TPF), no caule (TPC) e nos frutos (TPFR), e acúmulo de fósforo nas folhas (ACPF), no caule (ACPC), nos frutos (ACPFR) e total (ACPT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	155

Tabela 29 - Valores médios para teores de fósforo nas folhas (TPF), no caule (TPC) e nos frutos (TPFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido com manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	156
Tabela 30 - Valores médios para acúmulo de fósforo nas folhas (CPF), caule (CPC), frutos (CPFR) e total (CPT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	159
Tabela 31 - Distribuição de fósforo no tecido vegetal do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	163
Tabela 32 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de potássio nas folhas (TKF), no caule (TKC) e nos frutos (TKFR), e acúmulo de potássio nas folhas (ACKF), no caule (ACKC), nos frutos (ACKFR) e total (ACKT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	164
Tabela 33 - Valores médios para teores de potássio nas folhas (TKF), caule (TKC) e frutos (TKFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	165
Tabela 34 - Valores médios para acúmulo de potássio nas folhas (ACKF), caule (ACKC), frutos (ACKFR) e total (ACKT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	169
Tabela 35 - Distribuição de potássio no tecido vegetal do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	172
Tabela 36 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de cálcio nas folhas (TCaF), no caule (TCaC) e nos frutos (TCaFR), e acúmulo de cálcio nas folhas (ACCaF), no caule (ACCaC), nos frutos (ACCaFR) e total (ACCaT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	173
Tabela 37 - Valores médios para teores de cálcio nas folhas (TCaF), no caule (TCaC) e nos frutos (TCaFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	174
Tabela 38 - Valores médios para acúmulo de cálcio nas folhas (ACCaF), caule (ACCaC), frutos (ACCaFR) e total (ACaPT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	178
Tabela 39 - Distribuição de cálcio no tecido vegetal do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	182
Tabela 40 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de magnésio nas folhas (TMgF), no caule (TMgC) e nos frutos (TMgFR), e acúmulo de magnésio nas folhas (ACMgF), no caule (ACMgC), nos frutos (ACMgFR) e total (ACMgT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	184
Tabela 41 - Valores médios para teores de magnésio nas folhas (TMgF), no caule (TMgC) e nos frutos (TMgFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	185

Tabela 42 - Valores médios para acúmulo de magnésio nas folhas (ACMgF), caule (CAMgC), frutos (ACMgFR) e total (ACMgT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	188
Tabela 43 - Distribuição de magnésio no tecido vegetal do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio.....	192

1 INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) destaca-se como uma das principais oleráceas produzidas no Brasil, sendo cultivado praticamente em todos os estados, tanto em condições de campo como em ambiente protegido.

É uma hortaliça que apresenta diversas formas de consumo, podendo ser consumido na forma verde ou maduro. Seus frutos possuem alto teor de vitamina C e são utilizados na fabricação de condimentos, conservas e molhos, utilizados na indústria alimentícia e/ou na produção de pigmentos; seu cultivo está amplamente distribuído pelo Brasil, independentemente do nível tecnológico utilizado pelo produtor.

O uso de estufas agrícolas no cultivo de hortaliças tem aumentado consideravelmente nas diversas regiões do Brasil; no entanto, ainda são poucas as informações sobre técnicas de manejo cultural que permitam às culturas expressarem o máximo potencial produtivo, principalmente quanto aos manejos hídrico e nutricional, de forma que, na ausência dessas informações, são adotadas técnicas utilizadas para essas culturas sob condição de campo.

A maioria dos produtores de hortaliças que utiliza ambiente protegido aplica fertilizantes via água de irrigação, técnica essa denominada de fertirrigação. O uso desta tecnologia possibilita o fracionamento das doses de fertilizantes ao longo do ciclo da cultura, de forma que permite aplicar os nutrientes conforme o momento de maior exigência pelas plantas, seguindo a marcha de absorção de nutrientes das culturas.

Apesar da técnica da fertirrigação apresentar elevada eficiência na distribuição de nutrientes e proporcionar considerável economia para os produtores, seu uso tem sido adotado, em muitos casos, de forma errônea: os produtores aplicam doses excessivas de fertilizantes, o que pode acarretar, ao longo do tempo, o acúmulo de sais no solo. O excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas, além de trazer problemas como o efeito de íons tóxicos específicos (Na^+ e Cl^-) sobre a fisiologia vegetal, o que pode prejudicar consideravelmente o desenvolvimento, a produtividade e a qualidade dos produtos, principalmente em culturas sensíveis à salinidade, como é o caso do pimentão.

Considerando inevitável a ocorrência de desequilíbrios nutricionais, em virtude da dificuldade de se quantificar com precisão os nutrientes absorvidos pela planta, e devido também a interferência inerente ao complexo de troca catiônica do sistema solo. Estudos realizados por vários autores propõem o monitoramento periódico da salinidade e de alguns nutrientes na solução do solo com auxílio dos extratores de solução e de medidores de íons específicos, especialmente NO_3^- e K^+ .

Estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de monitorar a concentração de íons na solução do solo, e tem demonstrado que com o uso de extratores providos de cápsulas porosas, esse monitoramento pode ser executado com elevada eficiência, seja pelo monitoramento da condutividade elétrica (ELOI; DUARTE; SOARES, 2007; MEDEIROS et al., 2009) ou da concentração de íons específicos, principalmente os íons NO_3^- e K^+ (BLANCO, 2004; TAVARES, 2005; SILVA JÚNIOR et al., 2011a; 2010b).

A extração da solução do solo com o uso de extratores providos de cápsulas porosas tem a grande vantagem de apresentar as condições hídricas e de concentração de íons na solução próxima àquela absorvida pela planta; no entanto, ainda não existem estudos sobre a utilização de extratores de cápsulas porosas para manejo da fertirrigação com base no monitoramento da condutividade elétrica em comparação com o manejo a partir da concentração de íons na solução do solo.

Diante do exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de avaliar diferentes manejos de fertirrigação na cultura do pimentão cultivado em ambiente protegido; a partir dos seguintes objetivos específicos: (i) determinar a metodologia que permita o melhor monitoramento da concentração de íons na solução do solo; (ii) determinar concentrações de nitrogênio e potássio na solução do solo que resultem em resposta para máxima produção e parâmetros fisiológicos de crescimento da cultura do pimentão; (iii) avaliar a resposta da cultura do pimentão às condições de condutividade elétrica da solução do solo, especialmente no que se refere aos parâmetros produtivos e qualitativos dos frutos; (iv) determinar a eficiência nutricional da fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura do pimentão em ambiente protegido nos diferentes sistemas de manejo; (v) avaliar o efeitos dos manejos de fertirrigação sobre a nutrição das plantas e os atributos químicos do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância socioeconômica do pimentão

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) pertence à família das Solanáceas, e é cultivado em todo território nacional (ECHER et al., 2002). É tipicamente de origem americana, ocorrendo formas silvestres desde o sul dos Estados Unidos até o norte do Chile (FILGUEIRA, 2008).

A produção brasileira de pimentão em 2010 foi de aproximadamente 249 mil toneladas, concentrando-se principalmente nas regiões Sudeste com 44%, Nordeste com 31%, Sul com 15% e Norte 1%, com produtividade média de até 200 ton/ha, sendo a região Sudeste a maior consumidora (IBGE, 2012). Na região Nordeste os principais estados produtores são Ceará, Bahia e Pernambuco. No estado do Rio Grande do Norte a produção ainda é pouca expressiva a nível nacional, com participação percentual de apenas 1,11%, ficando na sétima colocação na região Nordeste, acima apenas dos estados do Piauí e do Maranhão (IBGE, 2012).

O pimentão está entre as principais hortaliças cultivadas no Brasil (RUFINO; PENTEADO, 2006), principalmente na região Sudeste. Confirmando essas afirmações, observa-se que no Estado de São Paulo a produção de pimentão possui grande importância em relação à produção nacional, com área cultivada na safra 2008/2009 de aproximadamente 2.123 ha, alcançando produção em torno de 82.256,04 Mg, com produtividade média de 38,74 Mg ha⁻¹ (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2010).

No maior centro de distribuição e comercialização de pimentão do Brasil, a Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP – SP), em 2009, registrou que o pimentão amarelo obteve uma média mensal de preço de R\$ 3,11 por kg, e média de comercialização mensal de 449.991 kg, comprovando o seu grande volume e valor comercial.

Seus frutos são consumidos em estágios verdes ou maduros, ou, ainda, utilizados na indústria alimentícia ou na produção de pigmentos (NANNETTI; SOUZA, 1998); possuem elevados teores de vitaminas A, C e E, sais minerais, cálcio, sódio, fósforo e ferro. Possuem, ainda, cerca de 48 calorias por 100 g de

produto; são utilizados na fabricação de corantes naturais, condimentos, conservas e molhos (REIFSCHNEIDER, 2000; EL SAIED, 1995).

É uma excelente fonte de nutrientes bioativo (nutrientes que possuem ação metabólica ou fisiológica), como provitamina A (carotenóides), compostos fenólicos e potássio, que definem sua qualidade nutricional e capacidade antioxidante. Os frutos são ricos em licopeno, um antioxidante que apresenta características desejáveis na prevenção de cânceres e doenças cardiovasculares (BRAMLEY, 2000).

É uma cultura que propicia retorno rápido dos investimentos, visto o curto período para o início da produção; por isto é largamente explorada por pequenos e médios horticultores (MARCUSI; VILLAS BÔAS, 2003).

2.2 Cultivo em ambiente protegido

O cultivo em ambiente protegido desponta como alternativa para os horticultores, minimizando os efeitos da variabilidade ambiental, melhorando o desenvolvimento dos cultivos, permitindo a produção durante todo o ano com garantia de colheita e produtos de melhor qualidade; permite o uso racional de água e nutrientes, possibilitando assim maior retorno financeiro. Nas últimas décadas, o cultivo de oleráceas tem incorporado várias tecnologias, objetivando incrementar a produtividade e diminuir a sazonalidade da oferta (REZENDE et al., 2005). No cultivo em ambiente protegido, pode-se produzir pelo menos uma vez e meia ou o dobro da produção de áreas a céu aberto, possibilitando ainda a oferta constante de hortaliças (BECKMANN-CAVALCANTE et al., 2007).

Em 2003, aproximadamente 246,5 milhões de Mg de vegetais frescos, excluindo melões, foram produzidos em todo o mundo numa área de 16,7 milhões de hectares (FAO, 2005). No Brasil há escassez de informações sobre o comportamento e as exigências nutricionais das culturas nesses ambientes, sendo que, em geral, as recomendações de adubação se baseiam em trabalhos realizados em condições de campo, como ocorreu na cultura do pimentão cultivado em condições de campo (SILVA; DUARTE; COELHO, 1999; LORENTZ et al., 2005).

Das hortaliças cultivadas em ambiente protegido, o pimentão é a que mais se adaptou a esta condição de cultivo, situando-se entre as cinco que apresentam

maior área cultivada no Brasil e em diversos países do mundo, devido a grande produtividade e qualidade dos frutos que pode ser alcançada nessas condições (LORENTZ et al., 2005).

O cultivo protegido, quando bem planejado, é uma ferramenta efetiva para o aumento da produtividade das culturas. Além disso, esta forma de cultivo garante proteção contra intempéries, além de reduzir o ataque de pragas e o consumo de água de irrigação por unidade produzida. Comparada ao cultivo convencional, a fertirrigação pode favorecer uma economia de até 50% no consumo fertilizantes durante o ciclo das culturas (STANGHELLINI, 1993).

2.3 Resposta do pimentão a fertirrigação nitrogenada e potássica

Dentre os fatores de produção em hortaliças, a nutrição mineral é essencial para elevar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos colhidos, além de exercer importantes funções no metabolismo vegetal, influenciando o crescimento e a produção das plantas (MARCUSSE et al., 2004).

O potássio e o nitrogênio são os nutrientes mais extraídos pelas plantas de pimentão (MARCUSSE et al., 2004; FONTES et al., 2005; EPSTEIN; BLOOM, 2006), de modo que doses altas são aplicadas em cobertura, de forma parcelada, para melhorar a eficiência da adubação diminuindo perdas por percolação e volatilização.

O potássio melhora as características físicas e químicas dos frutos, em razão da otimização no processo de transpiração e formação de carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os sais de nitrogênio e o potássio são os elementos aplicados com maior frequência via água de irrigação; enquadram-se perfeitamente a essa técnica devido à alta mobilidade no solo e quase 100% de solubilidade em água. Com o uso da fertirrigação, pode-se parcelar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados e potássicos de acordo com a demanda das culturas. Com o parcelamento da adubação nitrogenada, pode-se aumentar a eficiência de uso do nitrogênio, reduzindo as perdas por lixiviação (COELHO, 1994).

Na literatura são encontrados resultados divergentes quanto à exigência de nitrogênio e de potássio pelas plantas de pimentão, podendo essa divergência ser

atribuída, principalmente, às diferenças edafoclimáticas nas quais foram desenvolvidos os estudos, e à variabilidade entre os genótipos utilizados. Campos et al. (2008) demonstraram que a produção máxima de frutos por planta de pimentão foi obtida com uma dose estimada em 221 kg ha^{-1} de N; no entanto, esses autores reforçam que há necessidade de mais estudos para estabelecimento da dose de nitrogênio que possibilite a máxima eficiência econômica.

Araújo et al. (2009) avaliaram o rendimento do pimentão cultivado em ambiente protegido sob doses crescentes de nitrogênio (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha^{-1}) e obtiveram resposta linear e positiva para produção total e comercial, sendo constatado aumento de 200% na dose de 400 kg ha^{-1} em comparação ao tratamento testemunha.

Avaliando o efeito de doses de potássio no pimentão amarelo (híbrido Zarco) em casa de vegetação, Melo et al. (2009) recomendam a dose de 10 g planta^{-1} para se obter maior produtividade em casa de vegetação, quando o solo apresentar baixa concentração de potássio

Albuquerque et al. (2011) avaliaram a resposta do pimentão à fertirrigação com duas doses de potássio (80 e 120 kg ha^{-1}), com cinco níveis de irrigação, e a partir dos resultados obtidos, esses autores recomendam aplicar uma lâmina de irrigação próxima dos 100% da ET_c e dose de 80 kg ha^{-1} de potássio.

2.4 Manejo da fertirrigação

A irrigação e a adubação são consideradas os mais importantes fatores que influenciam a produtividade e, quando aplicados juntos, permitem controlar o desenvolvimento das plantas, a produção e a qualidade dos frutos, além de exercer importantes funções no metabolismo vegetal (BAR-YOSEF, 1999; MARCUSSI et al., 2004).

O potássio, junto com o nitrogênio, são os nutrientes aplicados com maior frequência via água de irrigação; enquadram-se a esta técnica devido à elevada mobilidade no solo, principalmente no caso do N, e à alta solubilidade em água (GUERRA et al., 2004). Com o uso da fertirrigação, pode-se parcelar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados e potássicos de acordo com a demanda das culturas. Com

o parcelamento da adubação potássica, pode-se aumentar a eficiência de uso do potássio, reduzindo as perdas por lixiviação (COELHO, 1994).

Dentre as tecnologias empregadas no cultivo protegido está a fertirrigação, sendo ela via gotejamento ou microaspersão, é a forma que mais se aproxima do ritmo de absorção de água e de nutrientes pela planta (VILLAS BOAS et al., 2000).

O conhecimento da quantidade de nutrientes acumulada na planta em cada estágio de crescimento fornece informações importantes que podem auxiliar no programa de adubação das culturas quando a fertirrigação é empregada (BURT; CONNOR; RUEHR, 1995), pois o uso eficiente de fertilizantes é um fator extremamente crítico para a produção sustentável das culturas (HEBBAR et al., 2004).

Segundo Fontes et al. (2005), é necessário definir quanto aplicar em cada fertirrigação para atender à demanda da planta, uma vez que a redução na produção de pimentão em resposta ao aumento da dose de sais nitrogenados tem sido associada aos efeitos na redução do potencial osmótico da solução do solo sob a redução do consumo de água pelas plantas.

De acordo com Melo et al. (2009), para o alcance do máximo de produção, é necessária a aplicação de dosagens corretas, respeitando a marcha de absorção da cultura, ou seja, o atendimento da exigência nutricional da cultura considerando o ciclo fenológico da planta.

O uso de sistemas de aplicação de fertilizantes solúveis aumenta a eficiência de absorção dos nutrientes pelas plantas, a partir de uma maior homogeneidade na distribuição dos mesmos na radicular da planta (CASTILLA, 2005; ANDRIOLO, 2002).

Por meio das curvas de acúmulo de nutrientes, é possível conhecer a demanda nutricional em cada estágio de crescimento, sendo possível, portanto, monitorar a necessidade por determinado nutriente ao longo do ciclo de uma cultura. Pode-se, assim, reduzir o risco de contaminação do solo por lixiviação devido a aplicação de elevadas doses de fertilizantes, bem como fornecer doses abaixo do mínimo exigido pela planta para atingir metas de produtividade (BECKMANN-CAVALCANTE et al., 2007).

Segundo Ortega-Blu et al. (2006), um programa adequado de nutrição e fertilização baseia-se na curvas de crescimento e absorção de nutrientes para cada cultivar, em função do estágio de desenvolvimento. Estas permitem, com precisão, saber o momento necessário de aplicar o nutriente, indicando a época adequada para ministrá-lo em função de suas demandas diárias.

A quantidade e a proporcionalidade dos nutrientes absorvidos pelas plantas são funções de características intrínsecas dos vegetais, como também dos fatores externos que condicionam o processo. Numa espécie, a capacidade em retirar os nutrientes do solo e as quantidades requeridas varia, não só entre espécie e com a cultivar, mas também com o grau de competição existente. Variações nos fatores ambientais, como temperatura e umidade do solo, podem afetar o conteúdo de nutrientes minerais nas folhas, consideravelmente. Esses fatores influenciam tanto a disponibilidade dos nutrientes como a absorção destes pelas raízes e, conseqüentemente, o crescimento da parte aérea. Por outro lado, o acúmulo e a distribuição dos nutrientes minerais na planta dependem de seu estágio de desenvolvimento (MARSCHNER, 1995; GOTO et al., 2001).

Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o interesse de se conhecer a marcha de acúmulo de nutrientes se prende aos seguintes objetivos: determinar as épocas em que os nutrientes são mais exigidos e em que, portanto, a adubação deve fornecê-los; possibilitar a correção de eventuais deficiências e avaliar os estado nutricional, por meio da variação na composição de órgãos representativos.

A proporção dos elementos minerais requerida pelas plantas pode ser fortemente determinada pela espécie, pelo estágio de desenvolvimento ou pelo órgão da planta. Entretanto, para a planta atingir um metabolismo balanceado, uma alta produção de matéria seca e um desenvolvimento adequado, existem dois fatores primordiais: quantidades suficientes e proporções balanceadas de nutrientes (LARCHER, 2000).

Blanco e Folegatti (2002) enfatizam que para se realizar uma fertirrigação eficiente, é necessário um equilíbrio entre a quantidade de nutrientes e a quantidade de água a ser aplicada durante cada fase do ciclo da cultura, o que determina a concentração de fertilizantes na água de irrigação; por sua vez, esta concentração deve ser suficiente para proporcionar a absorção dos nutrientes nas quantidades

requeridas pelas plantas, sem causar o acúmulo de fertilizantes no solo, o que poderia resultar em salinização e, conseqüentemente, na redução da produtividade.

O emprego da fertirrigação tem possibilitado a otimização do uso de insumos em diferentes culturas irrigadas, tanto em aspectos relacionados à produtividade quanto à qualidade dos produtos obtidos, sendo mais notável sua adoção em culturas irrigadas por sistemas de irrigação localizada (OLIVEIRA; VILLAS BOAS, 2008).

A fertirrigação, além de ser de grande utilidade para a produção vegetal, apresenta ainda muitas outras vantagens, entre as quais a de melhor distribuição do fertilizante no campo e a possibilidade de maior parcelamento das adubações, aumentando a eficiência na utilização dos adubos pelas plantas (DUENHAS et al., 2002).

Aliada a esses fatores, a aplicação do nitrogênio via fertirrigação deve ter proporcionado maior aproveitamento do nitrogênio aplicado em relação às perdas, já que este sistema de aplicação tem como vantagem o aumento da eficiência dos fertilizantes, pois se tem a possibilidade de repor os nutrientes na quantidade ideal e no momento oportuno (NANETTI; SOUZA; FAQUIN, 2000)

A fertirrigação é o mais econômico e eficiente método de aplicação de fertilizantes, especialmente quando aplicado através de sistema de irrigação localizada, desde que esta aplicação assegure os fertilizantes diretamente na região das raízes das plantas e, com o fracionamento das doses, possibilite aumentar a eficiência da adubação. Esses mesmos autores afirmam que, comparando a fertirrigação por gotejamento e a aplicação de fertilizantes com o método convencional, há um aumento na eficiência de aplicação de fertilizantes no primeiro método e um gasto de 20 a 50% a menos de fertilizantes do que no método convencional (BURT; CONNOR; RUEHR, 1995).

Para se obter sucesso com a prática da fertirrigação são imprescindíveis o conhecimento das propriedades do solo, principalmente no que diz respeito à textura, pH, teor de cátions trocáveis e em solução, densidade, permeabilidade, condutividade elétrica e a qualidade da água como a concentração de sais (SOUZA; SOUZA, 1993).

Para Marcussi, Godoy e Villas Bôas (2004), a curva de acúmulo de nutrientes serve como uma base para a fertirrigação nitrogenada e potássica; no entanto, os valores devem ser ajustados de acordo com as condições climáticas, principalmente a temperatura. Ainda segundo esses autores, a condutividade elétrica da solução do solo e o índice relativo de clorofila podem ser índices que auxiliem na calibração das doses de N e K, a serem aplicadas via fertirrigação, baseadas na quantidade de N e K acumulada pela planta.

Deve-se ter consciência, no entanto, que as curvas de absorção refletem o que a planta necessita e não o que deve ser aplicado, pois deve-se considerar a eficiência de absorção dos nutrientes, que é variável segundo as condições climáticas, o tipo de solo, o sistema de irrigação, o manejo cultural, entre outros fatores. De modo mais efetivo, essas curvas auxiliam no programa de adubação, principalmente na quantidade dos diferentes nutrientes que devem ser aplicados, nos distintos estádios fisiológicos da cultura (VILLAS BÔAS, 2001).

2.5 Salinização do solo em ambiente protegido

A água utilizada para irrigação geralmente é de boa qualidade por apresentar reduzida concentração de sais, no entanto, mesmo nesta condição, não é raro ocorrer problema de salinização do solo, provocada, principalmente, pela aplicação de doses excessivas de fertilizantes, o que torna a água salina (BLANCO; FOLEGATTI, 2001). Desta forma, a salinização de solos sob ambiente protegido está relacionada diretamente com a quantidade de fertilizantes aplicada e com o acúmulo de sais ao longo do tempo (MEDEIROS, 1998).

O excesso de fertilizantes, o uso de água salina e a ausência de drenagem adequada, são fatores que resultam em situações desfavoráveis que podem favorecer a degradação de solos (SILVA et al., 2008).

Em ambiente protegido, os problemas de salinização podem ser ainda maiores em virtude de não haver lavagem dos sais pelas águas das chuvas, como ocorre naturalmente em áreas cultivadas a céu aberto (MEDEIROS 1998). Nessas condições, a recuperação desses solos é um processo demorado e bastante criterioso, sendo necessária a aplicação de grandes quantidades de água e manejo

adequado para cada tipo de solo (BLANCO; FOLEGATTI, 2001; DUARTE, DIAS; TELLES FILHO, 2007).

A aplicação excessiva de fertilizantes, e, conseqüentemente, salinização do solo pode ocasionar distúrbios fisiológicos nas plantas, acarretando em queda na produção e na qualidade dos frutos, desbalanço nutricional e aumento da pressão osmótica. O excesso de potássio na solução do solo pode afetar negativamente a absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} pelos vegetais, em virtude do efeito antagônico do íon K^+ (EPSTEIN; BLOOM, 2006)

Apesar de, teoricamente, se procurar aplicar via fertirrigação a quantidade de nutrientes requerida conforme a exigência das plantas, nem todo nutriente fornecido é absorvido por estas, sendo parte deste nutriente lixiviado para camada abaixo da zona do solo explorado pelo sistema radicular da cultura (OLIVEIRA et al., 2008).

Tradicionalmente, o manejo da fertirrigação é realizado por meio de quantidades preestabelecidas de fertilizantes, parceladas de acordo com a marcha de absorção da cultura e, normalmente, não existe monitoramento da concentração de íons na solução do solo nem do estado nutricional da planta (PAPADOPOULOS, 2001), resultando, em alguns casos, em gastos excessivos com fertilizantes e, em outros, na salinização dos solos.

Sousa (2006), trabalhando com dois sistemas de adubação (convencional e fertirrigação), verificou que os tratamentos fertirrigados apresentaram maiores concentrações de íons na solução do solo e, conseqüentemente, maiores valores de condutividade elétrica.

Conforme Andriolo (1999), os nutrientes fornecidos e não absorvidos pelas plantas tendem a se acumular nas camadas mais superficiais do perfil do solo, o que se agrava com as elevadas doses aplicadas, resultando em problemas de salinização.

Uma combinação adequada de irrigação e manejo do K é considerada essencial para melhorar a eficiência de absorção do K pela cultura, manter alto rendimento e minimizar a lixiviação. O maior risco do uso incorreto desta tecnologia é gerar uma salinização acentuada das áreas de plantio em um espaço de tempo muito curto (LOPES et al., 2009).

De acordo com Borges et al. (2006), deve-se considerar que intervalos maiores implicam em maiores quantidades de fertilizantes sendo aplicados por vez, principalmente para culturas de elevada demanda nutricional, podendo acarretar elevação do potencial osmótico do solo ou da salinidade do solo. De modo contrário, ou seja, menores frequências de fertirrigação podem levar a rendimentos inferiores das culturas devido à incapacidade da planta em absorver todo o nutriente aplicado no solo (COELHO et al., 2004).

No entanto, a fertirrigação praticada de forma inadequada, por mau dimensionamento do sistema de irrigação ou erro na recomendação de nutrientes, poderá trazer consequências ao ambiente, entre elas, a salinização das áreas irrigadas (SOUZA; SOUZA, 1993). O processo de salinização do solo também pode ser acelerado pelo uso de fertilizantes mais salinos, utilizados com frequência por produtores, em função de preços mais atrativos.

A redução no potencial osmótico da solução do solo implica, principalmente, na redução da absorção de água pela planta, toxicidade e no decréscimo do potencial de água da folha, reduzindo a condutância estomática, a assimilação de carbono, o tamanho do fruto, a produtividade e qualidade dos frutos. Além disto, o desequilíbrio nutricional no meio aumenta a incidência de podridão apical e reduz a conservação pós-colheita do fruto de pimentão (NAVARRO et al., 2002).

A adição de fertilizantes via irrigação, sobretudo em ambiente protegido, tem elevado os níveis de salinidade do solo, chegando a ultrapassar os limites de tolerância das culturas, causando diminuição do rendimento ao longo de ciclos sucessivos (DIAS et al., 2005; 2007).

De acordo com Marschner (1997), a alta salinidade de alguns fertilizantes, principalmente o KCl, compromete o crescimento e a distribuição das raízes, assim como a absorção de água e nutrientes, porque diminui o potencial osmótico próximo à rizosfera, dificultando o caminhamento dos íons até as raízes.

O alto valor da condutividade elétrica da solução do solo pode interferir na capacidade da planta em relação aos índices de pegamento de frutos (VILLAS-BÔAS, 2001; LEONARDO et al., 2008).

De acordo com a literatura, a cultura do pimentão é considerada como sendo moderadamente sensível a salinidade, apresentando salinidade limiar de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$

no extrato de saturação do solo, e perda de rendimento relativo da ordem de 14% para cada aumento unitário da condutividade acima da salinidade limiar (MASS; HOFFMAN, 1990).

Medeiros et al. (2002) avaliaram a tolerância do pimentão à salinidade em ambiente protegido, tendo estimado a tolerância limiar no extrato de saturação em $1,81 \text{ dS m}^{-1}$.

Leonardo et al. (2007) estudaram o efeito de níveis de salinidade provenientes de fertilizantes sobre a cultura do pimentão e verificaram que níveis elevados da condutividade elétrica da solução do solo ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) correlacionaram-se negativamente com o índice de pegamento e peso médio de frutos, com reduções médias de 58 e 55%, respectivamente, em comparação com a salinidade considerada referência pelos autores ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$)

No entanto, a tolerância das plantas à salinidade é variável em função de vários fatores, como o genótipo, as condições edafoclimáticas e as fontes de salinização da água ou do solo. Silva (2002), trabalhando com diferentes níveis de salinidade inicial do solo devido ao excesso de adubos fertilizantes no cultivo de pimentão em vasos, obtiveram salinidade limiar de $3,58 \text{ dS m}^{-1}$, com queda de rendimento de 8,56% por aumento unitário da salinidade do solo, tolerância bem acima da citada na literatura (MASS; HOFFMAN, 1990).

Resultados semelhantes têm sido encontrados para outras culturas utilizando a mesma fonte de salinização do solo utilizada por Silva (2002). Para a cultura do tomateiro, cultivar Débora Plus, Eloi et al. (2011) verificaram salinidade limiar de $3,17 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto que Medeiros, Duarte e Dias (2009) obtiveram salinidade limiar de $4,08 \text{ dS m}^{-1}$, valores esses acima dos encontrados na literatura (MASS; HOFFMAN, 1990).

Queiroz, Testezlaf e Matsura (2009) concluíram que a salinização em solos em ambiente protegido tende a agravar-se em função da elevada proporção de produtores que não realizam monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo e da água de irrigação.

2.6 Movimentação de nitrogênio e de potássio na solução do solo

O conhecimento sobre o movimento de nutrientes no solo é fundamental para se propor um manejo da fertirrigação que propicie a distribuição de íons na profundidade de máxima densidade de raízes, aumentando, desta forma, a eficiência da fertirrigação e evitando a contaminação do lençol freático via lixiviação (DONAGEMMA et al., 2010; ZONTA et al., 2006).

A movimentação dos nutrientes no solo depende de diversos fatores, fundamentalmente da concentração do nutriente em solução, o que depende da capacidade de adsorção do elemento pelo solo (QAFOKU et al., 2000), das cargas do complexo de troca iônica (QAFOKU; SUMNER, 2001), do pH (QAFOKU et al., 2000), da solubilidade do fertilizante (SCHUMMAN, 2001), das proporções dos nutrientes no fertilizante formulado (SILVA, 2004), da umidade do solo (PADILLA et al., 1999) e da macroporosidade do solo (SHIPTALO et al., 2000). A rigor, a movimentação de um nutriente no solo é resultado da ação simultânea dos fatores supracitados e não da ação isolada de um deles (DONAGEMMA et al., 2010).

No caso dos Latossolos, sobretudo os argilosos oxidícos, que apresentam predomínio de cargas positivas, de modo geral o N é bastante móvel (NO_3^- e NH_4^+), o K^+ é medianamente móvel e o H_2PO_4^- é pouco móvel. Assim, o risco de lixiviação e contaminação de águas subterrâneas nesses solos, em geral, apresenta a seguinte ordem: $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{H}_2\text{PO}_4^-$ (SILVA, 2004).

Trabalhos têm demonstrado que o íon K^+ apresenta menor mobilidade em relação ao NH_4^+ , ambos os cátions monovalentes (OLIVEIRA; ROSOLEM; TRIGUEIRO; 2004; DONAGEMMA et al.; 2010). Essa diferença pode ser atribuída ao menor raio iônico hidratado do primeiro. A lei de Coulomb mostra que a força de atração entre partículas de carga de sinal oposto, com os mesmos valores de carga, é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Assim, o menor raio iônico hidratado indica menor distância e maior atração do K^+ pelo complexo de troca catiônica do solo, quando comparado ao amônio (GRIFFIOEN, 2001).

Zanini (1991) verificou que, de maneira geral, os locais de maiores concentrações de K^+ coincidiram com os locais de maiores valores de umidade, evidenciando seu caminhamento por fluxo de massa, indicando que se pode ter

elevado controle da localização desse íon no solo em função da fertirrigação e da irrigação.

Miranda et al. (2005), avaliaram a distribuição de íons de potássio aplicados em solução e constataram que as maiores concentrações de potássio estavam nas camadas superiores, em torno de 0,14 m, enquanto o molhamento se deu até cerca de 0,30 m. Segundo esses autores, esse resultado, possivelmente, deve-se ao fato de o potássio em solução ter sido adsorvido, de forma que a frente de molhamento caminhou para profundidades maiores.

Ruiz, Miranda e Conceição (1999) verificaram que a difusão foi o principal mecanismo de transporte de potássio; no entanto, constataram também que o fluxo de massa pode satisfazer isoladamente a demanda nutricional da planta, quando a concentração de potássio na solução do solo for muito elevada.

Malavolta (2004) descreve que o potássio pode ser considerado o mais móvel dos nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e, particularmente, na planta. Araújo et al. (2003) usaram a técnica do deslocamento miscível com potássio em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro, observaram que embora tenha ocorrido interação do potássio com os colóides do solo, este apresentou mobilidade alta na coluna de agregados, sendo transportado, predominantemente, por fluxo convectivo ou por dispersão hidrodinâmica.

Em um dado solo, portanto, a concentração de K na solução e a capacidade de adsorção de K são os principais atributos químicos que influenciam a taxa de difusão de K (PHILLIPS; BURTON, 2005); assim, a disponibilidade de K às plantas depende muito de sua difusão no solo (ROSOLEM et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2004), uma vez que a quantidade que chega até às raízes por fluxo de massa é muito menor do que a taxa de absorção.

O gradiente de concentração de K também ocorre verticalmente no perfil quando o K é aplicado sobre a superfície do solo (ERNANI; DIAS; FLORE, 2002; ERNANI et al., 2007); porém, neste caso, a mobilidade vertical do nutriente é maior do que a mobilidade lateral, devido ao efeito adicional promovido pelo fluxo de massa decorrente da percolação de água em obediência à força gravitacional (ERNANI et al., 2007).

Conforme Cantarella e Duarte (2004) embora o nitrogênio seja o nutriente mais exigido em quantidade, tem o manejo e a recomendação complexos. O aumento do uso e do custo dos adubos nitrogenados é uma preocupação cada vez maior em diversos países, e atualmente também no Brasil.

O nitrato é considerado a principal forma de nitrogênio associada à contaminação do lençol freático pelas atividades agrícolas. De acordo com Resende (2002), isso ocorre pelo fato de este ser fracamente retido nas cargas positivas dos colóides, tendendo a permanecer mais em solução, principalmente nas camadas superficiais do solo, nas quais a matéria orgânica acentua o caráter eletronegativo da fase sólida (repelindo o nitrato). Na solução do solo, este elemento fica muito propenso ao processo de lixiviação e, ao longo do tempo, pode haver considerável incremento de seus teores em águas profundas.

Araújo et al. (2004) verificaram que mesmo com doses consideradas normais de adubos nitrogenados e em Latossolos muito argilosos, onde ocorrem altos teores de óxidos de Fe e gibbsita, a lixiviação de NH_4^+ e NO_3^- é uma realidade. Isso implica em maiores cuidados no manejo da adubação nitrogenada em razão das enormes implicações econômicas e ambientais envolvidas.

O nitrato livre na solução do solo ocorre com elevada frequência. Como esses íons não são adsorvidos pelos componentes das frações do solo, razão pela qual se deslocam facilmente, podem ser absorvidos pelas raízes e translocados às folhas, ou lixiviados aos mananciais subterrâneos (CORREA, WHITE, WEATHERLEY, 2006).

Franco (2009), desenvolveu projeto com aplicação de nitrato de potássio no solo e observou que as maiores médias concentraram-se nas camadas superiores, tanto para solos argilosos quanto para solos arenosos. Além disso, quando o mesmo autor aplicou o nitrato de potássio em diferentes taxas obteve o mesmo resultado que o do trabalho atual, em que as taxas de aplicação apresentaram maior poder de carregamento; no entanto, os maiores valores foram observados na camada superficial.

Barros et al. (2010) avaliaram a distribuição de íons de nitrato e de potássio aplicados via gotejamento e constataram que os maiores valores de condutividade elétrica foram obtidos próximos ao ponto de emissão.

2.7 Monitoramento da solução do solo

Tradicionalmente o manejo da fertirrigação é realizado por meio de quantidades preestabelecidas de fertilizantes, parceladas de acordo com a marcha de absorção da cultura e, normalmente, não existe monitoramento da concentração de íons na solução do solo nem do estado nutricional da planta, resultando, em alguns casos, em gastos excessivos com fertilizantes e, em outros, na salinização dos solos.

O solo é formado por três fases distintas, uma sólida, uma gasosa e uma líquida. A fase líquida constitui a solução do solo e é resultado das reações que ocorrem nas outras duas fases (SPOSITO, 1989). De modo geral, a fase sólida representa em torno de 45% do volume total, o espaço poroso (fase líquida e gasosa) 50% e a matéria orgânica 5% (incluindo os organismos vivos). A proporção entre as três fases, porém, varia em função do tipo de solo e das condições ambientais (MOREIRA; SILQUEIRA, 2002).

Sabe-se que a absorção de elementos químicos pelas raízes das plantas dá-se a partir da solução do solo (RAIJ, 1991); assim, o conhecimento da composição química da solução do solo fornece informações importantes para o entendimento das alterações físicas e químicas advindas do uso e manejo, e para o monitoramento das várias práticas de melhoramento do solo.

A concentração de íons na solução do solo é de fundamental importância para o suprimento nutricional das raízes. Esta varia amplamente, dependendo de fatores como umidade do solo, profundidade, pH, capacidade de troca catiônica, potencial redox, teor de matéria orgânica, atividade microbiana e aplicação de fertilizantes (GOTO; GUIMARÃES; ECHER, 2001).

O monitoramento dos íons a partir da análise do solo tem o inconveniente da necessidade da retirada de amostras deformadas e da demora dos resultados. Além disso, a metodologia de obtenção do extrato de saturação, a partir de amostras, não representa o estado iônico do solo em tempo real. Já o monitoramento de íons com

o extrator de solução permite a repetição de leituras no mesmo local de amostragem, mas contempla apenas as regiões com a água retida a potenciais mais altos (SILVA et al., 2005).

O monitoramento de nutrientes no solo e nos tecidos das plantas tem sido frequentemente estudado para definir as exigências de nutrientes. Porém, para ser efetivo, as análises devem ser realizadas num prazo médio de dois ou três dias após a amostragem das plantas, ou então uma divergência observada do ótimo pode afetar o crescimento adversamente e pode reduzir rendimentos (BAR-YOUSEF, 1991).

Lao et al. (2004) reforçam que os níveis dos nutrientes da solução do solo devem ser conhecidos para estabelecer a aproximação apropriada ao manejo dos nutrientes. O conhecimento da condutividade elétrica do solo e da composição química da solução no solo é importante para verificar a disponibilidade de nutrientes e a toxidez de íons específicos ao longo do ciclo da cultura. Entretanto, o monitoramento por análise periódica do solo, com a finalidade de acompanhar as concentrações dos íons na solução, durante as fases de crescimento e desenvolvimento da cultura, é inviável economicamente em uma atividade agrícola comercial, além de não ser uma metodologia instantânea que possibilita tomada de decisão imediata.

A amostragem de solo em nos cultivos em vasos, através da metodologia tradicional, tem o inconveniente de destruir a parcela experimental e é limitada no tempo e no espaço, uma vez que seus resultados representam uma condição iônica referente apenas ao momento e ao volume de solo em que foi realizada. Neste sentido, a condução de estudos em laboratório utilizando-se de colunas de solos tem sido uma prática bastante comum, permitindo conhecer a dinâmica da água e dos solutos em uma situação que, embora artificial, viabiliza um maior controle e entendimento destes processos (MIRANDA et al., 2005; RIVERA, 2005).

De acordo com Zambrosi (2004), o conhecimento da composição e a força iônica da solução do solo são importantes para a maioria dos aspectos da química do solo, sendo a composição indicadora da disponibilidade dos nutrientes. A extração da solução do solo por intermédio de cápsulas porosas surge como uma

alternativa a um custo relativamente reduzido, capaz de ser aplicada a situações de campo.

No monitoramento da fertirrigação deve-se avaliar o manejo em si, com base nos impactos causados no solo que possam influenciar o desenvolvimento das plantas, que deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes, observando a concentração da solução injetada, concentração da solução final na saída dos emissores, uniformidade de distribuição ao longo da área e distribuição dos nutrientes no perfil do solo (SOUZA; COELHO, 2001).

Sabe-se que a técnica da fertirrigação permite alterações rápidas e precisas das quantidades de nutrientes durante as aplicações; desta forma, é de suma importância fazer o monitoramento da concentração de nutrientes na solução do solo, de modo a promover os ajustes necessários ainda durante o ciclo da cultura (VILLAS BÔAS et al., 2005).

Arenas et al. (1996) constataram que o monitoramento da concentração dos íons nitrato, potássio, cálcio, magnésio, sódio e cloreto na solução do solo pode ser realizado a partir da extração dessa solução por intermédio de cápsulas cerâmicas e que a predição de fósforo por esta metodologia não é aceitável.

Uma provável causa da menor eficiência das cápsulas porosas para monitoramento do teor de fósforo no solo é a baixa mobilidade deste no solo, conforme observado por Salomão (2009).

Lima (2009) avaliou a extração de fósforo com cápsulas em dois tipos de solos com classes texturais diferentes não obteve resultados satisfatórios, e reforçou a necessidade de maiores investigações da dinâmica deste elemento na fertirrigação.

Cruz et al. (2003) consideram que a prática da irrigação, associada ao regime irregular das chuvas e às elevadas taxas de evaporação nas regiões secas ou em sistema de cultivo protegido, tendem a aumentar os teores de sais nos solos e nas águas.

O manejo da fertirrigação deve embasar-se no conhecimento da dinâmica de íons no solo, uma vez que eles influem nas condições do potencial osmótico do volume molhado (COELHO et al., 2005). O conhecimento da dinâmica de íons no solo pode ajudar na recomendação dos prováveis níveis de condutividade elétrica da

solução do solo ou do extrato de saturação adequados a uma determinada cultura, ao longo de seu ciclo. Dessa forma, o conhecimento da dinâmica de íons no solo é necessário na sustentabilidade dos recursos do solo e da água (COELHO et al., 2005).

A implementação de método capaz de monitorar de forma contínua a distribuição de água e íons em campos agrícolas faz-se necessária para facilitar o manejo da fertirrigação nos solos cultivados (SANTANA et al., 2006).

Alguns autores (HEIMOVAARA et al., 1995; MUNOZ-CARPENA et al., 2002) têm estabelecido relações entre a condutividade elétrica e a concentração de um dado nutriente na solução, o que tem sido feito também com o nitrato (MMOLAWA & OR, 2000; COELHO et al., 2005) e com o potássio (COELHO et al., 2004).

Dentre as diferentes tecnologias adotadas para avaliação da solução do solo, o uso de extratores providos de cápsulas porosas tem se difundido consideravelmente entre especialistas e pesquisadores. O monitoramento de íons com o extrator de solução permite a repetição de leituras no mesmo local de amostragem, mas contempla apenas as regiões com a água retida a potenciais mais altos (SILVA et al., 2005).

O mais sensato, portanto, seria racionalizar o manejo da fertirrigação, determinando a condutividade elétrica e/ou a concentração parcial de íons na solução do meio, e, neste contexto, a extração da solução do solo por intermédio de cápsulas porosas surge como uma alternativa, a um custo relativamente reduzido, capaz de ser aplicada a situações de cultivos comerciais (SILVA et al., 2000; DIAS et al., 2005).

A condutividade elétrica e a concentração de potássio na solução do solo podem ser monitoradas ao longo do ciclo da cultura, utilizando-se extratores de cápsula porosa, permitindo a análise da evolução do comportamento da solução. Entretanto, a determinação pontual da condutividade elétrica e da concentração de potássio na solução do solo, utilizando-se extratores de cápsulas porosas, requer o desenvolvimento de mais pesquisas, visto que as regressões obtidas apresentaram coeficientes de determinação considerados apenas razoáveis (SILVA et al., 2000).

Dias et al. (2005) avaliaram o uso de extratores de solução por cápsulas porosas para o monitoramento da concentração total de sais na solução do solo,

verificando que esta tecnologia pode ser utilizada com satisfatória precisão. Jiménez et al. (2006) verificaram que cápsulas de sucção podem ser usadas para extrair a solução do solo, porque obtém a amostra da solução do solo sem diluição para posterior análise.

Lima (2009) demonstrou haver relação direta entre a concentração de íons aplicado no solo e a concentração desses íons na solução do solo coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas.

Oliveira et al. (2011) utilizaram extratores providos de cápsulas porosas para determinação da condutividade elétrica da solução do solo e da concentração de nitrato e de potássio, em dois tipos de solo, e verificaram que pode-se estimar esses íons com precisão satisfatória a partir da solução coletada com extratores providos de cápsulas porosas; no entanto, segundo esses autores, é necessária uma calibração prévia para cada tipo de solo.

Estudos têm sido desenvolvidos para avaliar o manejo da fertirrigação a partir da condutividade elétrica da solução do solo, coletada com extratores de solução providos de cápsulas porosas (SILVA, 2002; DIAS et al., 2005; ELOI; DUARTE; SOARES, 2007), visto que a condutividade elétrica é diretamente proporcional à soma de cátions presentes na solução do solo (RHOADES et al., 1999). No entanto, sabe-se que a condutividade de uma solução, além da concentração de íons, também depende dos tipos de sais presentes nesta solução.

Utilizando extratores providos de cápsulas porosas no monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo (CEs), e utilizando a CEs como parâmetro para definição na reposição de nutrientes via fertirrigação, Eloi, Duarte e Soares (2007) verificaram que a manutenção de um nível ótimo de condutividade elétrica em cada estágio fenológico, proporcionada pelo uso dos extratores de cápsula porosa, reforça a possibilidade de se alcançar maiores produtividades para os cultivos.

Silva (2002) avaliou o uso de extratores no monitoramento e no auxílio do manejo da fertirrigação na cultura do pimentão em dois tipos de solos, e verificou que a adoção desta tecnologia permite evitar possíveis processos de salinização do solo e deficiências nutricionais nas plantas. No entanto, esses autores reforçam que a metodologia ainda necessita de calibrações para as diferentes culturas e condições de cultivos.

Seguindo essa mesma linha de pesquisa, Dias et al. (2006) trabalharam com monitoramento da salinidade do solo na cultura do meloeiro utilizando fertirrigação convencional e fertirrigação baseada na condutividade elétrica da solução do solo, e observaram que a salinidade prejudicou o rendimento e o peso médio dos frutos; no entanto, esses autores não verificaram diferença significativa quanto ao manejo adotado.

Eloi, Duarte e Soares. (2007) utilizaram essa metodologia e compararam os resultados com os obtidos por meio do manejo da fertirrigação de forma tradicional, a partir de informações da marcha de absorção, na cultura do tomateiro cultivado em ambiente protegido. Ao final do trabalho não foi observado resposta para os diferentes manejos sobre o rendimento das plantas; no entanto, foi constatado que o manejo a partir do monitoramento da solução do solo reduziu a quantidade de fertilizante sem interferir na produtividade da cultura.

Medeiros et al. (2009) e Medeiros et al. (2010) também utilizaram esta tecnologia para a cultura do pepino, obtendo resultados satisfatórios, quando observaram que nas plantas fertirrigadas sob manejo de monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo os níveis de salinidade foram mantidos ao longo do ciclo da cultura.

Apesar da concentração de íons da solução poder ser estimada a partir da condutividade elétrica da solução do solo, sabe-se que diversos fatores podem afetar o valor da condutividade elétrica. Dentre estes fatores podem se destacar os íons que apresentam diferentes graus de condução de eletricidade, a temperatura da solução e o momento da coleta (SANTOS, 2000).

Esse sistema de manejo da fertirrigação assemelha-se, em parte, ao utilizado no sistema hidropônico de cultivo, no qual a solução nutritiva é renovada quando a concentração de íons, determinada a partir da condutividade elétrica, for reduzida. No entanto, neste sistema considera-se que as plantas irão absorver os nutrientes na mesma proporção durante o ciclo, e não leva em consideração a interação entre os íons da solução e a matriz do solo. Além disso, sabe-se que a condutividade elétrica de um solução é variável em função dos sais presentes na mesma. Moura (1994), pesquisando a condutividade elétrica da água de irrigação sob diferentes doses de adubos utilizados na fertirrigação, conclui que para cada g L^{-1} dos adubos

nitrito de potássio, nitrato de amônio, cloreto de potássio, sulfato de potássio e nitrato de cálcio, a salinidade da água era acrescida em, 1,30, 1,48, 1,57, 1,27 e 0,99 dS m⁻¹, respectivamente. Um grama de sulfato de amônio em um litro de água, incrementava em 2,1 dS m⁻¹ a salinidade da solução.

Assim, existe a possibilidade da concentração de um determinado íon estar abaixo da concentração recomendada para uma determinada cultura, sem, no entanto, a condutividade elétrica ser reduzida. Alguns estudos foram desenvolvidos a fim de avaliar a possibilidade de monitorar e utilizar como referência para fertirrigação a concentração direta de íons de nitrato e de potássio.

Tavares (2005) trabalhou com a cultura do pimentão cultivada em fibra de coco e avaliou o uso de extratores de solução para o monitoramento da concentração de íons de nitrato e de potássio, utilizando os resultados de cada coleta para decidir o momento de se fazer a fertirrigação e obteve resultados satisfatórios. Segundo esse autor, por intermédio do uso de extratores de solução associados aos medidores desses íons foi possível, ao final do ciclo do pimentão, obter as maiores produtividades mesmo com as menores doses de nitrogênio e de potássio.

Silva Júnior et al. (2010a, 2010b) e Oliveira et al. (2011) também utilizaram essa tecnologia e concluíram que o uso de extratores de solução do solo apresenta-se como uma alternativa viável para monitoramento da concentração de íons e/ou da condutividade elétrica durante o ciclo da cultura; no entanto, ainda não existem estudos que possibilitem a adoção desta tecnologia para manejo da fertirrigação na produção comercial

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização geográfica da área experimental

A pesquisa foi desenvolvida no período de abril a outubro de 2010, na área experimental do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró, RN, localizado nas coordenadas geográficas de 5° 11' de latitude sul e 37° 20' de longitude oeste de Greenwich, com altitude média de 18 m. O clima local é do tipo BSwh' com base na classificação de Köppen e a média anual de precipitação pluvial de 678 mm, sendo bastante irregular e se concentrando nos primeiros meses do ano. As médias anuais de temperatura, insolação e umidade relativa são 27,4 °C; 2360 horas anuais e 68,9%, respectivamente (CARMO FILHO; OLIVEIRA, 1995).

3.2 Descrição experimental

A pesquisa foi desenvolvida durante os meses de abril a outubro de 2010, e foi realizada em duas etapas. A primeira etapa foi realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFERSA, com a finalidade de construir curvas de calibração para se obter a correlação entre a condutividade elétrica e as concentrações de íons de nitrogênio (NO_3^-) e de potássio (K^+) de soluções aplicadas em amostras de solo, e suas correlações com seus respectivos valores obtidos na solução coletada utilizando extratores. Esta etapa teve o objetivo de se obter parâmetros para serem utilizados no manejo da fertirrigação na cultura do pimentão da segunda etapa da pesquisa. Já a segunda etapa foi desenvolvida em casa de vegetação no Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da UFERSA, utilizando a cultura do pimentão.

Em ambas as etapas foi utilizado material de solo coletado na camada de 0,0 a 0,30 m, em local ainda não cultivado e localizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da UFERSA. Foi descartado o material da superfície do solo, tendo em vista que esse material apresentava grande quantidade de matéria orgânica ainda não decomposta. O solo da região é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico e apresenta textura arenosa na camada superficial (EMBRAPA, 2006).

Antes da instalação do experimento foram retiradas subamostras do solo para realização das análises físicas e químicas, utilizando metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997), (Tabela 1).

Tabela 1 - Características físicas e químicas do material de solo utilizado

pH	M.O. (%)	P (mg dm ⁻³)	K	Na	Ca	Mg	Al	H
5,3	1,05	2,20	0,14	0,13	0,40	0,60	0,25	3,05
Densidade (kg m ⁻³)			Areia		Silte		Argila	
1.500			820		40		140	

Para caracterização hídrica do solo, foi construída a curva de retenção de água do solo. O material de solo foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade para 25 L, utilizando volume de solo semelhante ao utilizado na segunda etapa da pesquisa. Os vasos foram perfurados em sua parte inferior para que ocorresse a drenagem do excesso de água. O sistema de drenagem foi composto por uma camada de brita nº1 no fundo do vaso, e coberta com uma tela de nylon. O preenchimento dos vasos foi feito de modo que o material de solo se acomodassem a ponto de apresentarem densidade global semelhante à densidade original do solo, num total de seis repetições.

Após preenchidos, foi instalado um tensiômetro de câmara de ar em cada vaso, na profundidade de 15 cm. Em seguida, os vasos foram irrigados utilizando sistema de irrigação por gotejamento, com emissores do tipo microtubos, apresentando vazão de 1,6 L h⁻¹. Foram utilizados dois emissores em cada vaso, sendo os mesmos arranjados de forma que cada emissor ficou posicionado entre o centro do vaso, onde foi instalado o tensiômetro, e a borda do vaso.

A irrigação foi mantida até início de drenagem do excesso de água, o que evidencia a saturação do solo. Logo após a saturação, os vasos foram cobertos com filme plástico, par evitar a evaporação, e colocados para drenar livremente, de forma que ocorresse a perda total de água do sistema solo/vaso ocorresse unicamente pela ação da gravidade. Para garantir a completa drenagem da água dos macroporos, os vasos permaneceram cobertos com o filme por um período de 24 horas.

A máxima capacidade de retenção de umidade de cada solo foi determinada quando se constatou o final da drenagem, sendo considerada assim a umidade referente à máxima capacidade de retenção de água no solo, capacidade do vaso (CASAROLI; JONG VAN LIER, 2008).

A umidade em cada vaso foi determinado pelo método gravimétrico e foi correlacionado com as tensões medidas com tensímetro e tensiômetro. A partir da primeira coleta, os vasos foram descobertos e diariamente retirou-se amostra de solo e realizaram-se medidas de tensão para ser construída a curva de retenção (Figura 1). Ao final da coleta de dados fez-se um agrupamento com a média de cada profundidade, sendo as curvas construídas por meio de uma planilha eletrônica Excel[®].

Figura 1 - Curva de retenção da água no material de solo utilizado no experimento

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial 3 x 6, com quatro repetições, sendo a unidade experimental representada por um vaso com capacidade para 25 L, contendo uma planta. Os tratamentos foram formados pela combinação de três manejos de fertirrigação (M₁-Fertirrigação manejada pela marcha de absorção do pimentão; M₂-Fertirrigação monitorada pela concentração de íons de NO₃⁻ e K⁺ na solução do solo; M₃-Fertirrigação monitorada pelo controle da condutividade elétrica da solução do solo), em combinação com seis doses de nitrogênio e potássio.

Para o manejo M_1 foram utilizadas seis doses de N e K, tendo como a referência as doses desses nutrientes utilizados pelos produtores de pimentão da região do Agropolo Assu-Mossoró, correspondente a 215 e 314 kg ha⁻¹, para N e K, respectivamente (FREITAS, 2009). Considerando que se utilizou o espaçamento de 1,5 x 0,5 m, resultante em numa população de 13.333 plantas por hectare, os seis níveis de N e K foram correspondentes a 0, 50, 100, 150, 200 e 300% dessa recomendação, para ambos os nutrientes, de forma que foram aplicadas as seguintes doses de N e K, respectivamente: $D_1=0$ e 0; $D_2=107,5$ e 157; $D_3=215$ e 314; $D_4=322,5$ e 471; $D_5=430$ e 628; $D_6=645$ e 942 kg ha⁻¹.

Para o espaçamento utilizado, essas doses corresponderam as doses teóricas de N e K: $D_1=0$; $D_2=8,1$ e 11,8; $D_3=16,1$ e 23,5; $D_4=24,2$ e 35,3; $D_5=32,3$ e 47,1; $D_6=48,4$ e 70,6 g planta⁻¹. Consideraram-se essas doses teóricas em virtude de se fazerem ajustes de acordo com o ciclo da cultura. Essas quantidades de nutrientes foram aplicadas em fertirrigações semanais, em quantidades preestabelecidas, parceladas de acordo com a marcha de absorção da cultura, segundo Fontes, Dias e Graça (2005).

Para os manejos M_2 e M_3 foram utilizadas seis dosagens de N e K, tendo-se como base a concentração desses nutrientes em solução nutritiva recomenda para a cultura do pimentão em sistema hidropônico NFT (CASTELLANE; ARAÚJO, 1994). Os níveis de N e K (M_2) e de condutividade elétrica (M_3), foram referentes às concentrações desses nutrientes na solução do solo coletada, utilizando-se as curvas de ajuste obtidas na primeira etapa para definição das doses de N e K a serem utilizadas nos manejos M_2 e M_3 , sendo definidos os níveis de N e K (M_2) e de condutividade elétrica (M_3), descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentrações de nitrogênio e de potássio, e condutividade elétrica nas soluções nutritivas utilizadas na segunda etapa da pesquisa para os manejos M₂ e M₃

M ₂							M ₃	
Níveis de nutrientes	Nitrogênio		Potássio		Condutividade elétrica			
	----- (mg L ⁻¹) -----		-----		----- (dS m ⁻¹) -----			
	Solução aplicada	Solução do solo	Solução aplicada	Solução do solo	Solução aplicada	Solução do solo		
Nível ₁ -0%	0	0	0	0	0	0,6		
Nível ₂ -50%	111	76	132	122,5	1,4	1,6		
Nível ₃ -100%	193	152	249	245,0	2,1	2,2		
Nível ₄ -150%	276	228	365	367,5	3,2	3,1		
Nível ₅ -200%	358	304	481	490,0	4,0	3,8		
Nível ₆ -300%	441	380	598	612,5	4,7	4,4		

3.4 Calibração dos extratores de solução do solo

Para o preparo das curvas de calibração entre a condutividade elétrica da solução do solo (M₃) e da concentração de íons (NO₃⁻ e K⁺) (M₂), a serem utilizadas na segunda etapa, foram preparadas soluções com diferentes concentrações de sais, e, conseqüentemente, diferentes condutividades elétricas. Foi preparada uma solução concentrada correspondente a 400% da solução nutritiva recomendada para a cultura do pimentão no sistema NFT, conforme recomendação de Castellane e Araújo (1994), com as seguintes concentrações de nutrientes, em mg L⁻¹: 152, 39, 245, 110, 29, 32, 3,7, 0,3, 0,4, 0,3, 0,05 e 0,05 para N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, B, Cu e Mo, respectivamente.

A partir desta recomendação foram preparadas diferentes soluções em água deionizada, variando de 0 a 400%, em intervalos de 50%; em seguida foi determinada a concentração de íons dissolvidos nestas soluções e a condutividade elétrica. Na Tabela 3 são mostradas as concentrações iônicas e as condutividades elétricas das soluções utilizadas na calibração dos extratores.

Tabela 3 - Teores nutrientes e condutividade elétrica nas soluções nutritivas utilizadas no processo de calibração dos extratores

Soluções nutritivas (%)	N	P	K	Ca	Mg	S	CE (dS m ⁻¹)
	----- mg L ⁻¹ -----						
Sol ₁ -0	0	0	0	0	0	0	0,5
Sol ₂ -50	76	14,5	122,5	55	14,5	16	1,65
Sol ₃ -100*	152	29	245,0	110	29	32	2,2
Sol ₄ -150	228	43,5	367,5	165	43,5	48	3,15
Sol ₅ -200	304	58	490,0	220	58	64	3,79
Sol ₆ -250	380	72,5	612,5	275	72,5	80	4,42
Sol ₇ -300	456	87	735,0	330	87	96	5,12
Sol ₈ -350	532	101,5	857,5	385	101,5	112	5,72
Sol ₉ -400	608	116	980,0	440	116	128	6,21

* Castellane e Araújo (1994)

O material de solo foi seco ao ar, peneirado em malha de 4 mm e acondicionado em vasos plásticos com capacidade para 12 L. Em cada vaso foi instalado um extrator de solução provido de cápsula porosa na profundidade de 0,15 m, e, em seguida, foram aplicadas as soluções padrões de calibração, com volume de solução suficiente para umedecer o solo a uma umidade referente à máxima capacidade de retenção de água.

Após a instalação dos extratores e o umedecimento do solo, este foi incubado por um período de 72 horas, quando foi aplicado um vácuo de 80 kPa; 12 horas após, coletaram-se as amostras da solução de solo de cada extrator, que foram armazenadas em coletores previamente identificados. Optou-se por aplicar este valor de vácuo por ser próximo aos empregados por vários pesquisadores, para diversos tipos de solos (SILVA et al., 2000; MARCUSSI et al., 2004; SOUZA et al., 2006; MEDEIROS et al., 2009; QUEIROZ; TESTEZLAF; MATSURA, 2009; LIMA, 2009).

Nestas amostras foram determinadas as concentrações de nitrato, potássio e a condutividade elétrica. O nitrato foi determinado utilizando um medidor de íon específico compacto Horiba® (GLOAGUEN et al., 2009), e o K, determinado por meio de um fotômetro de chama. Este procedimento foi repetido mais duas vezes em intervalos de dois dias. Simultaneamente, foram feitas leituras da condutividade elétrica da solução do solo, coletada nos extratores, para serem feitas curvas de calibração, sendo consideradas como valores de referência as condutividades

elétricas da solução aplicada. Na Figura 2 são mostrados os principais procedimentos realizados na etapa de calibração e no manejo da fertirrigação da cultura do pimentão.

Figura 2 – Disposição dos extratores nos vasos (A), coleta de solução (B e C), fotômetro de chama para determinação do potássio (D), medidor de íon específico, Horiba®, (E) para determinação de nitrato e condutímetro utilizado para determinação da condutividade elétrica da solução (F)

Com os resultados das análises foram ajustadas curvas para correlacionar a condutividade elétrica e a concentração de íons obtidos nas amostras de solução dos solos coletadas nos extratores de cápsulas porosas com a concentração desses íons aplicada na solução. A partir dessas equações foi determinada a concentração da solução que deveria ser aplicada via fertirrigação para proporcionar o nível de condutividade elétrica e as concentrações de íons de NO_3^- e K^+ na solução do solo.

Na Figura 3A é mostrada a relação entre a condutividade elétrica da solução de fertilizantes aplicada no solo (CE_{col}) e condutividade elétrica da solução do solo coletada com os extratores (CE_{apl}). Pode-se verificar que houve linearidade entre os

valores das CE_s nas duas soluções, obtendo-se coeficiente angular maior que a unidade (1,198), indicando que os valores de CE_{col} obtidos com os extratores são superiores aos valores de CE_{apl} . No entanto, nas menores salinidades a solução coletada apresenta menor que a solução aplicada. Segundo Queiroz, Testezlaf e Matsura (2005), solos arenosos apresentam baixa capacidade de retenção de água e íons, de forma que os íons tendem a ficar livres na solução do solo ou serem lixiviados. Porém, vale salientar que o volume de solução aplicada em cada vaso não foi suficiente para provocar lixiviação.

Para o nitrogênio também foi observada correlação linear entre a concentração deste elemento na solução de fertilizante aplicada e a concentrada na solução do solo coletada com os extratores, no entanto, foi obtido coeficiente angular próximo à unidade (1,091), indicando haver boa correlação da concentração de N quando se analisa a solução do solo utilizando extratores de cápsulas porosas. Apesar do nitrato ser considerado bastante móvel no solo, neste caso verificou-se que o solo apresentou retenção no nitrato; o que pode ter ocorrido devido a provável precipitação ou ter havido concentração do N distante da cápsula porosa (Figura 3B).

Para o potássio foi observado que a concentração da solução do solo coletada com os extratores apresentou correlação direta com a concentração da solução aplicada, apresentando coeficiente angular de 0,950, indicando que os valores obtidos na solução coletada são bem próximos da concentração de K na solução aplicada (Figura 3C).

Figura 3 - Relação entre condutividade elétrica (A), concentração de nitrogênio (B) e de potássio (C) na solução aplicada e na solução coletada utilizando extratores de cápsulas porosas

3.5 Instalação e condução da segunda fase da pesquisa

A segunda etapa da pesquisa foi desenvolvida em ambiente protegido no Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Ufersa (DCAT). A casa de vegetação 7,0 m de largura e 18,0 m de comprimento, era construída com estrutura metálica, apresentando pé direito com quatro metros de altura e cobertura em arco, coberta com plástico transparente tratado contra a ação dos raios ultravioletas e laterais fechadas com malha negra tipo sombrite 50% (Figura 4).

Figura 4 - Casa de vegetação utilizada no experimento

Para o manejo M_1 , as fertirrigações eram realizadas em intervalos semanais, aplicando em cada evento quantidades pré-determinadas, com base na marcha de absorção da cultura (FONTES; DIAS; GRAÇA, 2005).

Para os manejos M_2 e M_3 , as fertirrigações eram realizadas a partir do monitoramento das concentrações de íons de NO_3^- e de K^+ (M_2), ou da condutividade elétrica (M_3), de acordo com os resultados das análises químicas realizadas nas soluções do solo, coletadas com os extratores. Para a definição do momento e da quantidade de nutrientes a aplicar nos tratamentos sob os manejos M_2 e M_3 , foi adotada uma faixa de variação na condutividade elétrica e na concentração de NO_3^- e K^+ de 20% como parâmetro de decisão, de forma que, quando era verificada redução maior que 20%, era realizada a reposição de nutrientes (N e K) via fertirrigação.

Essa redução na concentração de íons na solução solo utilizada como referência para tomada de decisão quanto ao momento de se fazer a fertirrigação

(20%) foi adotada em virtude de já ter sido utilizada por Silva Júnior (2008) com a cultura do meloeiro neste mesmo tipo de solo, o qual obteve resultados satisfatórios.

Os vasos foram dispostos em quatro linhas no interior da casa de vegetação, espaçados em 1,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Cada linha continha 22 vasos, dos quais os dezesseis vasos centrais de cada linha representavam as parcelas úteis (um vaso contendo uma planta); os demais, dois no início e outros dois no final de cada linha, foram utilizados como bordadura (Figura 5).

Os blocos foram representados pelas linhas, seguindo recomendação de Lorentz et al. (2005) e Lúcio et al. (2006) para amenizar as diferenças significativas de produção entre as linhas na cultura do pimentão cultivado dentro da casa de vegetação.

LEGENDA

B - Bordadura

M₁ - Fertirrigação realizada a partir da marcha de absorção da cultura

M₂ - Fertirrigação realizada a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo

M₃ - Fertirrigação realizada a partir do monitoramento da condutividade elétrica na solução do solo

Níveis de N K (%) - 0, 50, 100, 150, 200, 300

✖ - Registro

--- - Microtubos

Figura 5 - Croqui do arranjo experimental e esquema dos vasos utilizados

Em cada vaso foi instalado um extrator de solução e um tensiômetro, ambos na profundidade de 0,15 m, localizados na porção média entre a planta e a borda do vaso. O extrator de solução era usado com a finalidade de coletar amostras de solução do solo para monitoramento da concentração de íons, e o segundo para manejo da irrigação. As cápsulas dos extratores foram instaladas no centro de cada vaso, a uma profundidade de 0,15 m da superfície do solo, e a uma distância de 0,10 m da planta.

3.6 Plantio e condução da cultura

O transplântio de mudas foi realizado no dia 20 de junho de 2010. As mudas de pimentão, híbrido Atlantis (Topssed[®]), foram obtidas em uma empresa especializada na produção de mudas de diversas hortaliças, localizada no município de Icapuí, CE, e possuíam de 4 a 5 folhas definitivas aos 25 dias após a semeadura.

Este híbrido é adaptado às condições de campo aberto e de ambiente protegido. É um híbrido que apresenta alto potencial produtivo e boa cobertura foliar, o que garante uma melhor proteção dos frutos, que são retangulares, de coloração verde-escuro e vermelho intenso quando maduros, apresentando parede espessa (6-8 mm), massa média de 260 g, além de excelente firmeza dos frutos pós-colheita. O ciclo médio é de 120 dias; apresenta tolerância ao potyvírus do mosaico amarelo do pimentão (PepYM) (AGRISTAR, 2008).

Foram colocadas duas mudas em cada vaso, realizando-se o desbaste quando as mesmas apresentaram sinais de pegamento, caracterizado pela emissão de novas folhas, deixando-se em cada vaso a planta mais vigorosa.

No interior da estufa foi instalado um sistema de tutoramento formado por quatro mourões em cada linha, nos quais foram fixados três fios de arame fio nº 14, sendo que o primeiro arame ficou distante em 0,15 m acima da superfície dos vasos, e os demais, equidistantes em 0,50 m.

Foram realizadas desbrotas nas plantas, retirando-se brotações que surgiam abaixo do primeiro arame. Após as desbrotas foram efetuados tratamentos fitossanitários preventivos para evitar a infestação por fitopatógenos, sendo que semanalmente era realizado o controle fitossanitário preventivo, utilizando produtos e doses adequadas ao nível da infestação.

Na Tabela 4 são mostrados os produtos, dosagens e frequências de aplicações de defensivos utilizados de forma preventiva ao ataque de pragas e patógenos.

Tabela 4 - Produtos fitossanitários aplicados na cultura durante o período experimental

Produto	Dosagem	Combate	Frequência de aplicação
Confidor 700 WG	300 g ha ⁻¹	Mosca branca	Quinzenal
Vertimec 18 EC	20 mL 20 L ⁻¹	Pulgão, ácaro, cigarrinha	Quinzenal
Orthene	2 g 20L ⁻¹	Ácaro, lagarta	Quinzenal
Daconil-BR	200g 100L ⁻¹	Antracnose, pinta preta	Quinzenal
Amistar	15 g 100 L ⁻¹	Antracnose	Quinzenal

3.7 Sistema e manejo da irrigação

Adotou-se o sistema de irrigação por gotejamento, utilizando-se emissores tipo microtubo, com fornecido de água a partir de um reservatório (caixa de fibra de 500 L) suspenso sobre cavaletes, de forma a se obter uma carga hidráulica de 1,0 m. O controle de entrada de água no reservatório foi feito com uma bóia instalada na conexão de entrada, de forma que a coluna de água se manteve constante.

O sistema de distribuição de água foi composto por quatro linhas laterais, com diâmetro de 16 mm, uma para cada fileira de plantas, sendo instalados os microtubos nas linhas laterais, espaçados em 0,5 m, correspondente a um emissor em cada vaso contendo uma planta (unidade experimental). Foram utilizados emissores de 0,50 m de comprimento, definido em testes para estabelecimento do comprimento, obtendo-se vazão média de 1,6 L h⁻¹. O sistema foi avaliado quanto à uniformidade de distribuição, conforme metodologia proposta por Keller e Karmeli (1974), (equação 1), apresentando a uniformidade de distribuição de 92%, classificada como excelente.

$$UD = \frac{q_{25}}{q_m} 100 \quad (1)$$

em que:

UD – Uniformidade de distribuição, %;

q_{25} – 25% das menores vazões, $L h^{-1}$;

q_m – Vazão média do total de gotejadores, $L h^{-1}$.

As irrigações sempre foram realizadas para repor o volume de água necessário para elevar o teor de água no solo dos vasos à umidade da máxima capacidade de retenção, conforme equação (2).

$$T_{ir} = \frac{(U_{cc} - U_a) \times m_s}{1,6} \times 60 \quad (2)$$

em que:

T_{ir} – Tempo de irrigação, min;

U_{cc} – Umidade do solo na capacidade de campo, $kg kg^{-1}$;

U_a – Umidade atual do solo, $kg kg^{-1}$;

m_s – Massa de solo contida no vaso, kg;

1,6 – Vazão do sistema $L h^{-1}$.

3.8 Extração da solução do solo e manejo da fertirrigação

Antes de cada evento de fertirrigação a solução do solo foi extraída para se determinar as quantidades de N e K a ser aplicado nos manejos M_1 e M_2 . Para obtenção do extrato, retirava-se o ar de dentro dos extratores, introduzindo-se uma agulha na borracha especial de vedação, por meio de uma bomba de vácuo, criando-se uma sucção interna de aproximadamente 80 kPa.

A aplicação da sucção nos extratores era efetuada com 12 horas após a irrigação, momento em que era verificada a umidade do solo por meio da tensiometria e curva característica, para que as concentrações de íons medidas na solução fossem corrigidas para a umidade à capacidade de campo. A retirada da solução dos extratores era feita 12 horas após a aplicação do vácuo, sendo coletada com o auxílio de um tubo flexível acoplado a uma seringa, em seguida eram realizadas as análises da solução.

As amostras da solução do solo coletada eram transportadas ao Laboratório

de Irrigação e Salinidade da UFERSA para determinação da CE utilizando um condutivímetro com compensação automática da temperatura, Tec-4MP (Tecnal[®]). Além disso, foram determinados os teores de K e N. O potássio foi determinado por fotometria de chama, Modelo DM-62 (Digimed). A determinação do teor de N foi realizada utilizando um medidor de íons específico para NO₃⁻ (Horiba[®]) e os valores obtidos foram convertidos para N, dividindo-os pelo fator 4,43.

Os valores de condutividade elétrica e de concentração de íons, determinados mediante a solução extraída pelas cápsulas porosas, eram corrigidos para a umidade da capacidade de vaso, visto que após as fertirrigações o solo ficava com esta umidade. Para a correção era utilizada a equação (3) adaptada de Silva et al. (2000).

$$C_{\text{estimada cp}} = \frac{C_{\text{cp}} \cdot U_{\text{cp}}}{U_{\text{cv}}} \quad (3)$$

em que:

$C_{\text{estimada cp}}$ – Condutividade elétrica (dS m⁻¹) ou concentração de íons (mg L⁻¹) na solução do solo, estimada a partir dos valores medidos na solução do solo obtida com extrator de solução do solo;

C_{cp} – Condutividade elétrica (dS m⁻¹) ou concentração de íons (mg L⁻¹) na solução do solo, obtida com extrator de cápsula porosa, dS m⁻¹ ou mg L⁻¹;

U_{cp} – Umidade do solo no momento em que foi dado o vácuo no extrator de cápsula porosa, g g⁻¹;

U_{cv} – Umidade do solo na capacidade de vaso, g g⁻¹.

Após as referidas correções, e caso houvesse reduções maior ou igual a 20% na CE ou na concentração de N ou K na solução coletada, eram calculadas as quantidades de fertilizantes a serem aplicados, sendo esta quantidade necessária para que a solução do solo se mantivesse no nível de CE inicial (M₂) ou na concentração NO₃⁻ e K⁺ inicial (M₃), utilizando-se a equação (4):

A condutividade elétrica (CE) da solução a ser aplicada, de forma a manter a

CE inicial dos tratamentos (M_2), foi calculada por meio da equação 4:

$$CE_A = \frac{(CE_F \cdot VV \cdot \theta_{CV}) - (CE_E \cdot VV \cdot \theta_A)}{VC_V} \quad (4)$$

em que:

CE_A – Condutividade elétrica ($dS\ m^{-1}$) ou concentração de íons ($mg\ L^{-1}$) da solução de fertirrigação a ser aplicada;

CE_F – Condutividade elétrica ($dS\ m^{-1}$) final da solução de sais ($mg\ L^{-1}$) fertilizantes na capacidade de vaso;

VV – Volume de solo contido no vaso, L;

θ_{CV} – Umidade volumétrica do solo na capacidade de vaso, $L\ L^{-1}$;

CE_E – Condutividade elétrica ($dS\ m^{-1}$) ou concentração de íons ($mg\ L^{-1}$) da solução do solo, medida por intermédio do uso de extrator de cápsula porosa;

θ_A – Umidade volumétrica atual, ou seja, imediatamente antes da fertirrigação, medida com tensímetro, $L\ L^{-1}$;

VC_V - volume de solução necessário para o solo atingir a capacidade de vaso, L.

Para o manejo M_1 , conforme mencionado, as fertirrigações foram baseadas no parcelamento dos nutrientes durante o estágio de desenvolvimento da cultura, seguindo a recomendação de Fontes, Dias e Graça (2005). No entanto, mesmo neste manejo, foi extraída solução do solo, com a finalidade de comparar a concentração de íons no solo deste manejo com os valores obtidos nos sistemas de monitoramento e controle de íons da solução do solo.

Para os três manejos as fertirrigações eram realizadas manualmente, utilizando-se um Becker e uma proveta, tendo-se o cuidado para não molhar o caule das plantas. Para os manejos M_2 e M_3 , quando não era necessário fazer a reposição de N nem de K, era aplicada apenas água pelo sistema de irrigação.

Utilizaram-se como fontes de nutrientes os seguintes fertilizantes: o nitrato de cálcio, o cloreto de potássio, o fosfato monobásico de potássio, o nitrato de potássio, o nitrato de sódio, o cloreto de cálcio, o sulfato de magnésio e o ácido fosfórico.

O fornecimento de micronutrientes em todos os manejos foi realizado via fertirrigação, aplicando-se semanalmente 1 litro de solução contendo a seguinte concentração: 3,7, 0,3, 0,4, 0,3, 0,05 e 0,05 ($mg\ L^{-1}$) para N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn,

Mn, B, Cu e Mo, respectivamente (CASTELLANE; ARAÚJO,1994). Além das aplicações de micronutrientes via fertirrigação, eram realizadas, semanalmente, aplicações foliares de Quelatec AZ (mistura sólida de EDTA-chelated contendo os nutrientes: 0,28% Cu, 7,5% Fe, 3,5% Mn, 0,7% Zn, 0,65% B e 0,3% Mo), na dosagem de 2,50 kg ha⁻¹ recomendada para pimentão, aos 70 e aos 90 dias após o transplante (DAT). Semanalmente era realizada aplicação foliar de CaB2 (2% de boro e 10% de cálcio), seguindo recomendação do fabricante, com a finalidade de fornecer Ca e B, importantes na fase de frutificação.

Na Figura 6 é mostrada a distribuição dos vasos no interior da casa de vegetação, e as plantas na época da primeira colheita, nas quais pode-se perceber a ocorrência de alguns frutos com sintomas de podridão apical, causados, pela deficiência de cálcio nos frutos, em virtude da translocação deste nutriente para as folhas.

Figura 6 – Distribuição dos vasos no interior da casa de vegetação (A), arranjo do tensiômetro, extrator e microtubo no vaso (B), desenvolvimento das plantas na primeira colheita (C, D e E)

3.9 Parâmetros avaliados

3.9.1 Crescimento e desenvolvimento

A avaliação do desenvolvimento foi realizada ao final do experimento (120 dias após o transplante), após serem realizadas seis colheitas de frutos. As plantas foram cortadas rente ao solo e em seguida foram ensacadas e transportadas para o Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFRSA, para serem analisadas quanto aos seguintes parâmetros de desenvolvimento.

Altura: As plantas foram postas sobre a bancada e, utilizando uma trena graduada em centímetro, foi determinada a altura das plantas, medindo-se o comprimento do caule do ponto de corte (rente a superfície do solo) até o meristema apical da planta;

Diâmetro do caule: utilizando um paquímetro digital, considerando o valor médio entre duas medidas perpendiculares, e distantes cerca de 2 cm da região de corte;

Número de folhas: consideradas apenas aquelas que apresentavam mais de 70% do limbo foliar na coloração verde;

Área foliar: determinada com todas as folhas contabilizadas, utilizando um integrador de área da marca LICOR modelo LI-3100;

Massa seca de caule, folha, frutos e total: as plantas foram separadas nessas três partes (caule, folhas e frutos) e, em seguida, acondicionadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 80 °C, até apresentarem peso constante. Logo em seguida foram pesadas em balança de precisão (0,01g).

A partir da massa seca de cada parte foi determinada a massa seca total a partir do somatório entre as massas de caule, folhas e frutos, sendo em seguida determinada a distribuição de cada uma dessas partes sobre a planta como um todo.

3.9.2 Rendimento de frutos

Durante o experimento foram realizadas seis colheitas, sendo a primeira realizada 60 DAT das mudas, e a última aos 120 DAT. As demais colheitas ocorreram de acordo com a maturação dos frutos. O ponto de colheita adotado foi quando os frutos atingiram tamanho comercial e cor verde escura brilhante.

Foram avaliados os seguintes parâmetros:

Produção comercial de frutos: obtida da massa fresca dos frutos comerciais das plantas da área útil, livres de queimaduras, ataque de doenças e pragas, e danos mecânicos, expressa em gramas, e contabilizada como produção por planta (g planta^{-1});

Produção não comercial: obtida da massa fresca dos frutos não comerciais das plantas da área útil, expressa em gramas e contabilizada como produção por planta (g planta^{-1});

Número de frutos comerciais: obtido pela contagem de frutos comerciais de todas as colheitas, expresso em frutos planta^{-1} ;

Número de frutos não comerciais: obtido pela contagem de frutos não comerciais de todas as colheitas, expresso em frutos planta^{-1} ;

Massa média de frutos comerciais: obtida pela soma da massa fresca dos frutos comerciais, dividida pelo número de frutos comerciais, expresso em gramas (g);

Massa média de frutos não comerciais: obtida pela soma da massa fresca dos frutos não comerciais dividida pelo número de frutos não comerciais, expresso em gramas.

Os frutos foram classificados pelo tamanho, de acordo com as normas vigentes no Ministério da Agricultura (Brasil, 2001), da seguinte forma: comerciais (comprimento ≥ 60 mm e diâmetro ≥ 40 mm) e não comerciais (comprimento < 60 mm e diâmetro < 40 mm ou algum defeito grave, tais como: frutos murchos, deteriorados, malformados, com danos mecânicos, atacados por doenças ou pragas). O comprimento e o diâmetro dos frutos foram determinados utilizando-se um paquímetro digital. Dentre os frutos comerciais foi realizada ainda a classificação de acordo com o comprimento, cujas classes são detalhadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros para classificação dos frutos de pimentão

Classes	Comprimento
4	De 4,0 até 6,0 cm
6	De 6,1 até 8,0 cm
8	De 8,1 até 10 cm
10	De 10,1 até 12,0 cm
12	De 12,1 até 15,0 cm
15	De 15,1 até 18,0 cm
18	De 18,1 até 21,0 cm
21	De 21,1 até 24,0 cm
24	De 24,1 até 27,0 cm

3.9.3 Qualidade de frutos

Para avaliar a qualidade, foram coletados os frutos comerciais de cada parcela, na terceira colheita, sendo a determinação seguindo metodologia especializada (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), os seguintes parâmetros:

Acidez titulável: determinada por meio da titulação de 10 g de polpa triturada em liquidificador e homogeneizada com 90 mL de água destilada. Foi utilizado como titulante uma solução de NaOH a 0,11 N, padronizada. Os resultados foram expressos em gramas de ácido málico por 100 g de amostra;

pH: obtido por meio de uso de pHmetro digital;

Teor de sólidos solúveis: determinado utilizando-se um refratômetro; uma pequena amostra da polpa triturada foi coada e em seguida colocada sobre o prisma para a leitura, e expresso em °Brix;

Vitamina C: determinada por intermédio da titulação de 3 g da polpa triturada e homogeneizada com 50 mL de ácido oxálico a 12%; o resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico por 100 g polpa.

3.9.4 Alterações químicas do solo

Ao final do experimento foram retiradas duas amostras do solo em cada vaso, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m, utilizando-se um trado tipo holandês. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e, em seguida, submetidas a análises químicas.

Determinaram-se os seguintes atributos: pH em água (1:2,5), cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e).

Para os cátions trocáveis (Ca e Mg), a extração foi feita com uma solução de KCl mol L^{-1} ; e para os cátions trocáveis (Na, K) foi feita a extração com Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0125 N) e determinação de seus teores no extrato. A CTC efetiva (CTC_e) foi obtida por meio do somatório dos cátions trocáveis (Ca^{+2} + Mg^{+2} + Al^{+3} + Na^+ + K^+). Todas as análises de solo foram realizadas seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Além disso, determinaram-se a condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado (CE_{es}); pH em água (1:2,5); CTC; saturação por bases e teores de P, K, Ca, Mg e Na. Determinou-se também a razão de adsorção de sódio (RAS) e a percentagem de sódio trocável (PST), utilizando as equações 5 e 6:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{++} + Mg^{++})}{2}}} \quad (5)$$

em que:

RAS – Razão de adsorção de sódio, $(mmol_c \, dm^{-3})^{0,5}$;

Na – Teor de sódio no solo, $cmol_c \, dm^{-3}$;

Mg – Teor de magnésio no solo, $cmol_c \, dm^{-3}$.

$$PST = \left(\frac{Na}{CTC} \right) \times 100 \quad (6)$$

em que:

PST – Porcentagem de sódio Trocável, %;

Na – Teor de sódio no solo, $cmol_c \, dm^{-3}$;

CTC – Capacidade de troca de cátions, $cmol_c \, dm^{-3}$.

3.9.5 Teor de nutrientes no tecido vegetal

Foram determinadas as concentrações de macronutrientes para cada parte da planta (folha, caule e frutos), de todas as unidades experimentais. As amostras de material vegetal, após secas, foram moídas em moinho tipo Wiley e analisadas para determinação dos teores de N, P, K, Ca, e Mg. Para obtenção dos teores dos nutrientes digeriram-se 0,20 g da matéria seca utilizando-se ácido sulfúrico, peróxido de hidrogênio, sulfatos de sódio e de cobre e selênio (TEDESCO et al., 1995). No extrato digerido, as determinações foram feitas seguindo-se as metodologias descritas por Miyazawa et al. (1999): destilação com arrasto de vapores (Método Kjeldahl), para o nitrogênio; espectrofotometria com azul-de-molibdato, para o fósforo; fotometria de emissão de chama, para o potássio e espectrofotometria de absorção atômica, para o cálcio e magnésio.

3.9.6 Índices de eficiência da fertirrigação

A partir dos dados de produção e dos teores de nutrientes no tecido vegetal, foram determinados os principais índices de eficiência do uso de fertilizantes, seguindo metodologia adaptada de Fageria (1998); quais sejam: Eficiência Agronômica, Eficiência Fisiológica, Eficiência de Recuperação e Eficiência de Absorção.

A Eficiência Agronômica (E_{Agr}): corresponde à produção econômica obtida por unidade de nutriente aplicado (equação 7).

$$E_{Agr} = \frac{\text{ProdN} - \text{ProdMN}}{\text{NApl.}} \quad (7)$$

em que:

E_{Agr} – Eficiência Agronômica, kg kg^{-1} ;

ProdN – Produtividade na dose de nutriente estudado, kg;

ProdMN – Produtividade na menor dose de nutriente, kg;

NApl – Quantidade de nutriente aplicado, kg.

Eficiência Fisiológica (E_{Fis}): é a produção biológica obtida (matéria seca total) por unidade de nutriente acumulado. Às vezes, esta eficiência é também chamada Eficiência Biológica e pode ser calculada pela equação (8):

$$E_{Fis} = \frac{\text{MSTN} - \text{MSTMN}}{\text{AcN} - \text{AcMN}} \quad (8)$$

em que:

E_{Fis} – Eficiência Fisiológica, kg kg^{-1} ;

MSTN – Matéria seca total na dose do nutriente estudado, kg;

MSTMN – Matéria seca total na menor dose do nutriente, kg;

AcN – Acúmulo de nutriente na dose do nutriente estudado, kg;

AcMN – Acúmulo de nutriente na menor dose do nutriente, kg.

A Eficiência de Recuperação (E_{Rec}): é a quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado; a Eficiência de Recuperação de nutriente pode ser calculada pela equação (9):

$$E_{Rec} = \frac{AcN - AcMN}{NApl.} \quad (9)$$

em que:

E_{Rec} – Eficiência de Recuperação, $kg\ kg^{-1}$;

AcN – Acúmulo de nutriente na dose do nutriente estudado, kg;

$AcMN$ – Acúmulo de nutriente na menor dose do nutriente, kg;

$NApl$ – Quantidade de nutriente aplicado, kg.

A Eficiência de Absorção (E_{Abs}) representa a relação entre a quantidade de nutriente acumulado na planta e a unidade de nutriente aplicado, utilizando-se a equação 10:

$$E_{Abs} = \frac{AcN}{NApl.} \quad (10)$$

em que:

E_{Abs} – Eficiência de Absorção, $kg\ kg^{-1}$;

AcN – Acúmulo de nutriente na dose do nutriente estudado, kg;

$NApl$ – Quantidade de nutriente aplicado, kg.

3.9.7 Consumo hídrico e eficiência do uso da água

O consumo de água pelas plantas foi contabilizado diariamente e individualmente para cada planta ($L\ planta^{-1}$), sendo o volume de água aplicado em cada irrigação determinado por tensiometria. A partir do consumo de água pelas plantas, e da produção média obtida em cada tratamento, determinou-se a eficiência de uso de água (EUA), sendo obtida pelo quociente entre a produção da cultura e o volume total de água aplicado durante o ciclo (equação 11):

$$EUA = \frac{Y}{L} \quad (11)$$

em que:

EUA – Eficiência de uso da água, kg L⁻¹;

Y – Produção de frutos pelas plantas, g planta⁻¹;

L – Volume de água aplicado durante o ciclo da cultura, L planta⁻¹.

3.9 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, aplicando-se teste F, e realizando-se o desdobramento sempre que a interação foi significativa (Tabela 6). Para o fator quantitativo, relativo aos níveis de N e K, foi realizada análise estatística por intermédio de regressão, aplicando os modelos linear e quadrático, por representarem melhor a resposta biológica das plantas aos tratamentos aplicados, e escolhendo-se o que apresentou significância e maior coeficiente de determinação (r^2). Para o fator qualitativo, foi realizada análise estatística utilizando-se o teste de comparação de média para diferenciação entre os manejos de fertirrigação, aplicando-se o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar 4.1 (FERREIRA, 2008).

Tabela 6 - Esquema da análise de variância e do desdobramento dos efeitos da regressão para os parâmetros avaliados

Fontes de variação	Estatística F Variável resposta
Manejos de fertirrigação (M)	
Níveis (N)	
Linear	
Quadrática	
Interação (M x N)	
Blocos	
CV (%)	
Manejos de fertirrigação (médias)	
Manejo M ₁	
Manejo M ₂	
Manejo M ₃	
M ₁ -Fertirrigação a partir da marcha de absorção; M ₂ -Monitoramento íons; M ₃ -Monitoramento condutividade elétrica	

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados climáticos durante o experimento

Não foram coletados dados climáticos no interior da casa de vegetação; no entanto, ao longo do período experimental, foram monitorados os dados climáticos na Estação Meteorológica automática da UFERSA, distante 2.200 m da casa de vegetação. A partir destes dados estimou-se a as condições ambientais no interior da estufa utilizando a relação entre as temperaturas internas (TI) e externas (TE) obtidas por Pereira et al. (2010) ($TI = 0,93TE + 2,75$; $R^2 = 095$).

As variações das temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) estimadas para dentro da estufa, durante a condução do experimento, são apresentadas Figura 7. As Tmaxs variaram de 33 a 43 °C; as Tmeds variaram de 30 a 37 °C e as Tmin variaram de com média de 26 a 31 °C; as temperaturas foram aumentando ao longo do ciclo da cultura. A média ficou muito acima do limite segundo Sganzerla (1997).

Figura 7 - Temperaturas máximas (Tmax), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) ocorridas no período experimental

As condições climáticas durante o período experimental são de grande importância para a análise dos dados, pois as respostas morfofisiológicas das culturas dependem dessas condições. Segundo Sganzerla (1997), a temperatura ideal para o pimentão deve estar entre 20 e 25 °C. Outros autores, como Pádua et

al. (1984) e Pereira (1990) concordam que a temperatura do ar deva variar entre 16 e 30 °C. De acordo com Pinto et al. (2007), o crescimento vegetativo e a formação de frutos são favorecidos por temperaturas diurnas variando entre 25 e 27 °C e noturnas entre 7 e 9 °C abaixo da temperatura média diurna.

Quando a temperatura está acima do limite superior da faixa ideal de temperaturas, como ocorreu em alguns momentos durante o experimento, a planta transpira demasiadamente, provocando sensível redução na produção de fotoassimilados (LOPES, 2003). As plantas tinham dificuldade de se manter túrgidas durante o período mais quente do dia, principalmente nos dias mais quentes, mesmo tendo água disponível no solo. Sob temperaturas elevadas podem ocorrer alterações morfofisiológicas na estrutura sexual das flores, podendo acarretar elevadas taxas de abortamento (SATO; PEET; THOMAS, 2002; MARCELIS et al., 2004; PAGAMAS; NAWATA, 2008).

4.2 Monitoramento da solução do solo

Na Figura 8 são mostrados os valores de condutividade elétrica da solução do solo, após correção da umidade solo à capacidade de campo. Pode-se observar que, para os três manejos de fertirrigação, os menores níveis de salinidade apresentaram menor variabilidade ao longo do ciclo da cultura, enquanto que nos níveis mais elevados se observa maior dispersão dos dados.

Para o manejo M_1 se observa grande variabilidade entre as linhas que representam os níveis de salinidade, apresentando, em alguns casos, entrelaçamento entre as mesmas, o que denota a falta de controle da salinidade que ocorre neste manejo de fertirrigação (Figura 8A).

Para o manejo M_2 também se observa grande variabilidade dos dados, ocorrendo inclusive picos em algumas épocas de avaliação, apesar de, no final do ciclo (a partir dos 90 dias), se observar tendência de paralelismo entre as linhas, o que representa maior controle da salinidade da solução do solo (Figura 8B).

Figura 8 - Condutividade elétrica na solução do solo durante o ciclo do pimentão submetido manejos de fertirrigação (M₁-A, M₂-B e M₃-C) e níveis de N e K (50, 100, 150, 200, 300% de NK)

Analisando a condutividade elétrica da solução do solo para o manejo M₃, verifica-se que as linhas que representam os níveis de salinidade apresentaram comportamento com menor variabilidade ao longo do ciclo da cultura, principalmente nos menores níveis de salinidade. Mesmo nos maiores níveis, é possível observar

que as linhas correspondentes a estes níveis tendem a apresentar comportamento semelhante, ou seja, as variações ocorrem praticamente em todos os níveis, evidenciando assim que o manejo M_3 permitiu, de certa forma, maior controle da salinidade da solução do solo, principalmente quando comparado com os outros dois manejos (Figura 8C). Este comportamento já era esperado, tendo em vista que por meio do manejo M_3 se buscava monitorar a CE da solução do solo, especificamente.

Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (DIAS et al., 2005; MEDEIROS, 2010), os quais também obtiveram maior controle da condutividade elétrica da solução do solo quando realizaram a fertirrigação por intermédio do monitoramento da concentração de íons na solução do solo.

Nas Figuras 9A, 9B e 9C são mostradas as concentrações de N na solução do solo durante o ciclo da cultura do pimentão, para os diferentes manejos de fertirrigação e níveis de N e K. Analisando essas três figuras simultaneamente, pode-se perceber as variações ocorridas em decorrência da reposição de N via fertirrigação e da absorção deste nutriente pelas plantas.

Comparando-se os manejos de fertirrigação, pode-se verificar que, quando se realizaram as fertirrigações de acordo com a marcha de absorção da cultura (M_1) (Figura 9A), ou por meio do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo (M_3) (Figura 9C), as linhas que representam os níveis de N e K apresentaram comportamento menos estáveis entre si, ocorrendo maior número de cruzamento entre estas linhas.

Por outro lado, no manejo M_2 , cuja fertirrigação era realizada a partir do monitoramento da concentração de N na solução solo (Figura 9B), percebe-se comportamento mais harmonioso entre as linhas, havendo poucos cruzamentos entre elas, denotando que neste manejo houve maior controle da concentração de N na solução do solo.

Figura 9 - Concentração de nitrogênio na solução do solo durante o ciclo do pimentão submetido manejos de fertirrigação (M₁-A, M₂-B e M₃-C) e níveis de N e K (50, 100, 150, 200, 300% de NK)

Com relação à concentração de K na solução do solo, nas Figuras 10A, 10B e 10C, que correspondem aos manejos M₁, M₂ e M₃, respectivamente, são mostradas as variações das concentrações deste íon (K⁺) ao longo do ciclo da cultura. Pode-se observar que houve comportamento semelhante ao obtido para a concentração de

N, já descrito anteriormente, nos quais se constatou grande variabilidade para os manejos M_1 e M_3 , o que pode ser observado pela grande dispersão entre as linhas que representam os níveis de K.

Figura 10 - Concentração de potássio na solução do solo durante o ciclo do pimentão submetido manejos de fertirrigação (M_1 -A, M_2 -B e M_3 -C) e níveis de N e K (50, 100, 150, 200, 300% de NK)

Para o manejo M_2 , também ocorreu comportamento semelhante ao observado para a concentração de N, no qual se obteve maior controle deste íon na solução do solo. A partir destes resultados pode-se confirmar a possibilidade de se manejar a fertirrigação das plantas por meio do monitoramento da concentração de íons de N ou de K na solução do solo, possibilitando a manutenção de níveis recomendados de nutrientes.

4.3 Consumo de Nitrogênio e de Potássio

Na Tabela 5 são mostradas as quantidades de N e K aplicadas ao longo do ciclo da cultura do pimentão, para os três manejos de fertirrigação. Comparando-se as quantidades de N e K aplicados no manejo M_1 com os manejos M_2 e M_3 , verificou-se que, quando se realizou a fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K (M_1), houve uma economia de N variando de 25,7% (300% NK) a 45,7% (50% NK) para M_2 , enquanto que se observou economia média de 14,5% para o potássio. Com relação ao manejo da fertirrigação a partir do monitoramento da solução do solo (M_3), houve economia de N variando de 32,4% (50% NK) a 58,1% (300% NK), e de potássio variando de 5,1% (50% NK) a 42,4% (300% NK).

Tabela 7 - Quantidade de N e K aplicados durante o experimento para os diferentes manejos de fertirrigação

Níveis de NK (%)	M_1		M_2		M_3	
	N	K	N	K	N	K
	----- (g planta ⁻¹) -----					
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,00	6,65	3,26	8,95	4,06	6,31
100	11,65	13,29	6,58	11,59	6,68	10,41
150	17,47	19,55	10,11	16,38	8,39	12,92
200	23,33	26,59	13,88	22,10	11,96	19,00
300	29,16	33,24	21,68	29,27	12,22	19,14

Tavares (2005), aplicando os manejos M_1 e M_2 adotados no presente trabalho, e também com a cultura do pimentão, mas cultivado em substrato de fibra

de coco, verificou economia de N variando de 11,41 a 33,56%, e de K variando de 85,1 a 89,6%, dependendo da dosagem aplicada.

Essa maior economia de K obtida por Tavares (2005), em comparação a obtida neste trabalho, deve-se ao tipo de substrato utilizado pelo autor, tendo em vista que a fibra de coco é um material inerte, de forma que os nutrientes ficam facilmente disponíveis para as plantas, em comparação com o solo, no qual os cátions podem ficar adsorvidos as colóides.

A partir destes resultados, pode-se observar a importância de realizar monitoramento da concentração de íons na solução do solo no manejo da adubação da cultura.

Na Figura 11 é mostrado a quantidade acumulada de nitrogênio e de potássio ao longo do experimento, para os diferentes manejos de fertirrigação e níveis de N e K. Para todos os manejos, as menores quantidades de N e K foram aplicadas nos primeiros 30 DAT, e esse comportamento foi mais evidente no manejo M_2 (Figuras 11C e 11D), no qual se observou comportamento mais parecido com a marcha de absorção (M_1), Figuras 11A e 11B.

Analisando as Figuras 11C, 11D, 11E e 11F em conjunto, percebe-se que no manejo M_2 foi possível a obtenção de níveis de N e K mais diferenciados, em comparação com o manejo M_3 , o que pode ser constatado pelo maior distanciamento das linhas ao longo do experimento.

Figura 11 - Aplicação acumulada de N e K durante o ciclo da cultura do pimentão para os três manejos de fertirrigação. M₁ (A e B), M₂ (C e D) e M₃ (E e F).

4.4 Potencial mátrico do solo e consumo de águas pelas plantas

Na Figura 12 são mostrados os potenciais mátricos de água no solo para os três manejos de fertirrigação e níveis de N e K. Para o manejo M₁ (Figura 12A), não houve muitas variações entre os potenciais ao longo do ciclo da cultura,

apresentando tensões variando entre 13 e 40 kPa. Essa variação pode ser atribuída a elevada frequência de irrigação utilizada no experimento, por meio da qual se buscou manter a umidade do solo próximo à máxima capacidade de armazenamento.

Figura 12 - Potencial matricial do solo durante o ciclo do pimentão submetido manejos de fertirrigação (M₁-A, M₂-B e M₃-C) e níveis de N e K (50, 100, 150, 200, 300% de NK)

Nos manejos M_2 e M_3 verificou-se comportamento semelhante ao observado para M_1 até, aproximadamente, 80 DAT, não havendo diferença expressiva entre tratamentos, obtendo-se potenciais mátricos variando de 12 a 42 kPa para M_2 , e entre 17 e 42 kPa para M_3 . A partir dos 80 DAT ocorreu maior diferenciação entre os tratamentos para os manejos M_2 e M_3 , sendo observado, em ambos os casos, maiores valores para os níveis de 100 e 150% NK (Figuras 12B e 12C).

Esse comportamento ocorreu, provavelmente, em consequência da maior evapotranspiração da cultura, em virtude do maior desenvolvimento foliar das plantas. Resultados semelhantes foram observados por Tazzo et al. (2004), Dalmago et al. (2003) e Souza et al. (2005), para a cultura do pimentão; e Chaves et al. (2005) para a cultura da pimenteira, os quais observaram maior exigência hídrica na fase entre 75 e 120 DAT.

O consumo de água pelas plantas ao longo do ciclo da cultura é mostrado na Figura 13. Pode-se observar que houve maior variação entre os níveis testados para os manejos M_2 e M_3 , enquanto no manejo M_1 houve menor diferenciação entre os níveis de adubação; a partir dos 70 DAT o nível 0% NK destacou-se dos demais, apresentando menores valores.

O consumo hídrico para os três manejos de fertirrigação foi crescente com o aumento dos dias após o transplante do pimentão, e que conforme foi aumentando a necessidade de águas pelas plantas se observou maior diferença entre os níveis de N e K. Tal comportamento já foi observado para outras culturas, como por exemplo o meloeiro (DIAS et al., 2005, SILVA JÚNIOR, 2008).

Bar-tal et al. (2001), trabalhando com diferentes concentrações de nitrogênio na cultura do pimentão, em sistema hidropônico, também observaram comportamento semelhante aos obtidos neste trabalho, os quais constataram efeito do nitrogênio sobre o consumo de água pelas plantas, que apresentaram maior diferenciação no decorrer do ciclo.

Figura 13 - Consumo hídrico acumulado da cultura do pimentão sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (M_1 -A, M_2 -B e M_3 -C)

Sabe-se que a evapotranspiração das plantas é diretamente dependente do desenvolvimento foliar, tendo em vista que a evapotranspiração é máxima quando a

necessidade hídrica das plantas é plenamente satisfeita (DOOREMBOS; KASSAM, 1994). Vários autores já constataram correlação linear entre o desenvolvimento foliar e a evapotranspiração da cultura do pimentão (TAZZO et al., 2004; DALMAGO et al., 2003). Tazzo et al. (2012) verificaram que o índice de área foliar é a variável fenométrica mais apropriada a ser utilizada em modelos para a estimativa da evapotranspiração máxima da cultura do pimentão cultivado em estufa plástica.

Avaliando o consumo de água pelas plantas, em cada manejo de fertirrigação, verificou-se que para o manejo M₁, ao final do ciclo da cultura, consumos médios de 120, 147, 135, 122, 141 e 111 L planta⁻¹, para os níveis 0, 50, 100, 150, 200 e 300% NK, respectivamente (Figura 13A).

Para o manejo M₂, houve maior diferenciação os níveis testados, sendo observado que o efeito da adubação sobre o consumo de água foi mais evidenciado a partir dos 60 DAT, e que ao final do ciclo os maiores valores foram obtidos nos níveis de 100 e 150% NK, com consumo acumulado médio de 161 L planta⁻¹; os menores consumos hídricos ocorreram nas proporções 0 e 50% de NK, com 120 e 138 L planta⁻¹, respectivamente (Figura 13B).

Com relação ao consumo de água no manejo M₃, verificou-se que a maior diferenciação começou a ser detectada a partir dos 80 DAT, sendo encontrado ao final do ciclo o maior consumo no nível 150% NK, com consumo total de 170 L planta⁻¹, enquanto os menores consumos ocorreram nos níveis de 0 e 50% de NK, com 120 e 137 L planta⁻¹, respectivamente (Figura 13C).

O consumo acumulado de água pelas plantas utilizadas neste trabalho está próximo do consumo observado por Bar-Tal et al. (2001), que obtiveram, para o ciclo de 250 dias, o consumo máximo de aproximadamente 200 L planta⁻¹.

De acordo com Doorenbos e Kassam (2000), as necessidades hídricas totais da cultura são da ordem de 600 a 900 mm e até de 1250 mm para períodos de crescimento longos, o que pode variar de acordo com o clima, variedade utilizada e número de colheitas.

Analisando-se a eficiência do uso da água (EUA) pela cultura do pimentão, os resultados obtidos demonstram que a EUA foi variável de acordo com o manejo da fertirrigação e com os níveis de N e K utilizados. Comparando-se o efeito dos níveis de nutrientes em cada manejo de fertirrigação, verificou-se no manejo M₁ uma variação de 3,6 a 10,6 kg m⁻³ para as proporções 300 e 100 % de NK,

respectivamente. Para os manejos M_2 e M_3 os menores valores foram observado nas plantas que não receberam adubação (0% NK) com EUA de $4,9 \text{ kg m}^{-3}$, e os maiores ocorreram na proporção de 100% de NK para M_2 ($11,1 \text{ kg m}^{-3}$), e em 50% de NK para M_1 ($10,1 \text{ kg m}^{-3}$) (Figura 14).

Figura 14 - Eficiência do uso de água pela cultura do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e de potássio

De forma geral, como a EUA depende diretamente da produção de frutos pelas plantas, as maiores EUAs tendem a ocorrer nas plantas que apresentaram nutrição mais adequada. Neste sentido, Buzetti, Hernandez e Suzuki (1993) estudando os efeitos de doses de N e K na EUA na cultura do meloeiro, verificaram que a adubação influenciou o aproveitamento de água pela cultura, e os resultados obtidos traduziram a importância do manejo correto da cultura para que se tenha a máxima produção de frutos por unidade de água aplicada.

Souza et al. (2011), avaliando o efeito de dois sistemas de cultivo na cultura do pimentão, plantio direto e plantio convencional, encontraram EUA de $6,4$ e $5,7 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente. De acordo com Doorembos e Kassam (1994), a EUA da cultura do pimentão pode variar de $1,5$ a $3,0 \text{ kg m}^{-3}$, para condições de campo.

Carvalho et al. (2011) realizaram uma análise econômica da cultura do pimentão-vermelho e obtiveram EUA máxima de $74,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, equivalente a $7,47 \text{ kg m}^{-3}$. Albuquerque (2010), trabalhando com a cultura do pimentão em

condições de campo, e irrigada com diferentes lâminas de água e duas doses de K, verificou EUAs máximas de 3,5 a 4,5 kg m⁻³.

Percebe-se que os resultados obtidos neste trabalho estão em conformidade com a literatura para cultivos em ambiente protegido. Vale salientar que esses trabalhos foram desenvolvidos em solo em campo aberto, em que ocorrem maiores perdas de água no sistema solo-planta-atmosfera, enquanto no cultivo em vasos ocorre menor perda de água, uma vez que há pequena percolação. A eficiência do uso da água traduz a taxa de conversão do fruto, ou seja, a quantidade de matéria fresca que está sendo produzida por unidade de água aplicada.

Plantas bem supridas de K são mais eficientes no uso que as deficientes, sendo que a quantidade de água para produzir uma unidade de massa seca, dentro de limites, é tanto menor quanto maior o suprimento de K (NELSON, 2005). Entre as várias funções do K na planta, a regulação da turgidez dos tecidos, a abertura e o fechamento dos estômatos e o controle da transpiração são fundamentais para aumentar a eficiência de uso da água pelo vegetal.

4.5 Parâmetros de desenvolvimento das plantas

4.5.1 Diâmetro do caule, altura de plantas, número de folhas e área foliar

De acordo com a análise de variância, verificou-se interação significativa ($p < 0,5$) entre os fatores manejos da fertirrigação e níveis de NK para as variáveis altura de plantas (ALT), número de folhas (NF) e área foliar (AF), bem como para os fatores isolados em todas as variáveis; enquanto que para o diâmetro do caule (DC) houve interação significativa ($p < 0,05$) (Tabela 8). Esses resultados evidenciam que o desenvolvimento das plantas de pimentão pode ser influenciado tanto pelas doses de nitrogênio e de potássio, como pelos manejos de fertirrigação adotados.

Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação sobre o DC, verificou-se que houve variação de acordo com o nível de N e K utilizado. De forma geral, os menores valores foram obtidos no manejo M₁ (13,2 mm) o qual se baseia na marcha de absorção da cultura, enquanto que os demais manejos, utilizando monitoramento da solução do solo (M₂ e M₃), apresentaram resultados semelhantes (15,4 e 15,3 mm, para M₁ e M₂, respectivamente) (Tabela 9).

Analisando o fator manejo de fertirrigação em cada nível de N e K para DC, verificou-se que houve diferença significativa entre os manejos nos níveis de 100, 150 e 300%, com maiores valores sempre nos manejos M₂ e M₃, que não diferiram entre si estatisticamente. Já para ALT, foram observadas diferenças significativas nos níveis 150, 200 e 300% de NK, sempre com os maiores valores ocorrerem nos manejos M₂ e M₃, que não diferiram entre si estatisticamente (Tabela 9).

Tabela 8 - Resumo da análise da variância (teste F) e análise de regressão para diâmetro do caule (DC), altura (ALT), número de folhas (NF) e área foliar (AF) no pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis			
	DC	ALT	NF	AF
	----- Valores de F -----			
Manejos (M)	17,32**	12,04**	27,41**	18,84**
Níveis (N)	12,25**	3,81**	61,14**	81,04**
M x N	2,37*	3,74**	3,99**	4,22**
Blocos	0,93	2,01	3,06	1,45
CV (%)	10,06	13,73	15,18	16,47
Coeficientes da Regressão	----- Valores de F -----			
M ₁ -Linear	0,37 ^{ns}	11,68**	8,48**	37,81**
M ₁ -Quadrática	11,60**	10,81**	52,98**	51,94**
M ₂ -Linear	21,38**	4,63*	73,45**	135,72**
M ₂ -Quadrática	5,10*	5,84*	24,12**	42,28**
M ₃ -Linear	21,38**	9,45**	98,61**	122,36**
M ₃ -Quadrática	7,51**	0,46 ^{ns}	60,00**	30,14**

**Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade. M₁-Fertirrigação a partir da marcha de absorção; M₂-Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons na solução do solo; M₃- Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Silva (2010), trabalhando com a cultura da berinjela, e utilizando os manejos M₁ e M₃ utilizados neste trabalho, também verificou diferença significativa dos manejos de fertirrigação sobre o DC, e observou que o efeito dos manejos foi variável, dependendo do nível de adubação aplicado. Medeiros (2010), trabalhando com a cultura do tomateiro, observou que plantas fertirrigadas a partir do monitoramento da salinidade da solução do solo apresentaram maiores valores de DC, semelhante ao ocorrido neste trabalho.

Tabela 9 - Valores médios para diâmetro do caule (DC), altura de plantas (ALT), número de folhas (NF) e área foliar (AF) no pimentão cultivado em ambiente protegido e sob diferentes manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis			
		DC (mm)	ALT (cm)	NF (Folhas planta ⁻¹)	AF (cm ² planta ⁻¹)
0	M ₁	11,7 A	59,7 A	88 A	1349,7 A
	M ₂	11,7 A	59,7 A	88 A	1349,7 A
	M ₃	11,7 A	59,7 A	88 A	1349,7 A
50	M ₁	13,3 A	70,3 A	224 A	5064,3 A
	M ₂	15,3 A	68,5 A	285 A	5078,5 A
	M ₃	15,5 A	70,5 A	242 A	6032,5 A
100	M ₁	14,0 B	75,3 A	237 A	5501,3 B
	M ₂	16,7 A	78,8 A	251 A	7942,5 A
	M ₃	15,0 A	73,8 A	296 A	7109,8 AB
150	M ₁	13,7 B	56,5 B	261 B	6861,0 B
	M ₂	15,5 A	82,8 A	312 AB	9181,0 A
	M ₃	16,5 A	70,3 AB	373 A	8978,5 A
200	M ₁	15,0 A	59,3 B	261 B	8570,5 A
	M ₂	16,0 A	68,3 AB	338 A	9021,5 A
	M ₃	17,0 A	79,0 A	384 A	8519,2 A
300	M ₁	11,5 B	43,3 B	154 B	4356,5 B
	M ₂	17,3 A	76,0 A	316 A	8924,0 A
	M ₃	16,3 A	79,5 A	303 A	9167,0 A
Média	M ₁	13,2	60,7	204	5283,9
	M ₂	15,4	72,4	265	6917,9
	M ₃	15,3	73,2	281	6859,5

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Para o número de folhas (NF) e área foliar (AF) foram observados os maiores valores nos manejos M₁ e M₂, que não diferiram entre si estatisticamente, apresentando valores médios de 272,85 folhas por planta e 6887,85 cm² planta⁻¹, correspondendo a diferença de aproximadamente 33,7 e 30,4%, para NF e AF, respectivamente, em comparação com os valores obtidos no manejo M₁. Avaliando a diferença no NF entre os manejos de fertirrigação para cada nível de N e K, verificou-se haver diferença significativa apenas entre o manejo M₁ e os demais (M₂ e M₃) e nos maiores níveis de adubação (150, 200 e 300%), principalmente no nível de 300% NK, no qual se obteve diferença em aproximadamente 105,5 e 96,7%, em comparação com os manejos M₂ e M₃, respectivamente (Tabela 9).

Já para a AF houve diferença significativa entre os manejos de fertirrigação nos níveis 100 e 300%, nos quais apenas o manejo M_1 diferiu dos demais e apresentou os menores valores, sendo a diferença mais acentuada no nível 300%, correspondente a aproximadamente 104,8% em relação ao M_2 , e 110,4% em comparação ao M_3 (Tabela 9).

Analisando o efeito dos níveis de N e K sobre o diâmetro do caule, verificou-se aumento no DC em resposta ao aumento da concentração de nutrientes no solo até determinado nível, decrescendo a partir deste, de tal forma que os dados foram ajustados a equação polinomial de segundo grau. No entanto, o nível de nutrientes que proporcionou o maior diâmetro foi variável de acordo com o manejo adotado, sendo estimados os maiores valores nos níveis de 150% (14,4 mm), 239% (16,8 mm) e 220% (17,3 mm), correspondente ao incremento percentual de 23,2, 33,1 e 39,4%, para os manejos M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 15A).

Ainda na Figura 15A, pode-se verificar que o manejo de fertirrigação M_1 proporcionou os menores valores de diâmetro do caule, principalmente nos maiores níveis de N e K. Santos (2010) e Albuquerque et al. (2011) também obtiveram resposta do pimentão à adubação potássica para DC. Este resultado pode ser devido à maior concentração de sais no solo das parcelas do manejo M_1 (Figura 8). Silva (2002), trabalhando com a cultura do pimentão e utilizando os manejos de fertirrigação M_1 e M_3 utilizados neste trabalho, verificaram comportamento quadrático para o diâmetro do caule em função do aumento da salinidade da solução do solo, resultados estes semelhantes aos obtidos no presente estudo.

Para a altura das plantas (ALT), também foram observados os maiores valores médios nos manejos M_2 e M_3 . Desdobrando-se os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K, verificou-se que houve diferença significativa entre os manejos para os níveis 150, 200 e 300%, sendo que os maiores valores foram observados nos manejos M_2 e M_3 . Nestes níveis os manejos M_2 e M_2 foram superiores ao manejo M_1 em cerca de 46,5 e 24,4% (150% NK), 15,2 e 33,3% (200% NK) e de 75,5 e 83,6% (300% NK), (Tabela 9). Medeiros (2010) também verificou que o manejo da fertirrigação via monitoramento da salinidade na solução do solo (M_3) proporcionou plantas de tomate mais altas, em comparação com o manejo utilizando doses preestabelecidas.

Figura 15 - Diâmetro do caule (A), altura de plantas (B), número de folhas (C) e área foliar (D) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e em função dos manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (M₁-marcha de absorção, M₂-monitoramento da concentração de N e K, M₃-monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo)

Semelhante aos resultados observados para o DC, os dados de altura das plantas também foram ajustados a equações de regressões polinomiais do segundo

grau. Os maiores valores foram estimados para os níveis de 83, 165 e 297% de NK, em relação às doses recomendadas para a cultura nos diferentes sistemas de manejo (Figura 15B). Os maiores ganhos percentuais na altura das plantas foram obtidos nos manejos M_2 , na concentração de 165% com 80,1 cm, e no manejo M_3 , na concentração de 297%, com 79,5 cm, correspondendo aos incrementos de 34,4 e 28,6% em relação às plantas que não receberam adubação nitrogenada nem potássica (Figura 15B).

Marcussi et al. (2004), trabalhando com doses de NK na cultura do pimentão, observaram maiores alturas nas plantas fertirrigadas com doses de NK equivalente a 107% da quantidade acumulada pela planta, resultado bem próximo ao obtido para o manejo M_1 . Albuquerque et al. (2011) também observaram resposta positiva para altura de plantas de pimentão em função do aumento na dose de potássio.

Na literatura são encontrados diversos trabalhos sobre o desenvolvimento de plantas de pimentão, sendo obtidos nesses trabalhos alturas de plantas variando de 50 a 200 cm, dependendo do material genético, condições ambientais, ciclo da cultura e práticas de manejo cultural aplicadas (ALBUQUERQUE et al., 2011; ARAGÃO et al., 2011; CHARLO et al., 2011; FONTES; DIAS; GRAÇA, 2005; PEREIRA; MARCHI, 2000; SANTOS; KLAR; FRIGO, 2003).

O nitrogênio estimula a formação de gemas floríferas e frutíferas, assim como estimula o crescimento vegetativo, porque faz parte da constituição de enzimas, coenzimas, vitaminas e proteínas que participam da absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA et al., 1997).

Com relação ao efeito dos níveis de N e K sobre o NF, em cada manejo de fertirrigação, verificou-se resposta ao aumento nas concentrações de N e K no solo, independentemente do tipo de manejo adotado. Para todos os sistemas fertirrigação foram ajustadas equações de regressão quadráticas; no entanto, houve divergência quanto aos níveis que proporcionaram os picos de emissão foliar. Para o manejo M_1 , o número máximo de folhas foi estimado para o nível 163%, no qual foi estimado cerca de 271 folhas por planta, o que corresponde ao incremento percentual de 159,5% em comparação com o nível sem aplicação de NK (zero), no qual foi estimado cerca de 104,4 folhas por planta (Figura 15B).

Para os manejos M_2 e M_3 , os maiores valores foram estimados para os níveis de 218 e 197%, com valores de 345 folhas para M_1 e 383 para M_2 , correspondente

ao incremento percentual de 182,3 e 306,6% para os manejos M_2 e M_3 , respectivamente, em comparação com o menor nível, nos quais se obteve os valores de 122 (M_2) e 94 (M_3) folhas por planta (Figura 15C).

Pode-se verificar, ainda, que os manejos M_2 e M_3 proporcionaram o maior número de folhas, principalmente nos maiores níveis de NK, possivelmente por esses tipos de manejo proporcionar melhor balanço iônico na solução do solo. Esses resultados demonstram a importância da fertilização nitrogenada e potássica na emissão foliar do pimentão.

Em contrapartida, o ajuste quadrático das equações de regressão se explica pelo provável acúmulo de sais fertilizantes na solução do solo, em virtude das maiores concentrações de adubos nas maiores doses, conforme observado também por Marcussi et al. (2004).

Para a área foliar foi observado comportamento semelhante ao observado para o número de folhas, com melhor ajuste ao modelo quadrático. Para o manejo M_1 , o maior valor foi estimado para o nível NK de 178%, no qual se estimou área foliar de $7595 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, correspondendo ao incremento de 441% em relação ao tratamento da ausência de NK. Já para os manejos M_2 e M_3 , os maiores valores foram estimados para os níveis de 219 e 229%, sendo estimadas áreas foliares de 9858,8 e $9568,9 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, respectivamente, correspondentes ao incremento de aproximadamente 509 e 371% em comparação com as plantas que não receberam adubação de nitrogênio e potássio, onde se obteve cerca de $1619 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ para M_1 e $2030,5 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ para M_2 (Figura 15D).

Semelhante ao número de folhas, nos níveis mais elevados de N e K também foram observados os maiores valores de área foliar para os manejos M_2 e M_3 , o que permite atribuir tal comportamento ao melhor balanço iônico da solução do solo em comparação ao manejo M_1 .

Silva Júnior et al. (2010a) verificaram comportamento semelhante para a cultura do meloeiro cultivado em ambiente protegido, quando utilizaram o manejo da fertirrigação semelhante ao manejo M_2 adotado neste trabalho, que forneceu resposta quadrática para o número de folhas e para área foliar, em função do aumento das concentrações de nitrogênio e de potássio na solução do solo. Andrade Júnior et al. (2011) também constataram resposta quadrática para doses de nitrogênio, e Rúbio et al. (2009) para adubação potássica.

Araújo et al. (2009) observaram correlação linear e positiva entre a área foliar e o rendimento do pimentão, e, segundo os autores, o rendimento de frutos de pimentão depende diretamente do crescimento da área foliar da planta. Tal comportamento deve-se a maior capacidade fotossintética das plantas e, consequentemente, maior produção de fotoassimilados.

4.5.2 Acúmulo e partição de fitomassa

Na Tabela 10 é mostrado o resumo da análise de variância para fitomassa seca de caule (FSC), de folhas (FSF), de frutos (FSFR) e total (FST) nas plantas de pimentão. Pôde-se verificar efeito significativo da interação entre os fatores manejos de fertirrigação (M) e níveis de N e K (N) em nível de significância de 1% de probabilidade para FSC, FSF e FSFR, enquanto que para FST houve interação significativa ao nível de significância de 5%. Quanto ao efeito isolado de cada fator, houve respostas significativas para todas as variáveis avaliadas.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância e da análise de regressão para massa seca de caule (MSC), de folhas (MSF), de frutos (MSFR) e total (MST), em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido, e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis			
	FSC	FSF	FSFR	FST
----- Valores de F -----				
Manejos (M)	25,33**	15,67**	24,23**	37,64**
Níveis (N)	33,97**	42,67**	53,35**	71,07**
M x N	3,42*	2,86**	10,64**	8,28**
Blocos	1,36	0,75	1,54	0,57
CV (%)	14,76	17,04	17,39	11,60

Componentes da Regressão	Valores de F			
M ₁ -Linear	1,02 ^{ns}	5,95*	6,77*	0,01 ^{ns}
M ₁ -Quadrática	18,24**	29,27**	74,49**	71,51**
M ₂ -Linear	48,86**	59,09**	77,58**	109,63**
M ₂ -Quadrática	41,61**	40,73**	35,33**	67,01**
M ₃ -Linear	37,19**	60,25**	9,49**	49,48**
M ₃ -Quadrática	28,84**	26,34**	85,94**	82,94**

**Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}-não significativo

A fitomassa seca da parte aérea plantas foi afetada de forma semelhante à fitomassa de caule, de folhas de frutos e total, apresentando para ambos os casos ajustes à equação de regressão do tipo quadrática (Tabela 10).

Considerando os manejos de fertirrigação, verificou-se que os maiores valores foram obtidos nos manejos de fertirrigação a partir o monitoramento da solução do solo (M_2 e M_3), que não diferiram em si estatisticamente, e apresentaram valores médios de 54,59, 49,68, 68,64 e 172,99 g planta⁻¹, para FSC, MFSF, FSFR e FST, respectivamente. Os menores valores de fitomassa foram observados sempre no manejo de fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura (M_1), apresentando valores inferiores em aproximadamente 31,66% para FSC, 28,23% para FSF, 37,89% para FSFR e 33,02% para FST (Tabela 11).

Analisando o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K para FSC e FSF, verificou-se diferença significativa entre os manejos a partir de 100% de NK, sendo os maiores valores sendo obtidos nos manejos M_2 e M_3 , que não diferiram entre si estatisticamente. As maiores diferenças na FSC e FSF entre os manejos M_2 e M_3 , em comparação com o manejo M_1 , foram observadas no nível 300%, com 57,17 e 67,24%, para M_2 e M_3 , respectivamente, para FSC; e de 69,55 e 84,62% para nos manejos M_2 e M_3 (Tabela 11).

Para FSFR e FST foram observadas diferenças significativas a partir do nível 150% NK, com maiores valores para os manejos M_2 e M_3 , semelhante aos resultados obtidos para MSC e FSF; no entanto, foram observadas diferenças mais expressivas, obtendo-se para FSFR no nível de 300% as diferenças de 301,41% para M_2 e de 173,54% para M_3 , em comparação com o manejo M_1 . Com relação a FST foram observadas diferenças de 118,41 e 98,32%, para M_2 e M_3 , respectivamente, em comparação com os valores obtidos no manejo M_1 (Tabela 11).

Medeiros (2010), trabalhando com a cultura do tomateiro em ambiente protegido nas condições de Piracicaba, SP, e utilizando os manejos M_1 e M_3 adotados no presente trabalho, não verificou diferença significativa entre os manejos de fertirrigação, divergindo dos resultados obtidos no presente trabalho. Já Silva (2010) trabalhando com a cultura da berinjela, e também utilizando os manejos M_1 e M_3 , encontraram diferença significativa entre os manejos para FSC e FSF, com os maiores valores sendo obtidos para o manejo de fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura (M_1).

Tabela 11 - Valores médios para fitomassa seca de caule (FSC), folhas (FSF), frutos (FSFR) e total (FST) no pimentão cultivado em ambiente protegido, e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis			
		FSC	FSF	FSFR	FST
		(g planta ⁻¹)			
0	M ₁	26,01 A	17,11 A	21,02 A	64,14 A
	M ₂	26,01 A	17,11 A	21,02 A	64,14 A
	M ₃	26,01 A	17,11 A	21,02 A	64,14 A
50	M ₁	51,71 A	47,99 A	75,66 A	175,36 A
	M ₂	52,28 A	45,45 A	55,50 B	153,23 B
	M ₃	55,92 A	44,74 A	87,23 A	187,89 A
100	M ₁	45,48 B	41,53 B	89,96 A	176,97 A
	M ₂	58,34 A	55,25 A	84,63 A	198,22 A
	M ₃	54,45 A	53,69 AB	84,48 A	192,62 A
150	M ₁	42,72 B	45,51 B	36,61 B	124,84 B
	M ₂	67,31 A	65,81 A	83,11 A	216,23 A
	M ₃	68,93 A	64,53 A	86,86 A	220,32 A
200	M ₁	47,45 B	47,65 B	54,86 B	149,96 C
	M ₂	72,20 A	62,49 A	86,68 A	221,37 A
	M ₃	58,83 A	54,30 AB	74,36 A	187,49 B
300	M ₁	35,38 B	32,64 B	20,56 C	88,58 B
	M ₂	55,60 A	55,34 A	82,53 A	193,47 A
	M ₃	59,17 A	60,26 A	56,24 B	175,67 A
Média	M ₁	41,46	38,74	49,78	129,98
	M ₂	55,29	50,24	68,91	174,44
	M ₃	53,89	49,11	68,37	171,36

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Com relação aos níveis de N e K, verificou-se que para fitomassa seca de caule, os níveis de NK que proporcionaram os maiores valores foram 156% (48,4 g planta⁻¹), 189% (70,7 g planta⁻¹) e 195% (66,0 g planta⁻¹), para M₁, M₂ e M₃, respectivamente. Esses resultados corresponderam ao incremento percentual em cerca de 51,8% para M₁, 154,3% para M₂ e 111,6% para M₃ em comparação com os valores obtidos na ausência de adubação nitrogenada e potássica (Figura 16A).

Figura 16 - Massa seca de caule (A), folhas (B), frutos (C) e total (D) de plantas de pimentão cultivadas em ambiente protegido, e em função dos manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (M₁-marcha de absorção, M₂-monitoramento da concentração de N e K, M₃-monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo)

A fitomassa seca das folhas apresentou comportamento semelhante ao observado para a fitomassa seca do caule; no entanto, os maiores valores foram obtidos com níveis de NK maiores, sendo estimados os máximos valores para 158%

no manejo M_1 (47,7 g planta⁻¹), 198% no manejo M_2 (67,2 g planta⁻¹) e 213% para o manejo M_3 (64,0 g planta⁻¹). Comparando-se com a massa seca obtida na ausência de NK, estima-se um aumento de 108, 233 e 195% para os manejos M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 16B). Estas diferenças devem-se, provavelmente, ao maior desenvolvimento das folhas em relação ao caule, apresentando esta maior exigência.

Silva (2010), trabalhando com a cultura da berinjela, e Medeiros (2010), trabalhando com a cultura do tomate, observaram resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho, no qual os dados de fitomassa seca foram ajustados a equação polinomial de segundo grau em resposta ao aumento nos níveis crescentes de fertilizantes.

Trabalhando com a mesma cultivar e condições climáticas do presente estudo, mas sob condições de campo, Silva et al. (2010) estudaram o desenvolvimento das plantas em função de diferentes arranjos espaciais, e obtiveram massa seca de caule variando de 52 a 80 g planta⁻¹, e massa seca de folhas variando de 42 a 67 g planta⁻¹, valores esses próximos aos obtidos neste trabalho, o que evidencia que as plantas apresentaram satisfatório desenvolvimento.

Analisando a fitomassa seca dos frutos, verificou-se aumento em resposta ao incremento nos níveis de NK até determinado nível, decrescendo a partir deste, de tal forma que os dados foram ajustados ao modelo polinomial de segundo grau. Houve grande variabilidade entre os dados, o que está demonstrado na grande dispersão dos pontos no gráfico. Verifica-se que até o nível 100% NK não há diferença considerável entre os manejos de fertirrigação; no entanto, a partir deste nível, ocorre maior diferenciação, com os maiores valores nos manejos M_2 e M_3 (Figura 12C). Os maiores valores nos manejos M_1 , M_2 e M_3 são estimados para os níveis 123% (67,4 g planta⁻¹), 199% (91,9 g planta⁻¹) e 161% (89,9 g planta⁻¹), sendo os maiores ganhos observados no manejo M_2 (224,4%) e M_3 (151,9%).

No tocante ao acúmulo de fitomassa seca total (FST), verificou-se comportamento semelhante ao observado para o acúmulo de fitomassa observada para cada parte da planta, nas quais foram obtidas respostas quadráticas. A partir das equações de regressão obtidas para cada manejo de fertirrigação, verificou-se que os maiores valores foram estimados para os níveis de 142, 196 e 183% NK, com acúmulo total de fitomassa em 164, 230 e 219 g planta⁻¹, para os manejos M_1 ,

M₂ e M₃, respectivamente (Figura 1D). Este resultado já era esperado em consequência deste comportamento já ter ocorrido para FSC, FSF e FSFR.

Resultados semelhantes foram obtidos por Medeiros et al. (2012) trabalhando com a cultura do tomateiro cultivado em ambiente protegido, os quais também observaram efeito quadrático para MSC, MSF e MST, em resposta ao aumento da concentração de íons na solução do solo.

Tal efeito pode ser atribuído ao aumento da salinidade do solo devido ao acúmulo de íons no solo (Dias et al., 2007), e, provavelmente, salinidade do solo acima da tolerada pela cultura, que, segundo Mass e Hoffman (1990), é de 1,5 dS m⁻¹. Considerando que nos níveis N e K correspondentes a 150 e 200% da recomendação, a condutividade elétrica da solução do solo era de 3,1 e 3,8 dS m⁻¹ (Tabela 2), pode-se constatar assim que as plantas utilizadas no presente trabalho apresentaram tolerância maior que a descrita por Mass e Hoffman (1990).

Vale salientar que o incremento na salinidade do solo foi em consequência do aumento da aplicação de fertilizantes. Marcussi et al. (2004) observaram maior desenvolvimento das plantas com salinidade de 2,3 dS m⁻¹. Medeiros et al. (2009) trabalhando com a cultura do pepino, e, Eloi et al. (2007) e Medeiros et al. (2012), trabalhando com a cultura do tomateiro, também verificaram que, em condições de salinidade proporcionadas pela adição de fertilizantes, as plantas apresentaram maior tolerância a salinidade.

Na Tabela 12 é mostrada a partição percentual de fitomassa seca nas diferentes partes da planta. De forma geral, pode-se constatar uma distribuição bastante uniforme, sendo verificada distribuição da percentagem média de 32,83% para FSC, 29,07% para FSF e 38,11% para FSFR. Analisando a distribuição de fitomassa seca do manejo M₁, observa-se variação na FSC de 25,72% (100%NK) a 40,50% (0%NK) e média de 33,59%; na FSF a variação foi de 23,46 (100%NK) a 36,79 (200% de NK) e média de 30,59%; na FSFR houve variação entre 23,25 (300% de NK) a 50,82 (100% de NK) e média de 36,02%. Percebe-se, dessa forma, que no nível 100% de NK as plantas tiveram os frutos como drenos preferenciais de fotoassimilados.

Tabela 12 - Partição de fitomassa seca nas diferentes partes de plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido, e em função dos manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e de potássio

Manejos de fertirrigação				
----- M ₁ - Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura -----				
Níveis NK (%)	FSC*	FSF	FSFR	FST
		(%)		(g planta ⁻¹)
0	40,50	26,79	32,71	64,2
50	29,49	27,32	43,18	175,3
100	25,72	23,46	50,82	176,9
150	29,84	31,80	38,36	143,1
200	36,02	36,17	27,81	131,6
300	39,95	36,79	23,25	88,6
Média	33,59	30,39	36,02	
-----M ₂ - Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons-----				
	FSC	FSF	FSFR	FST
0	40,49	26,78	32,73	64,22
50	32,13	27,95	39,93	162,8
100	29,41	27,90	42,68	198,2
150	31,13	30,43	38,44	216,2
200	32,61	28,23	39,16	221,4
300	28,75	28,59	42,66	193,4
Média	32,42	28,32	39,27	
----- M ₃ - Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica -----				
	FSC	FSF	FSFR	FST
0	40,50	26,79	32,71	64,2
50	29,75	23,79	46,46	187,9
100	28,25	27,88	43,87	192,6
150	31,28	29,28	39,45	220,3
200	31,36	28,96	39,68	187,5
300	33,69	34,32	31,99	175,7
Média	32,47	28,50	39,03	

*FSC – fitomassa seca de caule; FSF – fitomassa seca de folhas; FSFR – fitomassa seca de frutos; FST – fitomassa seca total

Para o manejo M₂ verificou-se, em termos médios, uma distribuição percentual média de 32,42% para FSC, 28,32% para FSF e 39,27% para FSFR, sendo observada uma variação de 28,75% (300% de NK) a 40,49% (0% de NK); para FSF os valores variaram de 26,78% (0% de NK) a 30,43% (150% de NK); para FSFR ocorreu uma variação de 32,73 (0% de NK) a 42,68 (100% de NK) (Tabela 12).

No manejo M₃, verificaram-se os valores médios de 32,42% para FSC, 28,32% para MSF e 39,27% para FSFR. A maior participação de FSC (28,25%) ocorreu no nível 100%NK, e o maior valor (40,50%) ocorreu no nível 0%NK. Para FSF houve variação de 23,79% (50%NK) a 34,32% (300%NK). Para FSFR houve

uma variação de 31,99% (300%NK) a 46,46% (50%NK), de tal forma que houve redução na MSF em decorrência do aumento na FSFR (Tabela 12).

Silva (2008), trabalhando com esse mesmo material genético e nas mesmas condições climáticas do presente estudo, porém em condições de campo, observou partição média de 29,8% para FSF, 35,4% para FSC e 34,8% para FSFR. De forma geral, os frutos tiveram maior participação na massa seca do pimentão, o que evidencia que os mesmos são os drenos principais da planta, estando assim de acordo com os resultados obtidos por Fontes et al. (2005), Charlo (2008) e Silva (2008).

4.6 Parâmetros de rendimento e qualidade de frutos

4.6.1 Rendimento de frutos

A partir da análise de variância, pôde-se verificar interação significativa entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K para o número de frutos (NFR) e a produção de pimentão (PROD) ($p < 0,01$), enquanto que para a massa média de frutos a interação entre os fatores não foi significativa ($p > 0,05$), havendo efeito significativo apenas dos fatores isolados ($p < 0,01$). Como houve interação significativa entre os fatores para NFR e PROD, foram realizadas análises de regressão para cada manejo de fertirrigação, nas quais foram ajustadas equações lineares e quadráticas significativas. Para MMFR não foi obtida significância para os componentes linear e quadrático (Tabela 13).

Tabela 13 - Resumo da análise da variância (teste F) e análise de regressão para número de frutos (NFR), massa média de frutos (MMFR) e produção (PROD) do pimentão cultivado em ambiente protegido, e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	----- Variáveis -----		
	NFR	MMFR	PROD
	----- Valores de F -----		
Manejos (M)	1,85 ^{ns}	5,81**	5,81**
Níveis (N)	10,11**	5,54**	14,66**
M x N	4,25**	0,55 ^{ns}	4,29**
Blocos	2,48	5,05	3,02
CV (%)	24,58	10,65	24,53
Componentes da Regressão	----- Valores de F -----		
M ₁ -Linear	7,37**	0,03 ^{ns}	6,23*
M ₁ -Quadrática	30,06**	0,01 ^{ns}	26,40**
M ₂ -Linear	14,27**	3,24 ^{ns}	18,24**
M ₂ -Quadrática	4,05*	1,59 ^{ns}	8,50**
M ₃ -Linear	4,37*	0,30 ^{ns}	6,86*
M ₃ -Quadrática	5,79*	1,54 ^{ns}	5,65*

**Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação sobre NFR, MMFR e PROD, verificou-se que não houve diferença significativa para NFR, obtendo-se entre os manejos M₁ e M₂ e M₃ o valor médio de 23,71 frutos por planta. Apesar de não ter havido diferença significativa entre os manejos de fertirrigação, os maiores valores, em termos absolutos, foram encontrados nos manejos M₂ e M₃ (Tabela 14).

Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação sobre o NFR em cada nível de N e K, foram observadas diferenças estatísticas nos níveis 50 e 300% de NK, com maiores valores nos manejos M₂ e M₃. A diferença entre os manejos foi maior no nível 300% de NK, no qual os manejos M₂ e M₃ apresentaram valores médios de 28,59 frutos planta⁻¹, o que corresponde a uma diferença de 249,10% em relação ao NFR encontrado no M₁ (Tabela 14).

Medeiros (2010), trabalhando com a cultura do tomate, também observou diferença significativa entre os manejos M₁ e M₃, com maiores valores de NFR comerciais para o manejo M₃. Já Silva (2010) observou diferença significativa entre esses manejos de fertirrigação e obteve o maior NFR nas plantas cultivadas com

manejo M₃, no qual a fertirrigação foi realizada com base na marcha de absorção da cultura. Ao contrário desses resultados, Dias et al. (2006) não observaram diferença significativa no NFR entre os diferentes manejos (M₁ e M₃) para a cultura do meloeiro em condições protegidas. Tais divergências podem ser atribuídas, em parte, a diferença na prolificidade entre as espécies.

Tabela 14 - Valores médios para número de frutos (NFR), massa média de frutos (MMFR) e produção (PROD) do pimentão cultivado em ambiente protegido, e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	----- Variáveis -----		
		NFR (fruto planta ⁻¹)	MMFR (g fruto ⁻¹)	PROD (g planta ⁻¹)
0	M ₁	14,0 A	45,8	641,2 A
	M ₂	14,0 A	45,8	641,2 A
	M ₃	14,0 A	45,8	641,2 A
50	M ₁	19,5 B	52,6	1025,7 A
	M ₂	30,7 A	55,8	1713,1 A
	M ₃	27,5 AB	52,6	1446,5 A
100	M ₁	31,5 A	50,8	1600,2 A
	M ₂	29,2 A	60,2	1757,8 A
	M ₃	27,7 A	57,4	1589,9 A
150	M ₁	24,7 A	47,3	1168,3 A
	M ₂	22,7 A	50,7	1150,9 A
	M ₃	29,7 A	48,4	1437,5 A
200	M ₁	27,0 A	45,5	1228,5 A
	M ₂	26,3 A	54,1	1422,8 A
	M ₃	22,7 A	50,5	1146,35 A
300	M ₁	8,2 B	49,4	405,1 B
	M ₂	29,9 A	57,0	1704,3 A
	M ₃	27,2 A	51,5	1400,8 A
Média	M ₁	21,7	48,6 B	1054,6
	M ₂	24,3	53,9 A	1209,7
	M ₃	23,1	51,0 A	1178,1

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Comparando-se o número de frutos obtidos no presente trabalho com outros trabalhos desenvolvidos com a cultura do pimentão, verifica-se o NFR obtidos é maior que o obtido por Albuquerque et al. (2011), os quais, avaliando o rendimento do pimentão em função de diferentes doses de potássio, obtiveram em média 6,51 frutos por planta, enquanto Marcussi; Gogoy e Villas Boas (2004) obtiveram a média de 13 frutos. Já Santana et al. (2004) e Factor, Araújo e Vilella Júnior (2008) obtiveram aproximadamente 10 frutos por planta. Melo et al. (2009), avaliando a resposta do pimentão a doses de potássio, encontraram o máximo de 3 (três) frutos por planta. Freitas (2009), avaliando espaçamentos entre linhas e entre plantas com a mesma cultivar e condições climáticas deste estudo, mas em campo aberto verificou NFR de variando de 23,98 a 31,28. Campos et al. (2008) trabalhando com doses de nitrogênio, obtiveram o máximo de 44 frutos por planta.

A partir desses resultados pode-se perceber que existe grande variabilidade na literatura quanto ao número de frutos na cultura do pimentão, tornando difícil a comparação dos trabalhos. Grande parte desta variabilidade pode ser atribuída ao ciclo da cultura adotado pelos autores, o que afeta diretamente no número total de frutos colhidos. Segundo Cunha (2001), é muito difícil a comparação de produção entre as diversas pesquisas realizadas com a cultura do pimentão em ambiente protegido, em virtude dos mais variados manejos utilizados pelos autores.

Para MMFR os maiores valores foram obtidos nos manejos M_2 e M_3 , que não diferiram entre si estatisticamente e apresentaram MMFR média de $52,48 \text{ g fruto}^{-1}$, sendo superior ao manejo M_1 em aproximadamente 8,1%. Também não foi observada diferença significativa entre os manejos M_1 e M_3 , com média entre estes de $49,8 \text{ g fruto}^{-1}$ (Tabela 14). A menor MMFR, obtida no manejo tradicional (M_1), pode ter ocorrido em consequência do maior acúmulo de sais no solo proporcionado pela forma de distribuição de fertilizantes no vaso, que geralmente ocorre quando não se realiza monitoramento da concentração de sais no solo (SILVA, 2002; DIAS et al., 2005).

De um modo geral, a MMFR obtida neste trabalho ($51,17 \text{ g fruto}^{-1}$) está abaixo da caracterização descrita para a cultivar utilizada, que é de 200 a 260 g (AGRISTAR, 2009). Tal diferença pode ser atribuída às condições climáticas em que foi realizado este estudo e à região onde a empresa realiza avaliação de desempenho da cultura. No entanto, os frutos podem ser classificados como do tipo

B (50 a 100 g) para os manejos M_2 e M_3 , e do tipo C (menor que 50 g) para o manejo M_3 (DAMATTO JÚNIOR et al., 2005; FONTES; DIAS; SILVA, 2005; CEAGESP, 2008).

A inferioridade da MMFR obtidos neste trabalho, em confronto com a literatura pode estar relacionada às elevadas temperaturas ocorridas no período experimental, estando de acordo com os resultados obtidos por Erickson e Markhart (2002), que verificaram redução na MMFR quando a polinização dos frutos ocorreu sob temperatura acima de 33 °C, sendo observado, ainda, efeito sobre o comprimento dos frutos.

A redução no tamanho dos frutos nestas condições pode ser atribuída, em parte, à redução no número de sementes por fruto, pois o tamanho dos frutos está relacionado positivamente com o número de sementes (ERICKSON; MARKHART, 2002). Outra provável causa para a redução no tamanho dos frutos está relacionada ao menor tempo ocorrido entre a fecundação e a maturação dos frutos, sendo este fato considerado como um mecanismo de adaptação ao estresse térmico (ADAMS COCKSHULL; CAVE, 2001; PAGAMAS; NAWATA, 2008).

Com relação à produção de frutos (PROD), foi observado efeito semelhante ao encontrado para MMFR, com maiores valores obtidos nos manejos M_2 e M_3 , que não diferiram entre si estatisticamente, obtendo-se PROD média de 1243,9 g planta⁻¹, correspondendo a uma diferença de aproximadamente 17,9% em comparação com a PROD encontrada no manejo M_1 , que foi de 1054,6 g planta⁻¹ (Tabela 14). Esses resultados assemelham-se, em parte, aos obtidos Medeiros et al. (2011) para a cultura do tomateiro; esses autores observaram maior rendimento quando a fertirrigação era realizada a partir do monitoramento da salinidade do solo (M_3), em comparação com o manejo M_1 , o qual é baseado na marcha de absorção de nutrientes pela cultura.

Fazendo-se o desdobramento do fator manejo de fertirrigação em cada nível de N e K, verificou-se que houve diferença significativa entre os manejos apenas no nível de 300% de NK, no qual o manejo M_1 apresentou a menor PROD (405,86 g planta⁻¹), sendo este valor inferior a PROD média obtida nos manejos M_2 e M_3 (1552,5 g planta⁻¹) em aproximadamente 283,3% (Tabela 14).

Considerando o espaçamento adotado neste trabalho (1,5 x 0,5 m), que resulta numa população de 13.333 planta ha⁻¹, estima-se para os manejos M₁, M₂ e M₃ a produtividade média de 11,0; 17,0 e 16,3 t ha⁻¹, respectivamente.

A produtividade obtida no presente trabalho é inferior a obtida por Freitas (2009) para a mesma cultivar, mas em condições de campo, quando se avaliou diferentes populações de plantas e obteve-se produtividades variando de 63 a 121 t ha⁻¹. No entanto, este autor utilizou densidade maior que a adotada no presente trabalho: as densidades de variaram de 20.000 a 50.000 plantas ha⁻¹, e num total de doze colheitas, enquanto neste trabalho adotou-se a população de 13.333 plantas ha⁻¹ e foram realizadas apenas seis colheitas. Campos et al. (2008), avaliando o efeitos de doses crescentes de nitrogênio, obteve produção máxima de 2,64 kg planta⁻¹, enquanto que Albuquerque et al. (2011) avaliaram o efeitos de níveis de irrigação e doses de potássio na cultura do pimentão e encontraram produtividade média de 18,58 t ha⁻¹, valor este bem próximo ao obtido no presente trabalho.

Parte dessa diferença na produtividade encontrada nestes trabalhos pode ser atribuída às diferenças metodológicas utilizadas nesses estudos, principalmente quanto ao material genético, espaçamento, manejo nutricional, número de colheitas, entre outras.

Analisando o efeito dos níveis de nitrogênio e potássio sobre os parâmetros de rendimento, verifica-se que, para todos os sistemas de manejos de fertirrigação, foram ajustados modelos polinomiais de segundo grau; no entanto, ocorreu diferença quanto aos níveis de N e K, que proporcionaram o maior pegamento de frutos (Figura 17).

Para o número de frutos (NFR), verificou-se que no manejo da fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura (M₁), o maior valor foi estimado em 29 frutos por planta, para o nível de N e K correspondente a 126% da dose recomendada para a cultura, o que corresponde a um aumento percentual em cerca de 63,4% em relação ao valor obtido nas plantas que não receberam aplicações de N e K (17 frutos por planta). Para os manejos com base no monitoramento da solução do solo, seja pelo monitoramento da concentração de íons de N e de K (M₂) ou da condutividade elétrica (M₃), observou-se os maiores valores para os níveis equivalentes a 237 e 193% da recomendação de Castellane e Araújo (1994),

estimando-se 30 e 29 frutos por planta, respectivamente, e aumento percentual de 98,6 e 93,1% (Figura 17A).

Resposta quadrática para NFR em função de adubações nitrogenadas e potássicas também foram observadas por outros autores (CAMPOS et al., 2008). Marcussi, Godoy e Villas Bôas (2004), trabalhando com a cultura do pimentão, cv. Elisa, em ambiente protegido, em vasos e com diferentes doses de nitrogênio, observaram aumento linear com produtividade máxima de 1,91 kg planta⁻¹. Porém, esses autores utilizaram como dose máxima o equivalente a 150% da recomendação da cultura, de acordo com a marcha de absorção de nutrientes.

Figura 17 -. Número de número de frutos (NFR), massa média de frutos (MMFR) e produção (PROD) do pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Analisando as Figuras 17A e 17B em conjunto, verifica-se uma correlação entre NFR e PROD, principalmente nos maiores níveis de N e K. Tal comportamento pode se dever, provavelmente, à elevada taxa de abortamento nas plantas que receberam as maiores doses de fertilizantes, em consequência do aumento da condutividade elétrica do solo (LEONARDO et al., 2008). Desta forma, com o aumento da taxa de abortamento, tende a ocorrer menor número de frutos por planta (Figura 17A), reduzindo assim a competição entre frutos. Assim, com a redução no número de frutos, que são os principais drenos do pimentão, houve maior disponibilidade de nutrientes para os frutos remanescentes, o que favoreceu o seu desenvolvimento, como se verifica na Figura 17C.

Para a produção de frutos foi observada resposta semelhante à ocorrida para o número de frutos, evidenciando que o rendimento de uma planta depende diretamente do número de frutos. Para os três tipos de manejo, os dados foram ajustados a equações de regressão do tipo quadrática, sendo os maiores valores estimados para os níveis de N e K correspondentes a 140, 244 e 195,2% para os manejos M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente, das doses recomendadas para a cultura, seja para a fertirrigação convencional (M_1) ou para o cultivo hidropônico (M_2 e M_3). Os maiores rendimentos foram de 1.392,8 g planta⁻¹ para M_1 , 1.618 g planta⁻¹ para M_2 e 1.531 g planta⁻¹ para M_3 , o que corresponde ao aumento percentual de 109,6% (M_1), 65,3% (M_2) e 73,4% (M_3), conforme mostrado na Figura 17B.

Na literatura são encontrados diversos trabalhos que demonstram o efeito positivo da adubação nitrogenada e potássica sobre o rendimento da cultura do pimentão. Alguns observaram resposta linear (MARCUSI et al., 2004; ARAÚJO et al., 2009), ou quadrática (GODOY; VILLAS BÔAS; BÜLL, 2003; CAMPOS et al., 2008; MELO et al., 2009). A redução da produção de frutos por planta quando foram aplicadas doses acima daquela que proporcionou o máximo rendimento, pode ser explicada pelo efeito tóxico dos fertilizantes acumulados no solo, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Deve-se atentar, também, para a possível demanda de energia da planta para fazer o ajuste osmótico e absorção de água e nutrientes, o que poderia ser convertida em produção (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Na Figura 18 é mostrada a produção de frutos ao longo do ciclo da cultura, num total de seis colheitas. Pode-se verificar que houve grande desuniformidade entre as colheitas, sendo observados alguns picos de produção em algumas

colheitas, seguido, na maioria dos casos, de redução na colheita seguinte. Para os três manejos de fertirrigação foram observados as maiores produções individuais nas colheitas 2 e 6, e as menores produções foram observadas entre estas colheitas.

Figura 18 - Produção de frutos seguindo as colheitas de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A-M₁, B-M₂ e C-M₃)

Para as plantas fertirrigadas a partir do manejo M_1 , e considerando todos os níveis de N e K, verificou-se que na colheita 2 foram colhidos cerca de 22% da produção total, e que a colheita 6 foi responsável por aproximadamente 37%, respectivamente (Figura 18A).

Ainda na Figura 18, pode-se verificar que para os três manejos de fertirrigação, as plantas que não receberam adubação nitrogenada não apresentaram grande variação na produção, mantendo-se, na maioria das colheitas, os menores valores, demonstrando assim que apenas o nitrogênio do solo não foi suficiente para promover aumento no rendimento da cultura no decorrer do experimento.

Para o manejo M_2 foi observado que as colheitas 2 e 6 foram responsáveis pela maior participação na produção de frutos do pimentão, sendo encontrada a participação média de 25 e 24%, respectivamente (Figura 18B).

Comportamento semelhante também foi encontrado para o manejo M_3 , no qual se verificou que na colheita 2, foram colhidos cerca de 28% da produção total, e 23% na colheita 6, com exceção do nível 200% de NK, no qual a maior porcentagem ocorreu na colheita 5 (33%), conforme mostrado na (Figura 18C).

Ao longo das colheitas era comum ocorrer grande variabilidade, de forma que nas plantas em que eram colhidos os maiores números de frutos, na colheita seguinte, essas tinham menos frutos para serem colhidos, seguindo esse comportamento ao longo do ciclo. Em contrapartida, as plantas que não tinham frutos no ponto de colheita, apresentavam elevado número de frutos, que eram colhidos na colheita seguinte. Mello (2003) enfatiza que o tamanho desuniforme do fruto de pimentão no momento da colheita é uma das principais fontes de variação em experimentos com esta cultura. Lúcio et al. (2003) observaram que em 100% das colheitas de pimentão havia heterogeneidade das variâncias entre as plantas.

Parte desta variabilidade pode ser atribuída ao hábito natural de desenvolvimento da espécie, pois, na cultura do pimentão, os frutos surgem em dias diferentes de uma planta para outra, de acordo com a formação das novas brotações que despontam no decorrer do desenvolvimento das plantas, provocando um crescimento desuniforme entre os frutos (LORENTZ et al., 2005). Assim, a heterogeneidade das variâncias é devida, principalmente, ao amadurecimento pre-

coce ou tardio de alguns frutos, causados por alterações nas condições fisiológicas ou condições ambientais adversas.

Para a cultura do tomateiro cultivado em ambiente protegido, Lúcio et al. (2010) recomendam o agrupamento de seis em seis colheitas para se avaliar o rendimento da cultura, pois ao se realizar o agrupamento entre colheitas se reduz a variabilidade. Esta variabilidade justifica o agrupamento entre colheitas para se reduzir o coeficiente de variação, e fornecer maior segurança na análise estatística dos dados (LORENTZ; LÚCIO, 2009).

Nas Figuras 19A e 19B são mostradas as relações entre o NFR e a PROD da cultura (A) e entre MMFR e a PROD (B). Pode-se observar que foi possível ajustar equações de regressão apenas para a relação entre número de frutos e rendimento; foram ajustadas, para os três manejos de fertirrigação, equações lineares (Figura 4A). Analisando-se essas relações para cada tipo manejo, percebe-se resposta semelhante entre os manejos M_1 e M_3 , nos quais verificou-se assim aumento de cerca de 50,1 e 52,37 g planta⁻¹ para cada aumento unitário no número de frutos, enquanto que para o manejo M_2 estimou-se um aumento de 63,03 g planta⁻¹ para cada fruto a mais colhido (Figura 19A).

Não foi possível ajustar equação de regressão linear ou quadrática para a relação entre massa média de frutos e rendimento (Figura 19B), de forma que o aumento no tamanho dos frutos não foi determinante no rendimento, provavelmente em consequência da resposta fisiológica da planta, de tal forma que a planta compensou a redução do tamanho pelo maior pegamento de frutos, mantendo assim o seu rendimento.

Figura 19 - Relação entre número de frutos e rendimento (A) e massa média de frutos e rendimento (B) de pimentão para diferentes manejos de fertirrigação

Esses resultados demonstram que o rendimento do pimentão foi mais dependente do número de frutos do que da massa fresca, estando de acordo com os resultados obtidos por Tavares, Melo e Scivittaro (1999) e Carvalho et al. (1999), os quais observaram, por intermédio de estudos de correlações canônicas, que o número de frutos foi o caráter com efeito mais positivo sobre a produção total de frutos.

Arruda et al. (2011) avaliaram a resposta do pimentão à salinidade da água de irrigação, utilizando rejeito de dessalinizador, e constataram que a redução da produção comercial, com o aumento da salinidade, é promovida pela redução do número de frutos por planta e não pela redução do peso médio dos frutos, estando também de acordo com os resultados obtidos neste trabalho. Esse comportamento tem sido observado para outras culturas de interesse agrônomo, como meloeiro (MEDEIROS; DIAS; BARROS, 2008) e algodão (BATISTA et al. (2010), em que verificou que o menor peso dos frutos foi compensado pelo aumento no número de frutos.

Na Figura 20 é mostrado o efeito dos manejos de fertirrigação e níveis de N e K sobre a classificação física dos frutos. Analisando a classificação dos frutos quanto à qualidade comercial, verificou-se que em todos os tratamentos houve maior predominância de frutos comerciais, com percentual médio de todos os níveis de adubação na ordem de 85,0%.

Considerando cada manejo de fertirrigação, foi observado para o manejo M_1 que a maior percentagem de frutos comerciais ocorreu nos níveis de 200 e 300% NK, com 91 e 89%, respectivamente (Figura 20A).

Figura 20 - Classificação de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido para cada manejo de fertirrigação (M_1 -A e D, M_2 -B e E e M_3 -C e F) e em função de níveis de nitrogênio e potássio

Para os manejos M_2 e M_3 , verificou-se que as maiores porcentagens de frutos comerciais foram observadas nos níveis 50, 100 e 150% de NK, com média de 94 e 92%, e menor porcentagem nos níveis 0 e 200% de NK, com média entre estes de 79%, para M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 20B).

Confrontando estes resultados com outros encontrados na literatura, pôde-se constatar que a quantidade de frutos com padrões comerciais está de acordo com outros trabalhos, que obtiveram a produção de aproximadamente 90% de frutos comerciais (SEDIYAMA et al., 2009; ARAÚJO et al., 2009).

Os frutos que apresentaram padrão comercial foram classificados de acordo com o comprimento. Os frutos produzidos neste trabalho foram classificados nos tipos 6 (6,1-8 cm), 8 (8,1-10 cm), 10 (10,1-12 cm) e 12 (12,1-15 cm), cujos resultados são mostrados nas Figuras 20D, 20E e 20F. Para os três manejos de fertirrigação, houve maior frequência de frutos dos Tipos 8 e 10, apresentando, respectivamente, 44 e 30% para M_1 ; 40 e 35% para M_2 ; e 40 e 34% para M_3 . Verificou-se, ainda, que houve menor frequência de frutos do Tipo 12 para M_1 (4,7%), e Tipo 6 para M_2 (8,9%) e M_3 (11,3%).

Resultados encontrados por outros autores, utilizando diferentes genótipos e condições de cultivo, demonstram que os resultados deste trabalho estão em conformidade com a literatura. Charlo et al. (2011) trabalhando com substrato de fibra de coco, e Araújo et al. (2009) e Melo et al. (2009), trabalhando em solo, obtiveram os maiores frutos do Tipo 8. Charlo et al. (2009) avaliaram o desempenho de cinco híbridos de pimentão (Zarco, CLXP 1463, Línea, Matador e Eppo) cultivados em fibra de coco, e observaram comprimento de frutos variando de 10,6 a 13,6, correspondente aos Tipos 10 e 13.

Analisando o efeito dos níveis de N e K sobre a classificação dos frutos em cada manejo de fertirrigação, verificou-se para o manejo M_1 que o aumento dos níveis de adubação provocou aumento na frequência de frutos do Tipo 6, e reduziu a frequência de frutos dos Tipos 8 e 10 (Figura 20D). Pode-se verificar, ainda, que no maior nível de NK houve maior frequência de frutos Tipo 12 (11%); no entanto, este fato ocorreu em virtude do reduzido número de frutos ocorridos neste nível, o que diminuiu a competição entre os frutos por fotoassimilados.

Estes resultados discordam dos obtidos por Marcussi, Godoy e Villas Bôas (2004) e Araújo et al. (2009), pois estes autores não observaram efeito de doses de

nitrogênio sobre o comprimento dos frutos. No entanto, estão de acordo com Melo et al. (2009), os quais verificaram resposta significativa para o aumento nas doses de potássio, e observaram maiores frutos com a dose de 6,9 g de K por planta.

Para o manejo M_2 , verificou-se que o efeito dos níveis de N e K praticamente em todos os tipos de frutos, sendo observado que as maiores frequências de frutos dos Tipos 6, 8, 10 e 12 ocorreram nos níveis 50, 0, 150 e 300%, com frequências de 18, 68, 50 e 36%, respectivamente. Verificou-se, ainda, que o aumento nas doses de NK favoreceram o aparecimento de frutos Tipo 12 (Figura 20E).

No manejo M_3 , verificou-se que o aumento nas doses de NK provocou aumento na frequência de frutos dos Tipos 6, 10 e 12, mas reduziu a ocorrência de frutos dos Tipos 8. As maiores frequências dos Tipos 6, 8, 10 e 12 ocorreram nos níveis 200, 0, 150 e 300%, com 34, 68, 43 e 20%, respectivamente (Figura 20F).

A partir destes dados pode-se constatar que, no manejo M_1 o aumento dos níveis de N e K favoreceu a ocorrência de frutos comerciais, ao contrário do que ocorreu com os manejos M_2 e M_3 , nos quais o incremento de N e K aumentou a incidência de frutos refugo. Isto significa que, quando as plantas estiveram bem nutridas, a sua contribuição foi maior na produção de frutos com qualidade comercial, confirmando os resultados encontrados por Sedyama et al. (2009).

4.6.2 Qualidade química de frutos

A partir da análise de variância (Tabela 15), verifica-se efeito de interação significativa entre os manejos da fertirrigação (M) e os níveis de NK (N) apenas para as variáveis sólidos solúveis (SS) e teor de vitamina C (Vit C) em nível de 1% de probabilidade, não sendo observado efeito da interação para pH, acidez titulável (AT) e relação SS/AT ($p > 0,05$). Houve efeito isolado do manejo da fertirrigação para SS e AT ($p < 0,01$), porém não significativo para as demais variáveis ($p > 0,05$); o efeito isolado dos níveis de NK apresentou resposta significativa para todas as variáveis estudadas ($p < 0,01$).

Tabela 15 - Resumo da análise da variância e da análise de regressão para potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), teor de vitamina C (Vit C) e relação sólidos/acidez titulável (SS/AT) em frutos de pimentão, cultivados em ambiente protegido, e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis				
	pH	SS	AT	Vit C	SS/AT
----- Valores de F -----					
Manejos (M)	0,34 ^{ns}	10,43**	6,22**	2,02 ^{ns}	1,78 ^{ns}
Níveis (N)	26,38**	15,02**	34,40**	68,78**	14,89**
M x N	1,95 ^{ns}	3,79**	1,85 ^{ns}	4,95**	1,84 ^{ns}
Blocos	1,56	1,91	4,46	0,73	3,43
CV (%)	2,87	4,56	8,92	14,43	10,36

Componentes da Regressão	Valores de F				
M ₁ -Linear	4,46*	11,46**	16,98**	2,87 ^{ns}	4,54*
M ₁ -Quadrática	45,29**	10,36**	49,26**	46,62**	19,70**
M ₂ -Linear	23,17**	5,93*	5,94*	45,12**	2,88 ^{ns}
M ₂ -Quadrática	13,16**	6,32*	37,29**	43,62**	18,29**
M ₃ -Linear	14,19**	14,73**	15,84**	61,12**	3,99 ^{ns}
M ₃ -Quadrática	12,04**	8,95**	48,22**	54,87**	21,51**

**Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – Não significativo

Não houve diferença significativa dos manejos da fertirrigação sobre o pH, AT e SS/AT, sendo obtido entre os manejos de fertirrigação valores médios de 6,14 (pH), 0,33 (AT) e 12,68 (SS/AT), conforme mostrados na Tabela 16.

A presença da interação entre os manejos da fertirrigação e os níveis de N e K para a característica SS evidencia a dependência entre os dois fatores e exige um estudo mais aprofundado pelo desdobramento dos níveis de um fator em função dos níveis de um segundo fator. Por outro lado, a ausência da interação permite que os dois fatores sejam estudados independentemente.

Após o desdobramento dos fatores estudados (manejos de fertirrigação e níveis de N e K), observou-se diferença significativa entre os manejos apenas nos níveis 100, 200 e 300% de NK, sendo os maiores valores obtidos nos manejos M₁ para 100% de NK, M₂ e M₃ para 200% de NK, e M₁ e M₃ para 300% de NK (Tabela 16).

Tabela 16 - Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), teor de vitamina C (Vit C) e relação sólidos/acidez titulável (SS/AT) em frutos de pimentão cultivados em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis				
		pH	SS (%)	AT (% ácido 100 mL ⁻¹ amostra)	Vit C (mg 100 g ⁻¹)	SS/AT
0	M ₁	5,61	3,70 A	0,25	157,3 A	14,71
	M ₂	5,61	3,70 A	0,25	157,3 A	14,71
	M ₃	5,61	3,70 A	0,25	157,3 A	14,71
50	M ₁	6,27	4,10 A	0,32	69,0 B	12,75
	M ₂	6,24	3,87 A	0,28	85,6 AB	14,49
	M ₃	6,22	3,97 A	0,31	99,4 A	13,04
100	M ₁	6,33	4,73 A	0,34	55,2 A	14,05
	M ₂	6,23	3,97 B	0,35	69,0 A	11,55
	M ₃	6,19	4,17 B	0,37	69,0 A	11,31
150	M ₁	6,29	4,17 A	0,40	96,6 A	10,41
	M ₂	6,12	4,07 A	0,37	91,1 A	11,04
	M ₃	6,31	4,00 A	0,36	63,5 B	11,25
200	M ₁	6,40	4,07 B	0,39	107,6 A	10,49
	M ₂	6,41	4,10 A	0,33	69,0 B	12,40
	M ₃	6,10	4,40 A	0,41	80,0 B	10,86
300	M ₁	5,97	4,37 A	0,32	102,1 A	13,69
	M ₂	6,29	3,99 B	0,29	80,0 AB	13,64
	M ₃	6,25	4,13 AB	0,31	74,5 B	13,17
Média	M ₁	6,15 A	4,19	0,34 A	98,0	12,69 A
	M ₂	6,15 A	3,95	0,31 A	92,0	12,97 A
	M ₃	6,11 A	4,06	0,34 A	90,6	12,39 A

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Apesar dos sólidos solúveis não ter grande importância na comercialização do pimentão, ao contrário do que ocorre para o tomate industrial (EMBRAPA, 2006), esse interfere no sabor do pimentão (ROCHA et al., 2006). Assim, pode-se notar que o nível 100% de NK propiciou maior no M₁. Chitarra e Chitarra (2005) argumentam que o equilíbrio nutricional das plantas é importante para a obtenção de frutos de qualidade, e os mesmos enfatizam que o nitrogênio exerce função de síntese de proteína, e o potássio atua no transporte de carboidratos e tem papel importante no tamanho, forma, cor e sabor dos frutos.

Freitas (2009) trabalhou com o mesmo material genético utilizado neste experimento, em campo aberto, e observou valores médios de 4,80 °Brix para SS. Esses valores estão bem próximos aos encontrados no presente trabalho, evidenciando que, sob ambiente protegido, as plantas produzem frutos com características semelhantes à condição de campo.

Desdobrando os níveis de N e K dentro dos manejos, verificou-se para os manejos M₁ e M₃ que os maiores valores foram estimados em 4,4 e 4,2 °Brix, para as concentrações correspondentes a 165 e 213% de NK, resultando em acréscimo percentual de 17,3 e 14,7%, respectivamente, em relação ao tratamento sem NK, no qual se obteve SS de 3,7 °Brix (Figura 21). Para o manejo M₂ o maior valor foi estimado para a concentração NK de 185%, com valor máximo de 3,9 °Brix, e aumento de 9,3% em relação à ausência de NK.

Figura 21 - Sólidos solúveis (A) e Vitamina C (B) na polpa de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Os resultados obtidos neste trabalho estão abaixo dos encontrados por Factor, Araújo e Villela Júnior (2008), que obtiveram SS em torno de 7° Brix. Os valores estão próximo aos encontrados por Charlo et al. (2009) em diferentes híbridos de pimentão (5,8 a 7,4 °Brix).

Apesar de não ser possível distinguir o efeito de cada nutriente (N e K) sobre o SS na polpa dos frutos, o aumento observado pode ser atribuído à participação direta do K na solução do solo pois, segundo a literatura, dificilmente é observado efeito do N sobre essa variável, como os resultados obtidos com a cultura da melancia (ANDRADE JÚNIOR et al., 2006) e meloeiro (QUEIROGA et al., 2011). Silva Júnior et al. (2010b) trabalhando com a cultura do meloeiro sob diferentes níveis de N e K na solução do solo (M₂), obtiveram resposta negativa para o aumento na concentração de N, e positiva para o K.

Desta forma, o aumento de SS em resposta ao aumento nas doses de NK pode ser atribuído ao efeito indireto do N, em virtude de este favorecer o maior desenvolvimento foliar, e, conseqüentemente, maior atividade fotossintética das plantas, pois de acordo com a literatura, o N é o nutriente que mais afeta o crescimento da área foliar e a taxa e fotossíntese das culturas (PONS; WESTBEEK, 2004).

Sabe-se que o teor de SS é afetado pelo teor de água nos frutos, de tal forma que, quanto menor o teor de água, maior a concentração de sólidos solúveis; assim, com o aumento da concentração de nutrientes na solução do solo ocorreu redução do potencial osmótico da solução, o que dificulta a absorção de água pelas plantas. Os frutos são as partes das plantas que apresentam maior teor de água, é neles que ocorre a maior redução da umidade, o que aumenta a concentração de solutos.

Da mesma forma, verificou-se diferença significativa no teor de Vitamina C entre os manejos de fertirrigação nas dosagens de 50, 150, 200 e 300% de NK. Para a dose 50% de NK, o maior valor ocorreu no manejo M₃ e o menor para o manejo M₁. O M₂ não diferiu entre os demais manejos de irrigação. O manejo M₃ apresentou os menores valores nas dosagens 150, 200 e 300% de NK, apesar deste manejo não diferir estatisticamente do manejo M₂ nas duas últimas dosagens (Tabela 16). Apesar disto, a concentração de Vitamina C ainda permaneceu em quantidades satisfatórias. Freitas (2009) verificou em plantio de pimentão, utilizando diferentes espaçamentos, que não houve efeito dos tratamentos sobre a característica Vitamina C, que apresentaram teores entre 33,14 e 36,40 mg 100g⁻¹.

Concernente a Vitamina C, verificou-se resposta significativa dos níveis de NK nessa característica; no entanto, a resposta foi variada de acordo com o tipo de manejo adotado, sendo os dados ajustados a equações quadráticas para os

manejos M_2 e M_3 , onde os maiores valores foram obtidos sem aplicação de NK (141,3 e 147 mg $100g^{-1}$, respectivamente), sendo os menores valores obtidos nos níveis 203 e 198% de NK correspondentes a recomendação para a cultura no sistema NFT, com 141,3 e 147,0 mg $100g^{-1}$. Para o manejo M_1 não houve ajuste significativo para os modelos testados (linear e quadrático), obtendo-se valor médio de 98 mg $100g^{-1}$ (Figura 21B).

Com efeito, tendo em vista os resultados observados no presente trabalho, não era esperado que, independente do manejo, os níveis de N e K afetassem a síntese de Vitamina C. Por outro lado, sabe-se que a biossíntese de ácido ascórbico nos vegetais é um processo ainda não completamente entendido; esta tem como supostos precursores a manose e a galactose (KOBLITZ et al., 2010).

Não se observou efeito do manejo sobre o pH dos frutos de pimentão (Tabela 16). De semelhante maneira, Eloi et al. (2011) e Medeiros (2010) não verificaram diferenças no pH da polpa dos frutos quando a cultura do tomateiro cultivada em casa de vegetação, utilizando os mesmos manejos de fertirrigação (M_1 e M_3) utilizados no presente trabalho. Este fato também foi verificado por Medeiros et al. (2010) para o cultura do pepino.

Como não houve interação significativa entre os fatores estudados para o pH; foi ajustada apenas uma equação de regressão para os três sistemas de manejos de fertirrigação, sendo os dados médios ajustados ao modelo polinomial de segundo grau. O maior valor de pH foi estimado para o nível 183% de NK, obtendo pH de 6,3, independente do manejo de fertirrigação, correspondente ao incremento percentual de 10,5% em relação ao tratamento sem aplicação de N e K (0%) (Figura 22A), no qual foi verificado o menor pH, de 5,7.

Figura 22 - Potencial hidrogeniônico (A), acidez titulável (B) e relação SS/AT (C) na polpa de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Factor, Araújo e Villela Júnior (2008), trabalhando com o híbrido 'Margarita' sob diferentes soluções nutritivas, não verificaram diferença significativa das soluções sobre o pH da polpa do pimentão. Macêdo e Alvarenga (2005), estudando fertirrigação potássica na cultura do tomate, não obtiveram resposta para as diferentes doses de K, diferindo assim dos resultados obtidos no presente trabalho; no entanto, pode-se observar ainda na Figura 22, que praticamente não houve diferença nos tratamentos que receberam adubação potássica. Rubio et al. (2010) também obtiveram pequena variação no pH na polpa do pimentão fertilizado com diferentes doses de K.

Verificou-se que os frutos de plantas sem NK apresentaram menor acidez titulável (Tabela 16). Já os maiores valores foram detectados nas dosagens 100, 150 e 200% de NK. Este resultado indica que a síntese de ácidos orgânicos na polpa de

pimentão é afetada, de certa maneira, sob baixa (0 e 50% de NK) e elevada dosagem de NK (300%). Para a cultura do meloeiro, Fogaça et al. (2007) verificaram resposta para AT, obtendo comportamento semelhante ao obtido neste trabalho, apresentando inicialmente resposta positiva e reduzindo nas maiores concentrações de N na solução nutritiva.

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), na maioria dos frutos, a acidez titulável representa um dos principais componentes do *flavor*, pois sua aceitação depende do balanço entre ácidos e açúcares.

Para acidez titulável (AT) foi ajustada uma equação de regressão quadrática para os três manejos de fertirrigação estudados, a partir da qual foi estimada o maior valor de AT para concentração NK de 171% (0,35), sendo obtido aumento percentual de 66,6% em comparação com os frutos colhidos nas plantas que não receberam adubação com N e K, nas quais obteve 0,24 (Figura 22B). Tavares (2005), trabalhando com a cultura do pimentão em casa de vegetação, mas utilizando substrato de fibra de coco, não obteve resposta do pimentão sobre doses de N e K para pH, SS e AT. No entanto, Medeiros et al. (2010), trabalhando com a cultura do pepino, encontraram resposta linear crescente na AT em resposta ao aumento da concentração de sais no solo. Macêdo e Alvarenga (2005) observaram aumento na AT em resposta a doses de potássio em frutos de tomate.

Para relação SS/AT, verificou-se comportamento quadrático para os três manejos de fertirrigação. A maior relação SS/AT ocorreu no tratamento sem aplicação de NK (14,96) e decresceu com o aumento de NK na solução até a concentração de 179% de NK, no qual se obteve SS/AT de 14,9, resultando assim em decréscimo de 51,4% (Figura 22C). Esse comportamento se deve ao fato do aumento na aplicação de NK ter aumento de forma similar para SS e para AT.

Ao contrário da laranja (SS/AT=11) e tomate (SS/AT=10), nos quais existem padrões de qualidade estabelecidos para o balanço entre o teor de sólidos solúveis e ácido cítrico (SS/AT), no pimentão não há; entretanto, sabe-se que esse é um importante parâmetro para medir a percepção de sabor pelo consumidor. Segundo Grierson & Kader (1986), quanto maior o teor de açúcares e de ácidos, melhor o sabor do fruto.

A menor relação SS/AT verificada para o manejo M₁ no nível 179% NK foi superior ao detectado por Rocha et al. (2006) que observaram maior relação de

SS/AT (7,39) para o híbrido de pimentão 'Magali R'. Já Wuzhong (2002) observou redução na relação SS/AT em frutos de tomate com o aumento nas doses de K.

Vários estudos relatam o efeito positivo da adubação potássica sobre parâmetros de qualidades dos frutos. Em frutos de tomateiro, o potássio aumentou o conteúdo de vitamina C, acidez total e açúcares dos frutos (FONTES et al., 2000; EL-BASSIONY et al., 2010). Wuzhong (2002) verificou aumento para SS, AT e Vitamina C em função do incremento nas doses de K; no entanto, esses autores observaram tendência de redução em doses acima de 225 kg ha⁻¹. Para frutos de tomate cultivado, Macêdo e Alvarenga (2005) observaram aumento para SS, AT e pH em função do aumento nas doses potássio.

Apesar dos consumidores de pimentão darem maior importância a qualidade física de frutos, em detrimento da qualidade nutricional (FRANK et al., 2001; ONOYAMA et al., 2010), estudos precisam ser desenvolvidos para se adequar essas duas características. Os resultados obtidos neste trabalho, e em concordância com os encontrados por outros autores (MEDEIROS et al., 2010) demonstram que para se obter frutos com qualidades físicas e químicas é de fundamental importância a escolha do manejo e a adequação nas doses de nutrientes a serem aplicados via fertirrigação.

4.7 Atributos químicos do solo

4.7.1 Cálcio, magnésio, sódio e potássio

Na Tabela 17 encontra-se o resumo da análise de variância para teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) do solo após um ciclo da cultura do pimentão. A análise de variância mostrou que houve efeito significativo da interação entre os fatores manejos de fertirrigação (M) e níveis de N e K para Ca, Mg, Na e K ($p < 0,1$). Para interação dos manejos de fertirrigação (M) e profundidade (Prof) do solo houve resposta significativa apenas para teor de Mg ($p < 0,05$), não havendo efeito significativo para as demais variáveis ($p > 0,05$).

Tabela 17 - Resumo da análise de variância para teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) no solo cultivado com pimentão, sob manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio

Fontes de Variação	Variáveis			
	Ca	Mg	Na	K
	----- valores de 'F' -----			
Manejo (M)	26,79**	25,39**	4,56*	28,93**
Níveis (Nív)	4,27**	2,33*	4,26**	45,74**
Profundidade (Prof)	5,67*	2,79 ^{ns}	7,66**	12,10**
M x Nív	3,04**	3,08**	3,29**	2,85**
M x Prof	0,20 ^{ns}	3,97*	2,56 ^{ns}	1,73 ^{ns}
Nív x Prof	0,33 ^{ns}	0,55 ^{ns}	2,52*	0,54 ^{ns}
M x Nív x Prof	1,26 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,85 ^{ns}
Blocos	2,53 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,98 ^{ns}	2,64 ^{ns}
Teste de comparação de média – Manejos de fertirrigação				
M ₁	1,72 b	1,30 a	0,43 b	0,15 b
M ₂	2,06 a	1,20 a	0,46 ab	0,22 a
M ₃	1,81 b	0,93 b	0,49 a	0,15 b
Média	1,86	1,14	0,46	0,17
CV	12,87	23,11	23,89	28,82
Componentes da Regressão				
	----- valores de 'F' -----			
M ₁ -Linear	14,64**	1,12 ^{ns}	12,65**	45,49**
M ₁ -Quadrática	0,36 ^{ns}	0,48*	0,01 ^{ns}	2,49 ^{ns}
M ₂ -Linear	0,92 ^{ns}	5,46 ^{ns}	1,30 ^{ns}	68,82**
M ₂ -Quadrática	1,68 ^{ns}	1,63 ^{ns}	4,22*	52,04**
M ₃ -Linear	3,67*	1,24 ^{ns}	0,56 ^{ns}	26,82**
M ₃ -Quadrática	1,83 ^{ns}	0,95 ^{ns}	2,36 ^{ns}	14,40**
Teste de comparação de média - Profundidades				
0-0,10 m	1,91 a	1,18 a	0,49 a	0,19 a
0,10-0,20 m	1,81 b	1,11 a	0,43 b	0,16 b
Média	1,86	1,14	0,46	0,17
Componentes da Regressão				
	----- valores de 'F' -----			
0-0,10 m-Linear	6,66*	0,53 ^{ns}	5,84*	73,12**
0-0,10 m-Quadrática	0,01 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,29 ^{ns}	26,09**
0,10-0,20 m-Linear	1,75 ^{ns}	3,99*	0,65 ^{ns}	63,32**
0,10-0,20 m-Quadrática	0,13 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,37 ^{ns}	26,73**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para as interações Nív x Prof houve resposta significativa apenas para o teor de Na. Já para a interação M x Nív x Prof não foram observadas efeitos significativos para nenhuma das variáveis ($p > 0,05$).

Considerando o efeito de cada fator isoladamente, verificou-se resposta significativa do manejo de fertirrigação para todas as variáveis ($p < 0,01$), enquanto que para os níveis de N e K ocorreram respostas significativas ($p < 0,01$) para teores de Ca, Na e K, e em nível de 5% para teor de Mg. Quanto as profundidades de coleta de solo, foram verificadas diferenças significativas para Na e K ($p < 0,01$) e Ca ($p < 0,05$), não ocorrendo diferença significativa para o Mg (Tabela 17).

Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação sobre os teores de Ca, Mg, Na e K no solo, verificou-se que os maiores teores de Ca ocorreram no manejo M₂, enquanto os demais manejos não apresentaram diferença entre si estatisticamente, com média de $1,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 17).

Fazendo-se o desdobramento entre os fatores M x Nív, foram observadas diferenças significativas para os níveis 100, 200 e 300% de NK, sendo que o manejo M₂ foi superior aos demais no nível 100% de NK; o manejo M₃ foi superior aos manejos M₁ e M₂ no nível 200% de NK; os manejos M₂ e M₂ foram maiores no nível 300% de NK (Tabela 18).

Com relação ao efeito das profundidades de coleta, verificou-se os maiores teores de Ca na camada mais superficial (10 cm), com $1,91 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo superior em aproximadamente 5,6% (Tabela 18); este fato ocorreu, provavelmente, devido à baixa mobilidade do Ca no solo. Tirloni et al. (2011) avaliaram a movimentação de cátions no solo em reposta a adição de calcário, e verificaram que os maiores teores de Ca estavam na camada superficial.

Tabela 18 - Valores médios do desdobramento entre os fatores manejo de fertirrigação e níveis de N e K para os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) no solo, cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	Ca	Mg	Na	K
0	M ₁	1,94 A	1,15 A	0,49 A	0,09 A
	M ₂	1,97 A	1,20 A	0,49 A	0,09 A
	M ₃	1,97 A	1,20 A	0,49 A	0,09 A
50	M ₁	1,72 A	1,38 A	0,55 A	0,10 AB
	M ₂	1,95 A	1,45 A	0,42 B	0,14 A
	M ₃	1,78 A	0,90 B	0,58 A	0,08 B
100	M ₁	1,74 B	1,27 A	0,36 A	0,12 B
	M ₂	2,30 A	1,18 A	0,46 A	0,14 B
	M ₃	1,95 B	0,72 B	0,39 A	0,21 A
150	M ₁	1,82 A	1,42 A	0,42 A	0,18 B
	M ₂	1,86 A	1,28 A	0,54 A	0,16 B
	M ₃	1,63 A	0,97 B	0,43 A	0,31 A
200	M ₁	1,65 B	1,19 A	0,43 B	0,23 B
	M ₂	1,75 B	1,05 A	0,50 AB	0,33 A
	M ₃	2,25 A	1,09 A	0,56 A	0,26 B
300	M ₁	1,45 B	1,40 A	0,33 B	0,21 AB
	M ₂	2,05 A	1,05 B	0,37 B	0,24 A
	M ₃	1,76 A	0,71 C	0,54 A	0,16 B
Média	M ₁	1,72	1,30	0,43	0,16
	M ₂	1,98	1,20	0,46	0,18
	M ₃	1,89	0,93	0,50	0,19

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si, entre manejos em cada nível, estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade

M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Avaliando o efeito dos níveis de N e K e dos manejos de fertirrigação sobre o teor de cálcio no solo, verificou-se efeito significativo apenas nos manejos M₁ e M₂, ajustando-se equações linear e quadrática, respectivamente. Para o manejo M₂, o maior valor foi estimado na concentração de 150% de NK (2,61 cmol_c dm⁻³), enquanto que no manejo M₁ houve redução no teor de Ca em resposta ao aumento da dosagem de NK. Obteve-se, na dosagem de 300% de NK, o teor de 1,59 cmol_c dm⁻³, correspondendo a uma redução total de 15,8%. No manejo M₃ não houve diferença no teor de Ca, obtendo-se em todas as doses o valor médio de 1,81 cmol_c dm⁻³ (Figura 23A).

A redução no teor de Ca no solo em resposta ao aumento nas doses de K pode ter sido influenciada pelo aumento da força iônica provocado pela adição de

K^+ , o qual, desloca, pela ação das massas íons adsorvidos, mesmo sendo íons de maior valência (MEURER et al., 2000), estando assim, de acordo com Paglia et al. (2007), que verifica avaliando o efeito de doses de potássio sobre as características iônicas de um material de acondicionado em colunas de solo, verificaram correlação linear entre o aumento nas doses de K e na concentração de Ca na solução lixiviada.

Figura 23 - Teores de cálcio solo cultivado com pimentão, submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)

Com relação ao efeito dos níveis de adubação nas profundidades de coleta de solo, verificou-se resposta significativa apenas na camada 0-0,1 m, na qual foi ajustada equação linear decrescente, com maior e menor teor de Ca estimados para os níveis 0 e 300% de NK, com 1,98 e 1,83 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. Na profundidade 0,1-0,2 m não foi observada resposta significativa, não sendo os dados ajustados a nenhuma das equações estudadas neste trabalho, e obtendo-se teor de Ca médio de 1,82 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 23B).

Estes resultados divergem dos obtidos por Peixoto, Guerra e Chaves (2006), que trabalhando com diferentes doses de N e K na cultura do coqueiro anão, não observaram diferença significativa nos teores de Ca no solo em função das adubações, ocorrendo os maiores valores nas camadas mais superficiais.

Para os teores de magnésio no solo, verificou-se, ao final do experimento, que os maiores valores foram observados nos manejos M_1 e M_2 , que não diferiram entre si estatisticamente, nos quais se obteve teor médio $1,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto os menores teores foram observados no manejo M_3 . Não foram observadas diferenças significativas para as profundidades de coleta, obtendo-se valor médio de $1,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Tais resultados podem ser explicados, assim como o teor de cálcio, pela baixa mobilidade do Mg no solo (Tabela 17).

Tabela 19 - Valores médios obtidos após o desdobramento entre os fatores manejos de fertirrigação e profundidade de coleta do solo, do pimentão cultivado em ambiente protegido

Manejos de Fertirrigação	----- Profundidades (m) -----		Média
	0,0-0,10	0,10-0,20	
Ca (cmol _c dm ⁻³)			
M ₁	1,77	1,67	1,72 b
M ₂	2,13	2,00	2,07 a
M ₃	1,84	1,78	1,81 b
Média	1,91 A*	1,82 A	
Mg (cmol _c dm ⁻³)			
M ₁	1,26 Aa	1,34 Aa	1,30
M ₂	1,24 Aa	1,16 Aa	1,20
M ₃	1,04 Ab	0,82 Bb	0,93
Média	1,18	1,11	
Na (cmol _c dm ⁻³)			
M ₁	0,46	0,40	0,43 a
M ₂	0,51	0,42	0,47 ab
M ₃	0,49	0,50	0,50 a
Média	0,49 A	0,44 B	
K (cmol _c dm ⁻³)			
M1	0,17	0,13	0,15 b
M2	0,24	0,20	0,22 a
M3	0,15	0,15	0,15 b
Média	0,19 A	0,16 B	

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas, e minúsculas nas colunas, não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

M_1 – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M_2 – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M_3 – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Após realizar o desdobramento entre os fatores M x N, verificou-se que houve diferença significativa para os níveis 50, 100, 150 e 300% de NK, e que os menores teores de Ca ocorreram sempre no manejo M_3 (Tabela 18). Quanto ao desdobramento entre os fatores M x P, verificou-se que, para ambas as profundidade de coleta de solo (0,0-0,10 e 0,10-0,20 m), os menores teores de Mg

foram obtidos no manejo M_3 . Já quanto ao efeito das profundidades, houve diferença significativa apenas no manejo M_3 ; os maiores teores de Mg foram observados na camada mais superficial (0,0-0,10 m) (Tabela 19).

O teor de magnésio no solo foi influenciado pelas doses de N e K; no entanto, o efeito foi variável em função do tipo de manejo de fertirrigação adotado. Para os manejo M_1 , não foi observado diferença significativa, obtendo-se teor médio de $1,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No entanto, para os manejo M_2 e M_3 , foram obtidas respostas significativas e negativas, de forma que os dados foram ajustados a equação linear decrescente, com menores teores de Mg nos maiores níveis de N e K, para ambos os manejo, sendo estimados para estes manejo os teores mínimos de 1,06 e $0,77 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 24A). Paglia et al. (2007) observaram que o aumento nas doses de K provocou aumento na lixiviação de Mg, e, conseqüentemente, redução no teor de Mg no solo.

Figura 24 - Teores de magnésio do solo cultivado com pimentão, submetido a manejo de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)

Para o teor de Mg nas diferentes profundidades de coleta de solo, foi verificada resposta significativa apenas na camada 0,1-0,2 m, na qual os dados obtidos foram ajustados à uma equação linear e decrescente, com menor teor de Mg

estimado para o nível 300% de NK ($0,98 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Não houve efeito dos níveis de N e K nos teores de Mg na camada 0-0,1 m, sendo observado o teor médio de $1,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 24B).

As maiores concentrações de sódio (Na) no solo ocorreram nos manejos M_2 e M_3 , que não diferiram entre si estatisticamente, e apresentaram valor médio de $0,48 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto o menor valor ocorreu no manejo M_1 , apesar deste não diferir estatisticamente do teor médio encontrado no manejo M_2 . Com relação às profundidades de coleta, verificou-se maior concentração de sódio na profundidade de 0,10 m, sendo maior em cerca de 13,9% em relação à concentração média de Na obtida na profundidade de 0,20 m (Tabela 17).

Fazendo-se o desdobramento dos fatores M x N, foi observada diferença significativa entre os manejos de fertirrigação nos níveis 50, 200 e 300% de NK. Para o nível 50% de NK, os maiores teores de Na ocorreram nos manejos M_1 e M_2 , que não diferiram entre si estatisticamente. No nível 200%, os manejos M_2 e M_3 não diferiram e foram superiores ao M_1 , enquanto no nível 300% o M_3 proporcionou os maiores teores de Na (Tabela 18).

Avaliando o teor de Na no solo em função das doses de N e K, verificou-se que o efeito das doses variou em função do tipo de manejo de fertirrigação utilizado. Para o manejo M_1 , verificou-se resposta linear e decrescente, de forma que o teor de Na no solo foi reduzido em resposta ao aumento nas doses de N e K, obtendo na dose de 300% de NK o teor médio de $0,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, correspondente ao decréscimo de 31,6% em comparação com a dose 0% de NK, na qual obteve $0,48 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já no manejo M_2 ocorreu resposta quadrática, sendo inicialmente observado acréscimo no teor de Na no solo com o aumento nas doses de N e K, obtendo o máximo teor de Na no nível 100% de NK, com $0,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e decrescendo a partir deste nível. No manejo M_3 não foi possível ajustar nenhuma das equações de regressão testadas (linear e quadrática), apesar de se ter observado diferença significativa na análise de variância (Figura 25A).

Figura 25 - Teores de sódio do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)

Com relação ao efeito da adubação sobre os teores de Na no solo, verificou-se resposta significativa apenas na camada mais superficial, com os dados ajustando-se a equação linear, e menores valores ocorridos no maior nível de N e K (300% de NK), com teor $0,44 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 25B). O aumento nos teores de Na no solo é um ponto de grande importância para as áreas irrigadas, tendo em vista que existe relação direta entre a concentração de Na e a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (BRITO et al., 2005). Além disso, o excesso do sódio no solo pode acarretar problemas de infiltração de água devido a dispersão das argilas quando há alterações na relação do Na^+ com outros cátions, principalmente o Ca^{2+} e o Mg^{2+} .

Com relação aos teores de potássio no solo ao final do ciclo do pimentão, foi observado que houve efeito significativo dos manejos de fertirrigação sobre os teores de potássio no solo, com maiores valores sendo obtidos no manejo de fertirrigação baseado no monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo (M_2), com teor médio de $0,22 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$, enquanto os menores valores ocorreram nos manejos M_1 e M_2 , que não diferiram entre si estatisticamente. Tal comportamento pode ser atribuído ao fato do manejo M_2 possibilitar o controle

desse nutriente especificamente, o que não acontece com o manejo M_3 , no qual a fertirrigação era realizada com base na condutividade elétrica da solução do solo (Tabela 17).

Com relação à profundidade de coleta, os maiores teores de potássio foram observados na camada de solo mais superficial (0,10 m), sendo este valor superior em cerca de 18,8% em relação aos teores de K encontrados na profundidade de 0,20 m (Tabela 17). Esses resultados são semelhantes, em parte, aos obtidos por Miranda et al. (2005), que avaliando o deslocamento de potássio em colunas verticais em amostras de solo não saturado, verificaram que há tendência de ocorrerem maiores concentrações de potássio nas camadas superiores, em torno de 14 cm. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato do potássio apresentar baixas taxas de redistribuição no solo, em consequência da adsorção do íon pela matriz do solo.

Trabalhando com colunas de solo, Ernani et al. (2007) verificaram que a aplicação de KCl na superfície do solo promoveu a descida de K para profundidades superiores a 0,10 m; no entanto, esses autores verificaram pequena taxa de lixiviação deste íon, e as maiores concentrações de K ocorreram nas camadas mais superficiais. Rivera et al. (2006) também constataram que a distribuição de potássio ficou limitada às camadas mais superficiais, sendo o deslocamento do K retardado pela adsorção da matriz do solo.

Para condições de campo, Salomão (2009) verificou que os maiores valores de potássio foram registrados na faixa de 0,05 a 0,15 m na horizontal e de 0,15 a 0,35 m em profundidade. Segundo esse autor, as maiores concentrações de K coincidiram com os locais de maiores valores de umidade, evidenciando que o caminhamento deste íon se processa principalmente por fluxo de massa. Porém, salienta-se que, para o cultivo em vasos, como no presente trabalho, o material de solo apresenta fluxo de água semelhante ao ocorrido com o solo acondicionado em colunas, o que justifica a divergência dos resultados obtidos neste trabalho com os encontrados por Salomão (2009).

Fazendo-se o desdobramento entre os fatores M x N, ocorreram diferenças significativas entre os manejos de fertirrigação praticamente em todos os níveis de N e K. Nos níveis 50 e 300% de NK os maiores teores de K ocorreram nos manejos M_1 e M_2 , e nos níveis 100 e 150% de NK o manejo M_3 apresentou valores superiores

aos demais manejos; no entanto, no nível 200% de NK os maiores teores de K foram obtidos no manejo M₂ (Tabela 18).

Analisando o efeito dos níveis de N e K sobre o acúmulo de K no solo, foi constatado que, independente do manejo de fertirrigação adotado, o teor de potássio no solo foi afetado significativamente pelas dosagens de N e K; no entanto, verificou-se comportamento variado de acordo com cada manejo. Para o manejo M₁ foi observada resposta positiva e linear em resposta com a aplicação de N e K, de forma que o máximo teor de K ocorreu no maior nível de adubação (300%), na qual obteve-se 0,24 cmol_c dm⁻³. Para os manejos M₂ e M₃, inicialmente obteve aumento no teor de K no solo até determinado nível, apresentando decréscimo a partir deste, de forma que os dados foram ajustados a equações quadráticas. Os maiores teores de K no solo foram estimados para as concentração de 200% de NK para o manejo M₂ e de 170% de NK para o manejo M₃, com 0,31 e 0,20 cmol_c dm⁻³, respectivamente (Figura 26A).

Figura 26 - Teores de potássio no solo cultivado com pimentão submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)

Quanto ao efeito na adubação nas camadas de solo, foi ajustada apenas uma equação de regressão para as duas profundidades; os dados foram ajustados a uma equação de regressão quadrática, com maiores teores de K estimados para o nível

216% NK ($0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), correspondente ao incremento de aproximadamente 176%, quando se compara com o teor de K obtido na ausência de N e K (Figura 26B).

O aumento no teor de K em decorrência do incremento dos níveis de adubação já era esperado, tendo em vista que com o aumento nas doses de K houve maior disponibilidade deste nutriente para as plantas, além da necessidade da cultura, resultando em acúmulo do mesmo no solo. Resultados semelhantes já haviam sido observados por outros autores e diversas condições de cultivo e culturas (PEIXOTO; GUERRA; CHAVES, 2006; WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008; SILVA et al., 2001).

4.7.2 Condutividade elétrica do extrato de saturação, potencial hidrogeniônico, percentagem de sódio trocável e razão de adsorção de sódio

Na Tabela 20 é mostrado o resumo da análise de variância para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS), no solo cultivado com pimentão, sob manejos de fertirrigação e níveis de N e K. Houve interação significativa entre os fatores Manejos x níveis de N e K para todas as variáveis analisadas ($p < 0,01$). Para a interação M x Prof foi observada resposta significativa para PST ($p < 0,01$) e RAS ($p < 0,05$), não havendo efeito significativo para CE_{es} e pH ($p > 0,05$). A interação Nív x Prof foi significativa para CE_{es} ($p < 0,01$), PST e RAS ($p < 0,05$), enquanto para o pH não houve efeito significativo. Quanto à interação tripla (M x Nív x Prof), não apresentou resposta significativa para nenhuma das variáveis estudadas (Tabela 20).

Quanto ao efeito dos fatores isolados, verificou-se resposta significativa dos manejos de fertirrigação para pH, PST e RAS ($p < 0,01$), não havendo resposta significativa para CE_{es} ($p > 0,05$). Os níveis de N e K afetaram todas as variáveis, sendo significativo ao nível de 1% para CE_{es} , pH e RAS, enquanto que para PST a significância foi ao nível de 5%. Já com relação ao efeito das profundidades de coleta de solo, foi observada resposta significativa apenas para CE_{es} ($p < 0,01$) (Tabela 20).

Tabela 20 - Resumo da análise de variância para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão sob diferentes manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio

Fontes de Variação	Variáveis			
	CEes	pH	PST	RAS
	----- valores de 'F' -----			
Manejo (M)	0,6 ^{ns}	38,79**	16,09**	10,41**
Níveis (Nív)	44,07**	10,78**	3,12*	3,33**
Profundidade (Prof)	96,44**	2,22 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,41 ^{ns}
M x Nív	4,26**	8,99**	3,14**	3,37**
M x Prof	1,89 ^{ns}	0,06 ^{ns}	5,25**	4,47*
Nív x Prof	3,25**	1,02 ^{ns}	2,46*	2,49*
M x Nív x Prof	0,92 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Blocos	0,89 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,83 ^{ns}	1,46 ^{ns}
CV	14,23	2,09	24,72	25,77
Componentes da Regressão	----- valores de 'F' -----			
M ₁ -Linear	52,91**	48,68**	10,08**	9,74**
M ₁ -Quadrática	10,39**	10,42**	0,65 ^{ns}	0,17 ^{ns}
M ₂ -Linear	32,97**	12,25**	1,71 ^{ns}	1,00 ^{ns}
M ₂ -Quadrática	51,18*	17,72**	0,16 ^{ns}	1,82 ^{ns}
M ₃ -Linear	50,78**	6,02*	2,32 ^{ns}	2,61 ^{ns}
M ₃ -Quadrática	8,12**	16,08**	2,58 ^{ns}	2,45 ^{ns}
0-0,10m-Linear	87,28**	0,21 ^{ns}	3,08 ^{ns}	3,16 ^{ns}
0-0,10m-Quadrática	51,91**	30,22**	0,61 ^{ns}	1,51 ^{ns}
0,10-0,20m-Linear	50,46**	1,68 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,07 ^{ns}
0,10-0,20m-Quadrática	12,93**	14,82**	5,89**	3,02 ^{ns}

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

A CE_{es} não foi afetada pelos manejos da fertirrigação, obtendo-se entre os manejos M₁, M₂ e M₃ a CE_{es} média de 2,44 dS m⁻¹. Para as profundidades de coleta de solo, verificou-se que o maior valor de CE_{es} ocorreu na profundidade de 0,10 m (2,76 dS m⁻¹), ficando maior em cerca de 30,8% em comparação com o valores médios obtidos na profundidade de 0,20 m, na qual obteve-se CE_{es} média de 2,11 dS m⁻¹ (Tabela 22).

A maior salinidade na camada superficial pode relacionada à maior evapotranspiração nesta camada, aliada ao fato dos fertilizantes terem sido aplicados na superfície com a água de irrigação. Porto Filho et al. (2011), que trabalhando com a cultura do meloeiro em condições de campo e irrigação com águas salinas, constataram aumento da CE_{es} de acordo com o aumento da salinidade da água; verificaram, também, que houve maior acúmulo de sais na camada superficial.

Tabela 21 - Valores médios do desdobramento entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de absorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão sob manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	CE_{es} (dS m ⁻¹)	pH	PST (%)	RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5}
0	M ₁	1,76 A	7,43 A	13,89 A	0,40 A
	M ₂	1,76 A	7,43 A	13,89 A	0,40 A
	M ₃	1,76 A	7,43 A	13,89 A	0,40 A
50	M ₁	2,25 AB	7,74 A	14,92 A	0,45 A
	M ₂	2,01 B	7,48 B	10,15 B	0,31 B
	M ₃	2,45 A	7,78 A	17,57 A	0,51 A
100	M ₁	2,12 B	7,55 A	9,81 A	0,29 A
	M ₂	2,66 A	7,73 A	11,34 A	0,36 A
	M ₃	2,22 B	7,71 A	12,06 A	0,34 A
150	M ₁	2,44 B	7,41 A	10,95 A	0,33 A
	M ₂	3,14 A	7,83 A	13,39 A	0,43 A
	M ₃	2,46 B	7,75 A	13,81 A	0,39 A
200	M ₁	3,30 A	7,31 B	11,84 B	0,36 B
	M ₂	2,96 A	7,69 A	12,16 AB	0,39 AB
	M ₃	3,22 A	7,82 A	13,70 A	0,48 A
300	M ₁	2,70 A	7,09 B	9,52 B	0,27 B
	M ₂	2,48 A	7,66 A	10,12 B	0,30 B
	M ₃	2,83 A	7,67 A	17,13 A	0,49 A
Média	M ₁	2,36	7,42	11,82	0,35
	M ₂	2,53	7,64	11,84	0,37
	M ₃	2,42	7,69	14,69	0,44

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas, e minúsculas nas colunas, não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Fazendo-se o desdobramento da interação entre os fatores M x N, verificou-se que o manejo M₂ foi superior aos demais manejos nos níveis 100 e 150%; no entanto, o manejo M₂ foi inferior aos demais no nível 50%. Para dos demais níveis não foram observadas diferenças significativas entre os manejos de fertirrigação (Tabela 21).

Quanto ao desdobramento entre os fatores N x P, verificou-se que, com exceção do nível zero (0% NK), em todos os demais níveis ocorreram diferenças significativas entre as profundidades de coleta, e em todos esses níveis os maiores valores ocorreram sempre na camada mais superficial (Tabela 22).

Tabela 22 - Valores médios do desdobramento entre os fatores níveis de NK e profundidades de coleta de solo para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão sob manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Profundidade (m)	CEes (dS m ⁻¹)	pH	PST (%)	RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5}
0	0-0,1	1,89 A	7,38	12,57 B	0,38 A
	0,1-0,2	1,63 A	7,47	15,21 A	0,43 A
50	0-0,1	2,56 A	7,70	15,73 A	0,49 A
	0,1-0,2	1,92 B	7,63	12,79 B	0,36 B
100	0-0,1	2,52 A	7,70	11,36 A	0,34 A
	0,1-0,2	2,15 B	7,62	10,76 A	0,31 A
150	0-0,1	3,05 A	7,70	13,14 A	0,41 A
	0,1-0,2	2,30 B	7,63	12,30 A	0,36 A
200	0-0,1	3,64 A	7,63	13,09 A	0,42 A
	0,1-0,2	2,68 B	7,59	13,37 A	0,40 A
300	0-0,1	2,91 A	7,51	11,31 A	0,33 A
	0,1-0,2	2,44 B	7,44	13,21 A	0,38 A
Média	0-0,1	2,76	7,60 A	12,87	0,40
	0,1-0,2	2,19	7,56 A	12,94	0,37

* Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas, não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Gurgel et al. (2003) avaliaram a evolução da salinidade de um solo cultivado com meloeiro em dois ciclos consecutivos, utilizando águas salinas em diferentes lâminas de irrigação, e verificaram que a salinidade do solo progrediu para as camadas mais profundas, embora a concentração de sais no solo fosse sempre

superior nas camadas superficiais. Vale salientar que esta pesquisa foi desenvolvida em campo; os autores utilizaram, em alguns casos, lâminas de irrigação maiores que a evapotranspiração da cultura, o que pode ter ocasionado lixiviação de parte dos sais presentes no solo para as camadas mais profundas.

O excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas (DIAS et al., 2005; SOARES et al., 2007), além de trazer problemas, como o desequilíbrio nutricional e a toxicidade de íons específicos, dentre estes o Na, sobre a fisiologia vegetal (FERREIRA NETO et al., 2007), a ponto de afetar os rendimentos e a qualidade de sua produção.

Na Tabela 23 é mostrado o resultado da interação entre os fatores Manejos de fertirrigação e Profundidade de coleta de solo para CE_{es} , pH, PST e RAS. Para CE_{es} , houve efeito apenas para profundidade de coleta, com maior CE_{es} na camada 0,10-0,20 m; não havendo diferença entre os manejos. O pH do solo foi afetado apenas pelos manejos de fertirrigação, onde o manejo M_1 proporcionou valor médio superior aos demais manejos, que não diferiram entre si (Tabela 23).

Realizou-se o desdobramento entre os fatores M x P para a variável PST, em virtude de ter ocorrido interação significativa entre os fatores. Houve diferença significativa entre as profundidades de coleta de solo apenas no manejo M_3 , no qual a amostra de solo da camada 0,10-0,20 m apresentou maior PST. Com relação ao efeito dos manejos de fertirrigação, verificou-se diferença significativa na profundidade 0,10-0,20 m, em que o manejo M_3 foi superior aos demais manejos, que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 23).

Para a relação de absorção de sódio (RAS), ocorreu diferença significativa entre os manejos de fertirrigação apenas na camada 0,10-0,20 m, com maior RAS obtida no manejo M_3 . Quanto ao efeito das profundidades, verificou-se diferença significativa apenas no manejo M_2 , no qual o maior valor de RAS foi observado na camada mais superficial (0-0,10 m) (Tabela 23).

Tabela 23 - Valores médios do desdobramento entre os fatores manejos de fertirrigação e profundidades de coleta de solo para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), potencial hidrogeniônico (pH), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de absorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão sob manejos da fertirrigação e dosagens de nitrogênio e potássio

Manejos de Fertirrigação	Profundidades (m)		Média
	0,0 – 0,10	0,10 – 0,20	
CE _{es} (dS m ⁻¹)			
M ₁	2,64	2,22	2,43 a
M ₂	2,84	2,16	2,50 a
M ₃	2,80	2,18	2,49 a
Média	2,76 A	2,19 B	
pH			
M ₁	7,45	7,40	7,43 b
M ₂	7,66	7,61	7,64 a
M ₃	7,71	7,68	7,70 a
Média	7,61 A	7,56 A	
PST (%)			
M ₁	12,48 Aa	11,16 Ab	11,82
M ₂	12,34 Aa	11,35 Ab	11,85
M ₃	13,78 Ba	16,27 Aa	15,03
Média	12,87	12,93	
RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5}			
M1	0,37 Aa	0,32 Ab	0,35
M2	0,39 Aa	0,33 Bb	0,36
M3	0,42 Aa	0,46 Aa	0,44
Média	0,39	0,37	

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas, e minúsculas nas colunas, não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Na Figuras 27A e 27B são mostrados os resultados da interação entre os fatores M x N e N x P, para avaliação do efeito dos níveis de N e K. Foram ajustadas equações quadráticas para os manejos M₁ e M₂, com as maiores CE_{es} estimadas para os níveis 183 e 175% de NK, com CE_{es} de 2,74 e 2,95 dS m⁻¹, respectivamente. Comparando-se esses valores com os obtidos na ausência de fertirrigação com N e K, verificou-se aumento de aproximadamente 58% para M₁, e 72% para M₂. Para M₃ foi ajustada equação linear, sendo a CE_{es} aumentada em consequência do aumento nos níveis de N e K, sendo constatado no maior nível CE_{es} de 3,09 dS m⁻¹, correspondente ao aumento de 63% em relação ao tratamentos com ausência de fertirrigações com N e K (Figura 27A).

Figura 27 - Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)

Os níveis de N e K proporcionaram aumento na CE_{es} nas duas profundidades de coleta de solo, sendo os dados ajustados a equações quadráticas para ambos os casos. As maiores CE_{es} foram estimadas para os níveis 162 e 175%, com CE_{es} de 3,0 e 2,2 dS m⁻¹, para as profundidades de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m, respectivamente. As amostras de solo coletadas na camada mais superficial (0-0,1 m) apresentaram maior CE_{es} em todos os níveis de adubação, apresentando superioridade média de 31% (Figura 27B).

Para o potencial hidrogeniônico do solo (pH), foi observada diferença significativa entre os manejos de fertirrigação, sendo os menores valores obtidos no solo que foram fertirrigados utilizando-se o manejo M₁ (7,42), enquanto que nos demais manejos não foram observadas diferenças significativas, obtendo-se entre estes o pH médio de 7,66. Não houve diferença significativa no pH do solo entre as profundidades do solo, obtendo-se pH médio de 7,59 (Tabela 20). Considerando-se que nos manejos M₂ e M₃, o nitrogênio foi aplicado na maioria das vezes utilizando nitrogênio na forma nítrica (nitrato de cálcio e nitrato de potássio), enquanto no manejo M₁, o nitrogênio foi aplicado, na maioria das fertirrigações, utilizando uréia,

as diferenças no comportamento do pH podem ter ocorrido devido às fontes utilizadas de nutrientes utilizados.

Esses resultados se assemelham, em parte, aos obtidos por Costa (2005), que avaliando os efeitos da fertirrigação com diferentes fontes e doses de N (uréia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio), verificaram que o pH do solo aumentou quando se utilizou nitrato de cálcio, e reduziu quando se realizou a fertirrigação utilizando uréia e sulfato de amônio.

Aumento no pH do solo em função da aplicação de fontes de N na forma nítrica pode ser atribuído a absorção de N-NO_3^- pelas plantas, liberando hidroxilas (OH^-) ou outros ânions, enquanto que a redução do pH em resposta à aplicação de N na forma amoniacal ocorre em função da ausência do processo de hidrólise, que eleva o pH do solo pela liberação de íons H^+ (MARSCHNER, 1995; JUNGK, 1991).

De acordo com Souza (2006), a aplicação de fontes amídicas ao solo, bem como as amoniacais, após serem absorvidas pela raiz ou sofrer oxidação biológica no processo de nitrificação, pode induzir variações no pH do solo. Outros autores como Silva e Vale (2000) e Barbosa Filho et al. (2004) também observaram aumentos do pH pela adição de uréia.

Avaliando o efeito das doses de N e K nos manejos de fertirrigação, foi observado que o aumento nas doses destes nutrientes afetou o pH do solo de forma diferenciada, sendo os dados ajustados a equações quadráticas para os manejos M_2 e M_3 , com maiores valores no nível 150% de NK para ambos os casos, com pH de 7,62 para M_2 , e de 7,72 para M_3 . Para M_3 ocorreu redução no pH em resposta ao aumento no fornecimento de N e K, obtendo-se no nível 300% pH de 7,34 (Figura 28A).

Quanto ao efeito dos níveis de N e K para as diferentes profundidades de coleta, foi ajustada apenas uma equação para representar os valores médios das duas profundidades de coleta de solo (0-0,10 e 0,10-0,20 m), sendo os dados ajustados a uma equação quadrática, com maior valor estimado para o nível 111% de NK (pH = 7,7), conforme mostrado na Figura 28B.

Figura 28 - Potencial hidrogeniônico no solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)

Avaliando o efeito dos tratamentos sobre a percentagem de sódio trocável (PST) no solo, foi observado que os maiores valores ocorreram no manejo M₃ (15,03%), enquanto que os demais manejos não diferiram entre si, estatisticamente. Não houve diferença significativa entre as profundidades de coleta de solo, obtendo PST médio de 12,89% (Tabela 20).

Após realizar o desdobramento dos fatores M x N, para avaliar o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K, verificou-se diferença significativa nos níveis 50, 200 e 300% NK. No nível 50%, os manejos M₁ e M₃ apresentaram os maiores valores e não diferiram entre si estatisticamente. Para os níveis 200% e 300%, os maiores valores ocorreram nos manejo M₃, apesar deste não diferir do M₂ no nível 300% (Tabela 21).

Após realizar o desdobramento dos fatores N x P sobre a PST do solo, foi observada diferença significativa entre as profundidades para os níveis 0% e 50% de NK, no qual a maior PST ocorreu na camada de 0,1-0,2 m e 0-0,1 m, respectivamente. Para os demais níveis de N e K não ocorreram diferenças significativas entre as profundidades de coleta de solo (Tabela 22).

Também foi realizado desdobramento dos fatores M x P, a partir do qual foi possível observar que houve diferença significativa entre os manejos apenas na camada 0,1-0,2 m, na qual a menor PST ocorreu no manejo M₃. Com relação ao efeito dos manejos de cada profundidade, verificou-se diferença significativa apenas no manejo M₃, no qual a maior PST ocorreu na camada mais superficial (Tabela 23).

Os níveis de N e K afetaram significativamente PST do solo; no entanto, o efeito foi dependente do manejo adotado. Não foi possível ajustar nenhuma das equações de regressão estudadas neste trabalho (linear e quadrática) para os níveis de fertirrigação nos manejos M₂ e M₃, obtendo-se PST médias de 11,84 e 15,03%, respectivamente. Para M₁ foi observado que a PST foi reduzida com o aumento nos níveis de N e K, de forma que a menor PST ocorreu no nível 300% NK, com PST de 9,72% (Figura 29A).

Figura 29 - Porcentagem de sódio trocável (PST) do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)

Quanto ao efeito dos níveis de N e K sobre a PST do solo nas profundidades de coleta de solo, foi observada resposta significativa apenas na camada 0,1-0,2 m, sendo os dados ajustados a equação de regressão quadrática, com os maiores valores ocorrendo no menor nível de N e K, com PST de 14,48%, e menor valor

estimado para o nível 160% de NK (11,92%), apresentando tendência de aumento nas maiores doses. Para a profundidade de 0-0,1 m não foi possível ajustar nenhuma das equações testadas (linear e quadrática), obtendo-se PST médio de 12,87% (Figura 29B).

Fazendo-se uma análise dos resultados obtidos para CE_{es} , pH e PST, pode-se constatar que, em todos os tratamentos, os solos podem ser classificados como solos sem problemas de sais, pois foram observados $CE_{es} < 4,0 \text{ dS m}^{-1}$; $pH < 8,5$ e $PST < 15\%$ (RICHARDS, 1954), embora para culturas sensíveis poderá já proporcionar efeitos deletérios sobre o desenvolvimento e rendimento.

Quanto ao efeito dos tratamentos sobre a razão de adsorção de sódio (RAS), verificou-se comportamento semelhante aos obtidos para PST, sendo observado maior RAS no manejo M_3 ; não ocorreu diferença significativa entre as profundidades de coleta de solo (Tabela 20).

O aumento da RAS está diretamente correlacionado com o aumento no teor de sódio no solo, e inversamente à concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Apesar de estes últimos predominarem na solução do solo e no complexo de troca de cátions, quando ocorre acúmulo de Na^+ , ocorre o deslocamento de Ca^{2+} e Mg^{2+} , e consequentemente precipitação desses cátions (RICHARDS, 1954).

A grande proporção de Na^+ nos sítios de troca dos minerais de argila reduz a atração entre as partículas do solo ocasionando os fenômenos de expansão e dispersão. De acordo com Irvine e Reid (2001), as partículas dispersas movem-se pelo solo ocupando os espaços porosos, com consequente deterioração da estrutura do solo e das propriedades de infiltração de água e aeração, afetando o desenvolvimento das plantas (RAIJ, 1991).

O desdobramento entre os fatores M x Nív mostrou que ocorreu diferença significativa entre os manejos de fertirrigação para os níveis 50, 200 e 300 de NK. Os manejos M_1 e M_3 apresentaram maiores valores no nível 50%, não diferindo entre si. Para o nível 200% de NK, os maiores valores ocorreram nos manejos M_2 e M_3 , enquanto no nível 300% de NK o manejo M_3 proporcionou maior RAS (Tabela 21). Tal comportamento ocorreu em consequência do maior teor de Na e menor teores de Ca e Mg no solo, conforme já descrito anteriormente.

Apesar de não ter havido diferença significativa entre as profundidades, para RAS, ocorreu efeito significativo da interação entre os fatores N e P. Após realizar o

desdobramento destes fatores, foi observado que houve diferença significativa apenas no nível 50% NK, no qual maiores valores de RAS ocorreram na camada superficial do solo (0-0,1 m) (Tabela 22).

Como também houve efeito significativo na interação M x P, realizou-se o desdobramento para avaliar o efeito dos manejos de fertirrigação em cada profundidade do solo, sendo observada diferença significativa entre os manejos apenas na camada de solo 0,1-0,2 m, na qual o maior valor ocorreu em M₃. Já com relação ao efeito das profundidades, verificou-se diferença significativa apenas no manejo M₂, no qual maiores valores de RAS ocorreram na camada mais superficial (Tabela 23).

Avaliando o efeito dos níveis de N e K sobre a RAS nos diferentes manejos de fertirrigação (Figura 30A) e profundidades de coletas (Figura 30B), foi possível observar efeito dos níveis de adubação apenas para o manejo M₁, cujos dados foram ajustados a equação de regressão linear decrescente, de forma que neste manejo a RAS do solo diminui em consequência do aumento dos níveis de N e K. Para os manejos M₂ e M₃, nenhuma das equações de regressão utilizados neste trabalho apresentaram ajuste satisfatório, sendo obtidos valores médios de 0,36 e 0,44 (mmol_c L⁻³)^{0,5} (Figura 30A). Também não foi possível ajustar nenhuma equação de regressão para as profundidades, sendo obtidos para as duas profundidades RAS média de 0,38 (mmol_c L⁻¹)^{0,5} (Figura 30B).

Figura 30 – Razão de adsorção de sódio (RAS) do solo cultivado com pimentão, submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio (A) em diferentes profundidades de coleta de solo (B)

4.8 Aspectos nutricionais das plantas

4.8.1 Teor e acúmulo de nitrogênio

A partir da análise de variância mostrada na Tabela 24, verifica-se que houve interação significativa entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e de potássio no teor nitrogênio no tecido vegetal do pimentão, sendo observada significância ao nível de 1% de probabilidade, para todos os parâmetros analisados, bem como efeito significativo dos fatores, isoladamente. Observando-se a análise de regressão, pode-se verificar que os teores de nitrogênio nas diferentes partes da planta podem ser representados por equações quadráticas para teor de N nas folhas (TNF), caule (TNC) e nos frutos (TNFR) ($p < 0,1$), para os três manejos de fertirrigação. Observando-se a análise de regressão para cada manejo de fertirrigação, verificou-se que a equação quadrática apresentou melhor ajuste para TNF e TNC em todos os manejos de fertirrigação. Já para o TNFR, os dados obtidos

no manejo M₂ ajustaram-se a uma equação linear, e a equações quadráticas nos demais manejos (M₁ e M₃).

Ainda na Tabela 24, pode-se verificar que houve interação significativa dos fatores estudados ($p < 0,01$) para acúmulo de N nas folhas (ACN) e nos frutos (ACFR), enquanto que para acúmulo de N no caule (ANC) e em toda a planta (ANT) houve efeito significativo em nível de 5%. Com relação aos efeitos dos fatores isolados, verificou-se efeito significativo para todas essas variáveis ($p < 0,1$). No tocante às equações de regressão, os dados apresentaram melhor ajuste aos modelos quadráticos para ANF, ANC, ANT ($p < 0,01$) e ANFR ($p < 0,05$). Observando-se a análise de regressão para cada manejo de fertirrigação, verificou-se ajuste ao modelo quadrático para ANF, para M₁ e M₃, e linear, para M₂. Para ANC os dados foram ajustados ao modelo quadrático para M₁, e M₂ e M₃. Para ANFR houve ajuste quadrático para M₁, e linear para M₂ e M₃ (Tabela 24)

Tabela 24 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de nitrogênio nas folhas (TNF), no caule (TNC) e nos frutos (TNFR), e acúmulo de nitrogênio nas folhas (ACNF), no caule (ACNC), nos frutos (ACNFR) e total (ACNT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis						
	TNF	TNC	TNFR	ACNF	ACNC	ACNFR	ACNT
	----- valores de 'F' -----						
Manejos (M)	110,87**	9,02**	31,12**	28,29**	13,49**	29,84**	8,46**
Níveis (N)	243,07**	83,26**	89,31**	53,56**	36,79**	21,98**	73,58**
M x N	9,59**	3,61**	22,91**	2,32*	2,43*	3,73**	1,78 ^{ns}
Blocos	5,84	1,69	1,12	0,51	0,51	3,45	0,49
CV (%)	6,39	10,48	13,35	22,21	23,28	32,81	17,93
Componentes da Regressão	----- valores de 'F' -----						
M ₁ -Linear	438,32**	132,17**	199,31**	4,11*	62,66**	0,16 ^{ns}	76,21**
M ₁ -Quadrática	119,17**	43,01**	22,09**	16,69**	44,26**	8,59**	78,96**
M ₂ -Linear	293,15**	75,61**	52,64**	34,59**	6,34*	5,45*	41,92**
M ₂ -Quadrática	110,17**	53,39**	0,93 ^{ns}	1,02 ^{ns}	22,09**	0,33 ^{ns}	28,40**
M ₃ -Linear	156,13**	87,07**	94,45**	20,39**	44,24**	5 34*	70,15**
M ₃ -Quadrática	122,20**	19,24**	72,29**	42,39**	18,66**	0,78 ^{ns}	70,34**

**Significativo em nível de 1% de probabilidade; * Significativo em nível de 5% de probabilidade;
^{ns}Não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Na Tabela 25 são mostrados os teores de nitrogênio nas diferentes partes das plantas; pode-se observar que os teores de N foram maiores no tecido foliar, não havendo diferença expressiva entre os teores de N no caule (TNC) e nos frutos (TNFR), estando assim de acordo com Leonardo et al. (2008). Os teores de N no tecido foliar (TNF) variaram de acordo com os diferentes manejos de fertirrigação, e de acordo com o nível de N e K aplicados.

Tabela 25 - Valores médios dos teores de nitrogênio nas folhas (TNF), no caule (TNC) e nos frutos (TNFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis		
		TNF	TNC	TNFR
		(g kg ⁻¹)		
0	M ₁	16,5 A	7,2 A	6,8 A
	M ₂	16,5 A	7,2 A	6,8 A
	M ₃	16,5 A	7,2 A	6,8 A
50	M ₁	33,4 A	11,0 AB	8,3 C
	M ₂	26,3 B	12,3 A	24,6 A
	M ₃	20,2 C	9,6 B	20,2 B
100	M ₁	35,2 A	14,4 A	7,2 B
	M ₂	32,9 A	12,5 A	11,1 B
	M ₃	30,4 B	13,9 A	23,9 A
150	M ₁	43,4 A	18,6 A	26,4 A
	M ₂	36,7 B	18,5 A	15,9 B
	M ₃	30,7 C	13,5 A	24,7 A
200	M ₁	44,8 A	16,0 A	24,5 A
	M ₂	41,8 A	15,7 A	26,0 A
	M ₃	39,3 B	15,2 A	16,2 B
300	M ₁	45,7 A	17,6 A	23,0 A
	M ₂	37,9 B	15,1 B	24,5 A
	M ₃	29,1 C	15,4 AB	24,3 A
Média	M ₁	36,5	14,1	16,05
	M ₂	32,0	13,5	18,18
	M ₃	27,7	12,4	19,35

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Pode-se verificar que os maiores valores ocorreram nas plantas fertirrigadas utilizando o manejo M_1 em todos os níveis de N e K, apesar de não diferir estatisticamente do manejo M_2 nos níveis de 0, 100 e 200%. De forma geral, o TNF variou de 16,50 (% nos manejos M_2 , M_2 e M_3) a 45,73 (300% no manejo M_1). Com exceção do nível de N e K 0%, no qual se obteve o menor teor de N (16,50 g kg⁻¹), nos demais níveis de N e K observaram-se teores de N próximos à faixa recomendada por Reuter e Robison (1997) e Jones Júnior, Wolf e Mills (1991), que recomendam teor de N variando de 40 a 60 g kg⁻¹. Leonardo et al. (2008) observaram TNF do pimentão de aproximadamente 37 g kg⁻¹, enquanto Mills e Jones (1996) observaram TNF de 35 g kg⁻¹.

Para o teor de N no caule (TNC), verificou-se diferença significativa apenas nos níveis 50% e 200% de N e K, nos quais o manejo M_3 apresentou menor TNC para o primeiro (50% de N e K), e o manejo M_2 apresentou o menor TNC no nível de 200%, apesar de não diferir estatisticamente do manejo M_3 . De forma geral, e desconsiderando o nível 0% de N e K, no qual as plantas não receberam adubações desses nutrientes, os valores variaram de 9,60 a 18,62 g kg⁻¹, para os manejos M_3 no nível 50% e M_1 no nível 150%, respectivamente. Pode-se verificar ainda que, para a maioria dos níveis de N e K, os maiores valores, mesmo que em termos absolutos, ocorreram no manejo M_1 (Tabela 25).

Na Figura 31A é mostrado o TNF em função dos níveis de N e K nos manejos de fertirrigação, nos quais os dados foram ajustados ao modelo polinomial de segundo grau. Os maiores teores de N foram estimados para os níveis de 240, 226 e 205% para M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente, com teores de 46,7, 40,6 e 35,1 g kg⁻¹. A partir das equações regressão pôde-se constatar que, a partir do nível 100% de N e K, todos os manejos de fertirrigação proporcionaram TNF dentro da faixa considerada adequada e também observadas outros autores (OLIVEIRA et al., 2004; MARCUSSI, 2005), que situa-se entre 30 e 60 g kg⁻¹.

Com relação ao efeito dos níveis de N e K sobre o TNC, foi observado resposta semelhante à ocorrida para TNF, no qual os dados foram ajustados a equações quadráticas. Os maiores teores de N no caule ocorreram nos níveis de 233 e 209 % de NK para os manejos M_1 e M_2 , com teores de 19,0 e 17,0 g kg⁻¹, respectivamente; enquanto que para o manejo M_3 ocorreu no nível de 257% de NK, com 15,8 g kg⁻¹ (Figura 31B).

Figura 31 - Teor de nitrogênio nas folhas (A), caule (B) e frutos (C) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Leonardo et al. (2008) avaliaram o efeito do estresse salino, produzido por fertilizantes, na cultura do pimentão e obtiveram TNC de aproximadamente 15 g kg^{-1} , valor bem próximo aos obtidos no presente trabalho.

Com relação ao teor de N nos frutos (TNFR), houve diferença entre os manejos de fertirrigação para a maioria dos níveis de N e K estudados, sendo que o manejo M_1 apresentou maiores valores nos níveis 150, 200 e 300% de NK, apesar de não diferir estatisticamente do manejo M_2 nos níveis 200 e 300%, e do manejo M_3 no nível 150%. O manejo M_2 apresentou maiores valores no nível 50% de NK, e do manejo M_2 no nível 100% de NK (Tabela 25).

Para os três manejos de fertirrigação, os dados foram ajustados a equações quadráticas. Para os manejos M_1 e M_2 , os maiores valores foram obtidos no maior nível de N e K (300% NK), com 25 e 33 g kg^{-1} , para M_1 e M_2 , respectivamente. Para o manejo M_3 , foi observado o maior TNFR na concentração 212% de NK, com 24 g kg^{-1} (Figura 31C).

Os valores de TNFR encontrados neste trabalho, com exceção do nível 0%, estão próximos dos resultados obtidos por Leonardo et al. (2008), que obtiveram TNFR de 23 g kg^{-1} . Marcussi (2005) avaliou a absorção de nutrientes em frutos de pimentão e verificou TNFR variando de 29 a 50 g kg^{-1} .

Com relação ao acúmulo de nitrogênio, verificaram-se diferenças significativas entre os manejos de fertirrigação e níveis de N e K nas diferentes partes da planta. Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação sobre o acúmulo de N no tecido foliar (ACNF), verificou-se que, de forma geral, o manejo M_1 proporcionou os maiores ACNF, com média geral de $2,01 \text{ g planta}^{-1}$, enquanto os manejos M_2 e M_3 apresentaram média entre si de $1,37 \text{ g planta}^{-1}$, correspondendo a diferença na ordem de 46,6% (Tabela 26).

Tabela 26 - Valores médios para acúmulo de nitrogênio nas folhas (ACNF), caule (ACNC), frutos (ACNFR) e total (ACNT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Efeito da aplicação de fertilizantes de nitrogênio e potássio					
Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis			
		ACNF	ACNC	ACNFR	ACNT
		----- (g planta ⁻¹) -----			
0	M ₁	0,19 Ad	0,15 Ac	0,19 Ad	0,62
	M ₂	0,19 Ab	0,15 Ac	0,19 Ab	0,62
	M ₃	0,19 Ac	0,15 Ab	0,19 Ac	0,62
50	M ₁	0,57 Ac	0,63 Babc	0,57 Ac	2,72
	M ₂	0,66 Aa	1,36 Aab	0,66 Aa	3,2
	M ₃	0,57 Ab	1,68 Aa	0,57 Ab	3,32
100	M ₁	0,84 Abc	0,64 Babc	0,84 Abc	3,59
	M ₂	0,57 Aa	1,08 Bb	0,57 Aa	3,02
	M ₃	0,75 Aab	1,88 Aa	0,75 Aab	4,22
150	M ₁	1,19 Aa	1,07 Bab	1,19 Aa	5,22
	M ₂	0,75 Ba	1,37 Bab	0,75 Ba	3,8
	M ₃	0,97 ABa	2,17 Aa	0,97 ABa	5,2
200	M ₁	1,15 Aab	1,36 ABa	1,15 Aab	5,3
	M ₂	0,77 Ba	1,26 Bab	0,77 Ba	4,03
	M ₃	0,89 ABab	1,93 Aa	0,89 ABab	4,97
300	M ₁	0,96 Aab	0,47 Bbc	0,96 Aab	3,85
	M ₂	0,51 Bab	2,00 Aa	0,51 Bab	3,62
	M ₃	0,92 Aa	1,60 Aa	0,92 Aa	4,25
Média	M ₁	0,82	0,72	0,82	3,55 A
	M ₂	0,57	1,2	0,57	3,05 B
	M ₃	0,71	1,57	0,71	3,76 A

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Fazendo-se o desdobramento, para avaliar o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K, verificou-se diferença significativa nos níveis 100, 150, 200 e 300% de NK, com os maiores valores ocorrendo no manejo M₁, apresentando superioridade em aproximadamente 42,6, 58,7 e 35,1%, respectivamente, em relação com os valores médios dos manejos M₂ e M₃ (Tabela 26).

Para o acúmulo de N no caule (ACNC), verificaram-se os maiores valores nos manejos M₁ e M₂, que não diferiram entre si estatisticamente, apresentando ACNC

médio de $0,76 \text{ g planta}^{-1}$, enquanto que no manejo M_2 obteve-se ACNC médio de $0,57 \text{ g planta}^{-1}$, correspondendo assim à diferença de aproximadamente 34,2%. Avaliando o efeito dos manejos de cada nível de N e K, verificou-se diferença significativa a partir do nível 150% de NK, com os maiores valores nos manejos M_2 e M_3 , que não diferiram entre si estatisticamente. Também não ocorreu diferença significativa entre os manejos M_2 e M_3 nos níveis 150 e 200% de NK (Tabela 26).

Com relação ao acúmulo de N nos frutos (ACNFR), verificou-se que o maior ACNFR ocorreu no manejo M_3 ($1,57 \text{ g planta}^{-1}$), seguido pelos manejos M_2 ($1,20 \text{ g planta}^{-1}$) e M_1 ($0,72 \text{ g planta}^{-1}$), com diferenças percentuais de 118,1% em comparação ao M_1 e 30,8% em comparação ao M_2 . Desdobrando-se os fatores, verifica-se que o manejo M_3 foi superior aos demais nos níveis 100 e 150% de NK, e não diferiu dos demais nos níveis 0 e 300% de NK (Tabela 26).

Para o acúmulo total de nitrogênio (ACNT), foi observado que apenas o manejo de fertirrigação M_2 diferiu dos demais e apresentou menor valor ($3,05 \text{ g planta}^{-1}$), enquanto que nos manejos M_1 e M_3 obteve-se média de $3,66 \text{ g planta}^{-1}$, valor este superior em 19,84% em comparação com o valor observado em M_2 (Tabela 26).

Avaliando o efeito dos níveis de N e K sobre o acúmulo de nitrogênio nos diferentes órgãos do pimentão, verificou-se que, para a maioria dos casos houve resposta quadrática, de forma que houve aumento no acúmulo de N até determinado nível de N e K, e decrescendo a partir deste (Figura 32).

Para o acúmulo de N no tecido foliar (ACNF), verificou-se resposta quadrática para os três manejos de fertirrigação, no entanto, houve variação quanto ao nível de N e K que proporcionaram o máximo ACNF, sendo observado que os maiores valores ocorreram nos níveis 2081, 170 e 204% de NK, apresentando ACNF de aproximadamente 2,8, 1,7 e 2,1 g planta^{-1} , para os manejos M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 32A).

Figura 32 - Acúmulo de nitrogênio nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão, cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Comportamento semelhante ao observado para ACNF foi obtido para o acúmulo de N no caule (ACNC), com os dados ajustando a equações de regressão

quadráticas. Os maiores valores foram obtidos para os níveis de 202, 110 e 226% de NK, sendo encontrado ACNC de 1,1 g planta⁻¹ para M₁, 0,7 g planta⁻¹ para M₂ e 1,0 g planta⁻¹ para M₃ (Figura 32B).

Verificou-se aumento no acúmulo de N nos frutos (ACNFR) em resposta ao incremento nos níveis de N e K, no entanto, essa resposta foi variada de acordo com cada manejo de fertirrigação. Para os manejos M₁ e M₃, foram observadas respostas quadráticas, com maiores valores sendo obtidos nos níveis 163 e 176% de NK, com 1,0 e 2,1 g planta⁻¹ para M₁ e M₃, respectivamente. Já para o manejo M₂ foi observada resposta linear crescente, de forma que o ACNFR aumentou com o incremento nos níveis de N e K. Os maiores valores foram obtidos no maior nível de N e K (300% NK), com 1,9 g planta⁻¹, correspondendo ao aumento de 236% em comparação com as plantas que não receberam adubação de N e K (0% NK) (Figura 32C).

Avaliando o acúmulo de N total (ACNT), verificou-se que não houve interação entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K, desta forma, foi ajustada apenas uma equação de regressão para representar os três manejos de fertirrigação. Os dados foram ajustados a equação quadrática, com o ACNT aumentando até o nível de 203% de NK, com 5,0 g planta⁻¹, e decrescendo a partir deste nível (Figura 32D).

Marcussi et al. (2004), trabalhando com a cultivar Elisa em ambiente protegido, verificaram aos 140 dias após transplântio, acúmulo total de N em aproximadamente 6,66 g planta⁻¹, distribuídos em 2,12 g planta⁻¹ para folhas, 1,09 g planta⁻¹ para caule, 2,43 g planta⁻¹ para frutos e 1,02 g planta⁻¹ para raízes. Fontes, Dias e Graça (2005) observaram acúmulo de 11,6 g planta⁻¹ com ciclo de 224 dias. A diferença entre esses resultados pode ser atribuída a diversos fatores; como material genético, ciclo da cultura e condições ambientais. Charlo (2008) trabalhando com a cultura do pimentão cultivada em fibra de coco verificou que o acúmulo total de N pela planta atingiu 8,22 g planta⁻¹ aos 189 DAT, distribuídos em 1,70 g planta⁻¹ para folhas, 0,98 g planta⁻¹ para caule, 4,27 g planta⁻¹ para os frutos e 0,22 g planta⁻¹ para as raízes.

Na Tabela 27 é mostrada a distribuição de nitrogênio nas diferentes partes da planta, na qual se pode observar que as folhas apresentaram, em média, maior acúmulo de N no manejo M₁, e a seguinte distribuição: 55,47% para folhas, 24,00%

para caule e 20,53% para frutos. No manejo M₂, as folhas absorveram, em média, 42,14% do N absorvido pela planta, seguida pelos frutos (37,43%) e pelo caule (20,43%) e, verificando-se assim uma maior participação dos frutos, em comparação com o manejo M₁. Para o manejo M₃ também ocorreu equilíbrio entre os totais de N acumulados no caule e nos frutos, apresentando médias de 39,90% para folhas e 39,54% para os frutos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Marcussi et al. (2004), os quais verificaram que 36,5% do N acumulado pelas plantas de pimentão foi translocado para os frutos. Fontes, Dias e Graça (2005) verificaram que cerca de 40,5% do total de N são exportados pelos frutos. Freitas (2009), trabalhando com essa mesma cultivar, porém em condições de campo, observaram distribuição do nitrogênio em 57,19% para parte vegetativa e de 42,8% para os frutos, valor este bem próximo aos obtidos nos manejos M₂ e M₃.

Tabela 27 - Distribuição de nitrogênio no tecido vegetal do pimentão, cultivado em ambiente protegido e submetido com manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Partes da planta	Níveis de N e K (%)						Média
	0	50	100	150	200	300	
M ₁ -Fertirrigação a partir da marcha de absorção							
Total (g planta ⁻¹)	0,63	2,72	3,59	5,22	5,3	3,84	3,55
Folhas (%)	46,03	55,88	58,77	56,70	52,64	62,76	55,47
Caule (%)	30,16	20,96	23,40	22,80	21,70	25,00	24,00
Frutos (%)	23,81	23,16	17,83	20,50	25,66	12,24	20,53
M ₂ -Fertirrigação a partir monitoramento da concentração de N e K							
Total (g planta ⁻¹)	0,63	3,21	3,02	3,8	4,02	3,62	3,05
Folhas (%)	46,03	37,07	45,36	44,21	49,50	30,66	42,14
Caule (%)	30,16	20,56	18,87	19,74	19,15	14,09	20,43
Frutos (%)	23,81	42,37	35,76	36,05	31,34	55,25	37,43
M ₃ -Fertirrigação a partir monitoramento da condutividade elétrica							
Total (g planta ⁻¹)	0,63	3,32	4,22	5,19	4,96	4,26	3,76
Folhas (%)	46,03	32,23	37,68	39,50	43,15	40,85	39,90
Caule (%)	30,16	17,17	17,77	18,69	17,94	21,60	20,55
Frutos (%)	23,81	50,60	44,55	41,81	38,91	37,56	39,54

4.8.2 Teor e acúmulo de fósforo

Houve efeito significativo da interação entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K para o teor de fósforo no caule (TPC), e para o acúmulo de fósforo no caule (ACPC), folhas (ACPF) e frutos (ACPFR) em nível de significância de 1%, e em nível de significância de 5% de probabilidade para acúmulo de fósforo total (ACPT), e não houve resposta significativa para teor de P nas folhas (TPF) nem nos frutos (TPFR) ($p > 0,05$).

Com relação ao efeito dos fatores isoladamente, verificou-se resposta significativa dos manejos de fertirrigação para TPC, ACPF, ACPC e ACPFR ($p < 0,01$). Não houve diferença significativa para TPF e TPFR, enquanto que para os níveis de N e K, com exceção do TPFR, houve efeito significativo ao nível de significância de 1% para todas as variáveis (Tabela 28).

Tabela 28 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de fósforo nas folhas (TPF), no caule (TPC) e nos frutos (TPFR), e acúmulo de fósforo nas folhas (ACPF), no caule (ACPC), nos frutos (ACPFR) e total (ACPT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis						
	TPF	TPC	TPFR	ACPF	ACPC	ACPFR	ACPT
	----- valores de 'F' -----						
Manejos (M)	0,17 ^{ns}	5,39**	0,21 ^{ns}	7,86**	14,48**	9,78**	5,94**
Níveis (N)	156,99**	6,02**	2,40 ^{ns}	5,34**	15,41**	17,07**	25,26**
M x N	1,30 ^{ns}	9,71**	1,34 ^{ns}	3,31**	7,69**	3,72**	2,56*
Blocos	3,93	1,92	1,92	2,06	0,81	2,97	1,84
CV (%)	17,35	18,60	12,68	23,78	27,94	27,94	17,59
Componetes da Regressão	----- valores de 'F' -----						
M ₁ -Linear	108,97**	4,52*	0,87 ^{ns}	16,93**	5,42*	31,21**	0,17 ^{ns}
M ₁ -Quadrática	75,75**	19,49**	1,32 ^{ns}	41,85**	15,55**	26,01**	43,90**
M ₂ -Linear	103,14**	19,64**	0,67 ^{ns}	5,34*	21,45**	5,24*	5,14*
M ₂ -Quadrática	93,81**	1,07 ^{ns}	1,80 ^{ns}	4,44*	13,96**	23,12**	16,73**
M ₃ -Linear	74,63**	22,66**	0,08 ^{ns}	31,63**	7,32**	77,09**	25,31**
M ₃ -Quadrática	95,94**	0,07 ^{ns}	0,23 ^{ns}	6,06*	21,91**	13,75**	24,65**

**Significativo em nível de 1% de probabilidade; * Significativo em nível de 5% de probabilidade;

^{ns}Não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Não houve efeito significativo dos manejos de fertirrigação sobre o teor de fósforo no tecido foliar (TPF) nem nos frutos (TPFR), obtendo-se nos manejos M₁, M₂ e M₃, teor médio de 3,1 e 4,0 g kg⁻¹, para TPF e TPFR, respectivamente (Tabela 29). Pode-se observar que, com exceção do nível 0% NK, não ocorreu variações consideráveis nos demais níveis, nos quais se obteve o TPF médio de 2,3 g kg⁻¹. Considerando que no nível 0% NK não foram realizadas fertirrigações com N e K, a aplicação de N e K não afetou o teor de TPF. O maior TPF encontrado no tratamento com ausência da aplicação de N e K pode ter sido devido ao menor desenvolvimento das plantas, o que acarretou em maior concentração de P.

Tabela 29 - Valores médios para teores de fósforo nas folhas (TPF), no caule (TPC) e nos frutos (TPFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido com manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis		
		TPF	TPC	TPFR
		(g kg ⁻¹)		
0	M ₁	7,00	1,64 A	4,21
	M ₂	7,00	1,64 A	4,21
	M ₃	7,00	1,64 A	4,21
50	M ₁	2,40	1,54 B	4,72
	M ₂	2,80	2,65 A	4,46
	M ₃	2,00	1,55 B	3,94
100	M ₁	2,00	1,61 A	2,91
	M ₂	2,00	1,64 A	3,15
	M ₃	1,80	1,57 A	3,69
150	M ₁	2,90	2,96 A	4,54
	M ₂	2,10	1,55 C	3,97
	M ₃	2,60	2,28 B	4,17
200	M ₁	2,10	2,35 A	3,79
	M ₂	2,70	1,44 B	4,03
	M ₃	2,40	2,15 A	4,18
300	M ₁	2,00	1,70 B	3,99
	M ₂	2,20	1,12 B	3,91
	M ₃	2,40	2,51 A	4,08
Média	M ₁	3,07 A	1,96	4,02 A
	M ₂	3,13 A	1,67	3,95 A
	M ₃	3,03 A	1,95	4,04 A

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Falcão et al. (2003), estudando os níveis suficientes de macronutrientes para pimentão conduzido em ambiente protegido, observaram que o teor de P no tecido foliar foi de 2,2 g kg⁻¹. Araújo (2005) observou TPF médio de 2,7 g kg⁻¹. Marcussi (2005) verificou que o TPF apresenta grande variação ao longo do ciclo da cultura, na qual obteve variação de 1,4 a 2,7 g kg⁻¹ no intervalo de 60 a 80 DAT.

Para o TPC o efeito do manejo da fertirrigação foi variável de acordo com a dose de N e K utilizado. Fazendo-se o desdobramento dos fatores, verificou-se que o manejo M₁ foi superior aos manejos M₂ e M₃ no nível 150% de NK, e inferior ao manejo M₂ no nível 50% de NK (Tabela 29).

Como a interação entre os fatores não foi significativa, ajustou-se apenas uma equação de regressão para os três manejos de fertirrigação para TPF, e os dados foram ajustados a equação quadrática (Figura 33A). Quanto ao TPFR, não foi ajustada nenhuma equação de regressão, e obteve TPFR médio de 4,0 g kg⁻¹; resultado este próximo ao obtido por Marcussi (2005), que trabalhando com o híbrido Elisa, obtiveram TPFR de 4,5 g kg⁻¹. Araújo et al. (2007) observaram teores de P no tecido foliar de aproximadamente 2,69 g kg⁻¹. Alves et al. (2009) encontraram teor de P variando de 4,1 a 4,4 g kg⁻¹. Tais resultados demonstram que as plantas apresentaram TPF e TPFR considerados na faixa aceitável conforme a literatura.

Silva et al. (2001) avaliaram a nutrição de plantas de pimentão em função de doses de N e K, e constataram que altas doses de K diminuíram significativamente o teor de P no tecido foliar. De acordo com esses autores, tal comportamento pode ser atribuído ao provável estresse salino provocado pela aplicação de KCl, que pode ter provocado redução no desenvolvimento das raízes, e, conseqüentemente, redução na absorção de fósforo.

Como houve interação significativa entre os fatores para o teor de fósforo no caule (TPC) foi ajustada equação de regressão para cada manejo de fertirrigação. Para o manejo M₁, os dados foram ajustados a equação quadrática, apesar de apresentar baixo coeficiente de determinação ($R^2=0,45$), e o maior TPC foi estimado para o nível de 192% de N e K, com 2,4 g kg⁻¹. Para os manejos M₂ e M₃, os dados foram ajustados a equações lineares, sendo o efeito negativo para M₂, com redução de aproximadamente 0,0032 g kg⁻¹ em resposta ao aumento unitário nas concentrações de N e K. Para o manejo M₃, houve resposta positiva ao aumento da

dosagem de N e K, observando-se incremento de aproximadamente $0,0034 \text{ g kg}^{-1}$ por aumento da concentração de N e K (Figura 33B).

Pode-se observar ainda que, com exceção do TPF no nível 0% NK, os frutos apresentaram maior teor de P em comparação com as folhas e o caule. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Marcussi (2005), que avaliando o teor de macronutrientes em plantas de pimentão, verificou aos 120 DAT teores de fósforo de $4,5 \text{ g kg}^{-1}$ nos frutos, $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ nas folhas e $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ no caule.

Figura 33 - Teores de fósforo nas folhas (A) e no caule (B) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Para o acúmulo de fósforo, foi observada resposta significativa aos níveis de N e K, e que a resposta foi variada de acordo com o manejo de fertirrigação adotado. Para o acúmulo de fósforo nas folhas (ACPF), os maiores valores ocorreram nos manejos M₁ e M₃, com ACPF médio de $0,13 \text{ g planta}^{-1}$. Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K, verificou-se diferença significativa apenas nos níveis 150 e 300% de NK, com menores valores ocorrendo no manejo M₂ (Tabela 30).

De forma semelhante ao observado para ACPF, os maiores valores para acúmulo de fósforo no caule (ACPC) ocorreram nos manejos M₁ e M₃, apresentando

valores médios de $0,11 \text{ g planta}^{-1}$, com exceção do nível 50% de NK, onde os maiores valores ocorreram no manejo M_2 , enquanto no nível 300% de NK os maiores valores foram obtidos no manejo M_3 (Tabela 30).

Tabela 30 - Valores médios para acúmulo de fósforo nas folhas (ACPF), caule (ACPC), frutos (ACPFR) e total (ACPT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

		Variáveis			
Níveis de NK (%)	Manejos	ACPF	ACPC	ACPFR	ACPT
		----- (g planta ⁻¹) -----			
0	M ₁	0,12 A	0,05 A	0,09 A	0,26 A
	M ₂	0,12 A	0,05 A	0,09 A	0,26 A
	M ₃	0,12 A	0,05 A	0,09 A	0,26 A
50	M ₁	0,13 A	0,08 B	0,18 A	0,39 A
	M ₂	0,12 A	0,11 A	0,25 A	0,48 A
	M ₃	0,12 A	0,09 AB	0,32 A	0,52 A
100	M ₁	0,12 A	0,09 A	0,25 A	0,46 A
	M ₂	0,08 A	0,07 A	0,30 A	0,45 A
	M ₃	0,11 A	0,08 A	0,28 A	0,49 A
150	M ₁	0,17 A	0,19 A	0,18 B	0,54 B
	M ₂	0,09 B	0,07 B	0,35 A	0,51 B
	M ₃	0,15 A	0,16 A	0,36 A	0,67 A
200	M ₁	0,15 A	0,17 A	0,21 A	0,53 A
	M ₂	0,10 A	0,07 B	0,32 A	0,49 A
	M ₃	0,13 A	0,10 A	0,31 A	0,57 A
300	M ₁	0,11 AB	0,09 B	0,08 B	0,28 B
	M ₂	0,06 B	0,04 C	0,32 A	0,42 A
	M ₃	0,15 A	0,15 A	0,26 A	0,56 A
Média	M ₁	0,13	0,11	0,17	0,41
	M ₂	0,10	0,07	0,27	0,44
	M ₃	0,13	0,11	0,27	0,51

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M_1 – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M_2 – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M_3 – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Com relação ao acúmulo de fósforo nos frutos (ACPFR), os maiores valores foram obtidos nos manejos M_2 e M_3 , com média de $0,27 \text{ g planta}^{-1}$, sendo verificado ainda que o efeito dos manejos de fertirrigação foi variável para os níveis de N e K estudados. Fazendo-se o desdobramento entre os fatores manejos de fertirrigação e

níveis de N e K, foi observada diferença significativa apenas nos níveis 150 e 300% de NK, nos quais apenas o manejo M_1 diferiu dos demais e apresentou os menores valores (Tabela 30).

Analisando o acúmulo total de fósforo (ACPT), verificou-se que o maior valor ocorreu no manejo M_3 ($0,51 \text{ g planta}^{-1}$), enquanto os demais manejos não diferiram entre si estatisticamente, apresentando ACPT médio de $0,42 \text{ g planta}^{-1}$. Considerando a interação entre os fatores, foi observada diferença significativa entre os manejos de fertirrigação apenas no nível 150% de NK, com maiores valores no manejo M_3 , e no nível 300% de NK, com maiores valores nos manejos M_2 e M_3 (Tabela 30).

Na Figura 34 é mostrado o efeito dos níveis de N e K sobre o acúmulo de fósforo nas diferentes partes das plantas. O acúmulo de fósforo nas folhas (ACPF) foi afetado pelas dosagens de N e K, no entanto, a resposta foi variada para cada manejo de fertirrigação, desta foram ajustadas equações regressão para cada manejo.

Para o manejo M_1 , houve aumento do ACPF em resposta ao aumento nos níveis de N e K, até o nível de 153% de NK, com ACPF de $0,15 \text{ g planta}^{-1}$, decrescendo a partir deste, sendo assim os dados ajustados a equação quadrática. Para o manejo M_2 , verificou-se resposta linear e decrescente, de forma que os maiores valores foram obtidos no nível 0% de NK ($0,12 \text{ g planta}^{-1}$), e reduzindo com o aumento nos níveis de N e K, obtendo-se no maior nível (300% NK) ACPF de $0,06 \text{ g planta}^{-1}$. Já para o manejo M_3 , houve resposta linear e positiva, sendo os valores aumentados em resposta ao incremento na dose de N e K, obtendo no maior nível (300% de NK) ACPF de $0,15 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 34A). Marcussi et al. (2004) verificaram acúmulo $0,12 \text{ g planta}^{-1}$ de P no tecido foliar, valor este próximo aos observados no presente trabalho. Já Charlo obteve ACPF de $0,08 \text{ g planta}^{-1}$.

Para o acúmulo de fósforo no caule (ACPC), foram ajustadas equações quadráticas para os manejos M_1 e M_2 , com maiores valores obtidos nos níveis 175 e 108% de NK, com ACPC de $0,15$ e $0,08 \text{ g planta}^{-1}$, respectivamente. Para o manejo M_3 , os dados foram ajustados a equação linear, de forma que o ACPC aumentou de acordo com o incremento nos níveis de N e K, obtendo maior valor no nível 300% de NK, com $0,16 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 34B). Esses resultados são semelhantes aos observados por Marcussi et al. (2004) para a cultivar Elisa, os quais encontraram

ACPC de $0,13 \text{ g planta}^{-1}$ para o ciclo de 140 DAT, enquanto Charlo (2008) verificou ACPC de $0,09 \text{ g planta}^{-1}$ para o ciclo de 189 DAT.

Figura 34 - Acúmulo de fósforo nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Com relação ao acúmulo de fósforo nos frutos (ACPFR), verificou-se comportamento semelhante para os três manejos de fertirrigação, sendo observada, inicialmente, resposta positiva ao ACPFR em consequência do aumento nos níveis de N e K até determinado nível, e decrescendo a partir deste. Os maiores ACPFR ocorreram para os níveis 142, 198 e 171% de NK, com 0,22, 0,57 e 0,34 g planta⁻¹, para os manejos M₁, M₂ e M₃, respectivamente (Figura 34C).

Esses valores são inferiores aos obtidos por Fontes, Dias e Graça (2005), os quais obtiveram ACPFR de 0,84 g planta⁻¹, no entanto, esses autores finalizaram o experimento aos 224 DAT, ciclo bem maior que o adotado neste trabalho. Em contrapartida, Marcussi et al. (2004) observaram ACPFR de 0,36 g planta⁻¹, para o ciclo de 140 DAT. Já Charlo encontrou ACPFR de 0,82 g planta⁻¹.

Pode-se observar grande variação entre os resultados obtidos nestes trabalhos, o que pode ser atribuído, além de diferenças de material genético e ambientais, ao ciclo da cultura adotado pelos pesquisadores, visto que o ACPFR depende diretamente do acúmulo de massa seca de frutos, que por sua vez, depende do número de colheitas realizadas.

Para o acúmulo de fósforo total (ACPT), foi observado comportamento semelhante ao obtido para ACPFR, com os dados sendo ajustados a equações quadráticas. Os maiores valores ocorreram para os níveis 150, 171 e 296% de NK, com 0,78, 0,50 e 0,62 g planta⁻¹, para os manejos M₁, M₂ e M₃, respectivamente (Figura 34D).

De forma geral, o fósforo é o macronutriente absorvido pelas plantas de pimentão em menor quantidade, principalmente em comparação com o nitrogênio e o potássio. Na literatura são encontrados resultados divergentes quanto ao ACPFR, variando principalmente em função do ciclo da cultura e do número de colheitas, uma vez que a maior parte do P absorvido pelas plantas é translocado para os frutos. Marcussi et al. (2004) obtiveram ACPFR de 0,36 g planta⁻¹, bem próximo aos valores encontrados neste trabalho, mas bem abaixo aos resultados obtidos por Fontes, Dias e Graça (2005) e Charlo et al. (2012), que observaram ACPFR de 1,40 e 1,14 g planta⁻¹, para ciclos 224 e 189 DAT, respectivamente.

Na Tabela 31 é mostrada a partição de fósforo nas diferentes partes das plantas e de acordo com cada manejo de fertirrigação. De forma geral, os maiores contribuições do P absorvido pelas plantas estão presentes nos frutos, com

participação de aproximadamente 39,44, 60,58 e 51,31% para M₁, M₂ e M₃, respectivamente. Em seguida aparece a participação das folhas, com 34,11% para M₁, 23,55% para M₂ e 25,64% para M₃.

Tabela 31 - Distribuição de fósforo no tecido vegetal do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Partes da planta	Níveis de N e K (%)						Média
	0	50	100	150	200	300	
M ₁ -Fertirrigação a partir da marcha de absorção							
Total (g planta ⁻¹)	0,26	0,39	0,46	0,54	0,53	0,28	0,41
Folhas (%)	46,15	33,33	26,09	31,48	28,30	39,29	34,11
Caule (%)	19,23	20,51	19,57	35,19	32,08	32,14	26,45
Frutos (%)	34,62	46,15	54,35	33,33	39,62	28,57	39,44
M ₂ -Fertirrigação a partir monitoramento da concentração de N e K							
Total (g planta ⁻¹)	0,26	0,48	0,45	0,51	0,49	0,42	0,44
Folhas (%)	46,15	25,00	17,78	17,65	20,41	14,29	23,55
Caule (%)	19,23	22,92	15,56	13,73	14,29	9,52	15,87
Frutos (%)	34,62	52,08	66,67	68,63	65,31	76,19	60,58
M ₃ -Fertirrigação a partir monitoramento da condutividade elétrica							
Total (g planta ⁻¹)	0,26	0,52	0,49	0,67	0,57	0,56	0,51
Folhas (%)	46,15	21,15	26,53	22,39	22,81	26,79	27,64
Caule (%)	19,23	17,31	16,33	23,88	22,81	26,79	21,06
Frutos (%)	34,62	61,54	57,14	53,73	54,39	46,43	51,31

A menor translocação de P encontrada no manejo M₁ pode-se ser atribuída à menor produção de frutos observada neste manejo de fertirrigação. Esses resultados demonstram que os frutos são os drenos preferenciais do fósforo extraído pelas plantas de pimentão, fato este já observado por outros autores. Marcussi et al. (2004) obtiveram 50,6% de P nos frutos, enquanto Fontes, Dias e Graça (2005) verificaram 60%. Já Freitas (2009), trabalhando com essa mesma cultivar, obteve participação dos frutos em 35,24%.

4.8.3 Teor e acúmulo de potássio

A partir da análise de variância, verificou-se efeito significativo da interação entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K, para teor e acúmulo de potássio nas folhas (TKF, ACKF); bem como para acúmulo de potássio no caule (ACKC) e nos frutos (ACKF) em nível de significância de 1% de probabilidade, não

havendo, no entanto, interação significativa para teor de potássio no caule (TKC) e nos frutos (TKFR), nem para acúmulo de potássio total (ACKT). Considerando o efeito dos fatores isoladamente, foi observada resposta significativa entre os manejos de fertirrigação para TKF, ACKF, ACKC e ACKFR ($p < 0,01$), não havendo efeito significativo para as demais variáveis. Com relação ao efeito dos níveis de N e K, verificou-se resposta significativa para todas as variáveis em nível de 1% de probabilidade (Tabela 33).

Tabela 32 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de potássio nas folhas (TKF), no caule (TKC) e nos frutos (TKFR), e acúmulo de potássio nas folhas (ACKF), no caule (ACKC), nos frutos (ACKFR) e total (ACKT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis						
	TKF	TKC	TKFR	ACKF	ACKC	ACKFR	ACKT
----- valores de 'F' -----							
Manejos (M)	37,25**	5,65**	1,63 ^{ns}	7,62**	7,01**	20,22**	2,14 ^{ns}
Níveis (N)	55,39**	47,94**	24,98**	34,09**	37,81**	22,09**	57,96**
M x N	21,16**	7,03**	17,60**	3,23**	4,69**	3,38**	1,61 ^{ns}
Blocos	0,17	0,303	1,40	0,86	0,48	3,34	0,82
CV (%)	10,90	10,66	11,58	20,09	21,32	28,66	15,69
Componetes da Regressão	----- valores de 'F' -----						
M ₁ -Linear	108,97**	4,52*	0,87 ^{ns}	16,93**	5,42*	31,21**	22,51**
M ₁ -Quadrática	75,75**	19,49**	1,32 ^{ns}	41,85**	15,55**	26,01**	70,44**
M ₂ -Linear	103,14**	19,64**	0,67 ^{ns}	5,34*	21,45**	5,24*	22,99**
M ₂ -Quadrática	93,81**	1,07 ^{ns}	1,80 ^{ns}	4,44*	13,96**	23,12**	55,29**
M ₃ -Linear	74,63**	22,66**	0,08 ^{ns}	31,63**	7,32**	77,09**	64,63**
M ₃ -Quadrática	95,94**	0,07 ^{ns}	0,23 ^{ns}	6,06*	21,91**	13,75**	41,82**

**Significativo em nível de 1% de probabilidade; * Significativo em nível de 5% de probabilidade;

^{ns}Não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

As plantas do manejo M₂ apresentaram teores de potássio no tecido foliar (TKF) do pimentão (57,29 g kg⁻¹), enquanto os manejos M₁ e M₃ não diferiram entre si estatisticamente, apresentando TKF médio de 52,93 g kg⁻¹, correspondendo a diferença na ordem de 8,25% em comparação com o manejo M₂. Analisando o efeito dos manejos de fertirrigação sobre o TKF em cada nível de N e K, pode-se verificar que, com exceção dos níveis 0 e 50% de NK, o manejo M₁ apresentou sempre os

menores valores, principalmente em comparação com o manejo M₂. Comparando-se os valores obtidos nos manejos M₂ e M₃, verifica-se diferença significativa apenas nos níveis 50 e 100% de NK, com maiores valores, em ambos os casos ocorrendo no manejo M₂ (Tabela 33).

Tabela 33 - Valores médios para teores de potássio nas folhas (TKF), caule (TKC) e frutos (TKFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fertilização e níveis de nitrogênio e potássio				
Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis		
		TKF	TKC	TKFR
		----- (g kg ⁻¹) -----		
0	M ₁	55,92 A	20,36 A	24,22 A
	M ₂	55,92 A	20,36 A	24,22 A
	M ₃	55,92 A	20,36 A	24,22 A
50	M ₁	54,19 A	24,30 B	27,07 B
	M ₂	52,64 A	38,73 A	32,79 A
	M ₃	44,50 B	29,09 B	27,03 B
100	M ₁	42,79 C	33,50 A	26,34 C
	M ₂	56,05 A	32,14 A	35,54 A
	M ₃	49,04 B	30,99 A	30,05 B
150	M ₁	53,37 B	41,01 A	32,94 A
	M ₂	58,29 A	41,24 A	33,87 A
	M ₃	57,82 A	30,52 B	28,87 A
200	M ₁	48,76 B	40,81 A	29,61 A
	M ₂	55,07 A	38,06 A	32,90 A
	M ₃	54,12 A	41,83 A	24,12 B
300	M ₁	55,76 B	29,09 B	31,10 A
	M ₂	65,78 A	37,22 A	32,41 A
	M ₃	62,91 A	38,79 A	23,25 B
Média	M ₁	51,63	31,51	28,55
	M ₂	57,29	34,63	31,96
	M ₃	54,05	31,93	26,26

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Silva et al. (2001) verificaram TKF variando de 64,9 a 66,8 g kg⁻¹, valores esses acima dos obtidos neste trabalho. Porém, vale salientar que no presente trabalho, as análises foram realizadas no final do experimento, que ocorreu aos 120

DAT, e essa diferença pode ser atribuída ao efeito diluição que ocorre ao longo do ciclo da cultura.

Outros autores encontraram, no início da floração, teores de K no tecido foliar variando de 25 a 60 g kg⁻¹ (Melo et al., 2000; Ribeiro et al., 2000; Oliveira et al., 2004; Marcussi, 2005). Falcão et al. (2003) observaram que os teores de K nas folhas em aproximadamente 43,0 g kg⁻¹. Mills e Jones (1996) encontraram TKF de 35 a 45 g kg⁻¹, enquanto Reuter e Robison (1997) consideraram adequados ou suficientes, TKF entre 40 a 60 g kg⁻¹. Desta forma, os teores foliares de K obtidos neste trabalho encontram-se dentro das faixas observadas por esses autores.

O teor de potássio no caule (TKC) foi menor que o observado para o tecido foliar, e apresentou maiores valores variando de 20,36 g kg⁻¹ (0% NK) a 41,83 g kg⁻¹ (M₁-200% NK). De forma geral, os maiores valores ocorreram no manejo M₂, com TKC de 34,63 g kg⁻¹; enquanto os demais manejos (M₁ e M₃) não diferiram entre si, e apresentaram TKC médio de 31,72 g kg⁻¹, inferior em cerca de 9,16% em comparação com o manejo M₂.

Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K, verificou-se que o manejo M₂ apresentou sempre os menores valores, apesar de, em alguns casos, não diferir estatisticamente dos demais (Tabela 33).

Com relação ao teor de potássio nos frutos (TKFR), verificou-se valores variando de 23,25 g kg⁻¹ (300% de NK) a 35,54 g planta⁻¹ (100% de NK). De forma geral os maiores valores ocorreram no manejo M₂, com TKFR médio de 31,95 g planta⁻¹, sendo superior em aproximadamente 16,6% em comparação com os teores médios de K obtidos nos manejos M₁ e M₂ (27,4 g kg⁻¹). Considerando cada nível de N e K, verifica-se que, na maioria dos casos, os maiores valores são encontrados no manejo M₂ (Tabela 33). Marcussi (2005) encontrou, ao longo do ciclo do pimentão, teor de K nos frutos variando de 40,8 a 28,8 g kg⁻¹, valores esses bem próximos aos obtidos neste trabalho.

Na Figura 35A são mostrados os teores de potássio nas folhas (TKF) em função do aumento de níveis de N e K, na qual se pode observar que para os três manejos de fertirrigação utilizados (M₁, M₂ e M₃) houve resposta ao aumento da adubação nitrogenada e potássica. Para ambos os casos, os dados foram ajustados a equações quadráticas, apesar de apresentarem pouca variação. Foram

observados, no maior nível (300% NK), os TKF de 56,9, 65,4 e 41,0 g kg⁻¹, para os manejos M₁, M₂ e M₃, respectivamente.

Figura 35 - Teores de potássio nas folhas (A), caule (B) e frutos (C) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Araújo et al. (2007) encontraram TKF de 42,98 g kg⁻¹, enquanto Alves et al. (2009) observaram variação de 45,7 a 49,8 g kg⁻¹. Esses resultados demonstram que as plantas utilizadas neste trabalho apresentaram teores de K no tecido foliar em conformidade com a literatura.

Para o teor de potássio no caule (TKC), foi verificado comportamento quadrático para os três manejos de fertirrigação. Os maiores TKC ocorreram para os níveis de 182, 202 e 297% de NK, com 39,5, 40,7 e 39,6 g kg⁻¹, para os manejos M₁, M₂ e M₃, respectivamente (Figura 35B). Esses valores estão próximos aos encontrados por Marcussi (2005), que verificou TKC variando de 49,0 a 26,3 g kg⁻¹.

Avaliando o efeito dos níveis de N e K sobre o teor de potássio nos frutos (TKFR), verificou-se comportamento distinto entre os manejos de fertirrigação. Para o manejo M₁ os dados foram ajustados a equação linear, sendo observado aumento no TKFR em resposta ao incremento nas doses de N e K, obtendo-se 32,3 g kg⁻¹ para o nível 300% NK, correspondendo ao aumento de 27,1% em comparação com os valores obtidos nas plantas que não receberam adubações com N e K (0% NK). Para os manejos M₂ e M₃, os dados foram ajustados a equações quadráticas, e os maiores valores ocorreram nas proporções 183 e 129% de NK, com 44,3 e 28,2 g kg⁻¹, para os manejos M₂ e M₃, respectivamente (Figura 34C). Marcussi et al. (2005) encontrou TKFR variando de 40,8 a 28,8 g kg⁻¹ ao longo do ciclo, com os maiores valores ocorrendo nas primeiras colheitas.

Com relação ao acúmulo de potássio no tecido foliar (ACKF), os maiores valores foram obtidos nos manejos M₁ e M₃, que não diferiam entre si e apresentaram ACKF médio de 2,62 g planta⁻¹, sendo superior em aproximadamente 22,30% em comparação com o ACKF obtido no manejo M₂. Analisando o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K, foi observada diferença significativa nos níveis 150 e 300% NK, nos quais os menores valores ocorreram no manejo M₂, enquanto que nos demais níveis não ocorreram diferença significativa entre os manejos de fertirrigação (Tabela 34).

Para o acúmulo de potássio no caule (ACKC), verificou-se comportamento semelhante ao observado para ACKF, com maiores valores nos manejos M₁ e M₃, que não diferiam entre si, e apresentaram ACKF médio de 1,81 g planta⁻¹. Fazendo-se o desdobramento entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K,

observa-se que, na maioria dos níveis, os menores valores foram obtidos no manejo M₂ (Tabela 34).

Avaliando o acúmulo de potássio nos frutos (ACKFR), verificou-se que os maiores valores ocorreram no manejo M₂ (2,32 g planta⁻¹), seguido pela M₃ (1,82 g planta⁻¹) e M₁ (2,32 g planta⁻¹). Verificou-se ainda que o M₂ foi superior aos manejos M₁ e M₃ em aproximadamente 71,8 e 27,5%, respectivamente. Já o manejo M₃ foi superior ao M₁ em cerca de 34,8%. Fazendo-se o desdobramento dos fatores estudados, pode-se observar que, com exceção dos níveis 0 e 50% NK, o manejo M₁ apresentou sempre os menores valores, apesar de não diferir do manejo M₃ em alguns níveis de N e K (Tabela 34).

Tabela 34 - Valores médios para acúmulo de potássio nas folhas (ACKF), caule (ACKC), frutos (ACKFR) e total (ACKT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Submetido a manejos da fertilização e níveis de nitrogênio e potássio					
Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis			
		ACKF	ACKC	ACKFR	ACKT
		----- (g planta ⁻¹) -----			
0	M ₁	0,96 A	0,53 A	0,52 A	2,01
	M ₂	0,96 A	0,53 A	0,52 A	2,01
	M ₃	0,96 A	0,53 A	0,52 A	2,01
50	M ₁	2,45 A	1,27 B	2,03 A	5,76
	M ₂	2,38 A	2,08 A	1,82 A	6,28
	M ₃	1,81 A	1,74 AB	2,27 A	5,81
100	M ₁	2,51 A	1,95 A	1,93 B	6,39
	M ₂	2,32 A	1,45 A	3,39 A	7,06
	M ₃	2,62 A	1,71 A	2,31 B	6,64
150	M ₁	3,60 A	2,62 A	1,33 B	7,56
	M ₂	2,66 B	1,66 B	2,96 A	7,28
	M ₃	3,87 A	2,17 AB	2,53 A	8,57
200	M ₁	3,04 A	2,94 A	1,63 B	7,6
	M ₂	2,61 A	1,87 B	2,59 A	7,06
	M ₃	2,94 A	2,46 AB	1,79 AB	7,19
300	M ₁	2,93 B	1,63 B	0,64 B	5,2
	M ₂	1,94 C	1,29 B	2,65 A	5,87
	M ₃	3,79 A	2,29 A	1,51 B	7,59
Média	M ₁	2,58	1,82	1,35	5,75 A
	M ₂	2,15	1,48	2,31	5,93 A
	M ₃	2,67	1,81	1,82	6,30 A

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Com relação ao acúmulo total de potássio (ACKT), verificou-se que não houve diferença entre os manejos de fertirrigação, sendo obtido entre os três manejos, o ACKT médio de $6,0 \text{ g planta}^{-1}$ (Tabela 29).

Avaliando o efeito dos níveis de N e K sobre o acúmulo de potássio nas folhas (ACKF), pôde-se observar que, para os três manejos de fertirrigação, houve aumento no ACKF em resposta ao incremento nas doses de N e K, até determinado nível, decrescendo a partir deste, o qual foi variável para cada manejo. Os maiores valores de ACKF ocorreram nos níveis 200, 163 e 263% de NK, com ACKF de 3,3, 2,6 e $3,7 \text{ g planta}^{-1}$, para M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente. Comparando-se esses valores com os obtidos na ausência da adubação nitrogenada e potássica, verificam-se aumentos de correspondente ao aumento de 195% para M_1 , 118% para M_2 e 286% para M_3 (Figura 36A).

Para o acúmulo de potássio no caule (ACKC), também foram ajustadas equações quadráticas para os três manejos de fertirrigação. Para M_1 os maiores valores de ACKC ocorreram no nível de 184% de NK ($4,9 \text{ g planta}^{-1}$), enquanto no M_2 os maiores valores foram observados para o nível 167% de NK ($1,9 \text{ g planta}^{-1}$). Já para o manejo M_3 , verificaram-se os maiores acúmulos de K no nível 220% de NK ($2,3 \text{ g planta}^{-1}$). Dessa forma, comparando-se esses valores com os obtidos no nível 0% de NK, verificam-se diferenças de aproximadamente 1302, 116 e 241%, para M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 36B).

Com relação ao acúmulo de potássio nos frutos (ACKFR) em função de níveis de N e K, os dados também foram ajustados a equações quadráticas para todos os manejos de fertirrigação, e o ponto de máximo variou de acordo com o manejo adotado. Os maiores valores de ACKFR ocorreram nos níveis 133%, 189% e 155% de NK, com 1,7, 3,1 e $2,3 \text{ g planta}^{-1}$, para os manejos M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 36C).

Como não houve efeito significativo da interação entre os fatores para acúmulo total de potássio (ACKT), os dados obtidos nos três manejos de fertirrigação foram ajustados a apenas uma equação de regressão, sendo que a equação quadrática apresentou maior ajuste, a partir da qual se pôde constatar que o maior ACKT ocorreu para o nível 190% de NK, com $8,0 \text{ g planta}^{-1}$, correspondendo ao aumento de aproximadamente 211% em comparação com os valores obtidos

sem aplicação de N e K (0% de NK), no qual se estima o total de 2,56 g planta⁻¹ (Figura 36D).

Figura 36 - Acúmulo de potássio nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Na Tabela 35 é mostrada a distribuição relativa de potássio nas diferentes partes das plantas, de acordo com cada manejo de fertirrigação e níveis de N e K. Pode-se observar que houve variação na distribuição de potássio de acordo com o manejo de fertirrigação adotado. Para o manejo M₁ houve maior translocação de K para as folhas (45,60%), seguida pelo caule (30,61%) e frutos (23,79%).

No manejo M₂ houve maior equilíbrio entre folhas e frutos, com participação média de 37,42%, enquanto o caule absorveu 25,16%. Já para o manejo M₃, houve maior translocação de K para as folhas (42,38%), enquanto que para caule e frutos houve distribuição média de 28,81% (Tabela 35). Fontes, Dias e Graça (2005) observaram que os frutos exportaram cerca de 40% do total de K absorvido pelas plantas, enquanto Marcussi et al. (2004) obtiveram participação dos frutos com 31,6%. Para essa mesma cultivar, mas em condições de campo, Freitas observou que cerca de 37,4% do total de K extraído pelas plantas foram translocados para os frutos, estando assim de acordo com os resultados obtidos neste trabalho.

Tabela 35 - Distribuição de potássio no tecido vegetal do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Partes da planta	Níveis de N e K (%)						Média
	0	50	100	150	200	300	
M ₁ -Fertirrigação a partir da marcha de absorção							
Total (g planta ⁻¹)	2,01	5,75	6,39	7,55	7,61	5,20	5,75
Folhas (%)	47,76	42,61	39,28	47,68	39,95	56,35	45,60
Caule (%)	26,37	22,09	30,52	34,70	38,63	31,35	30,61
Frutos (%)	25,87	35,30	30,20	17,62	21,42	12,31	23,79
M ₂ -Fertirrigação a partir monitoramento da concentração de N e K							
Total (g planta ⁻¹)	2,01	6,28	7,16	7,28	7,07	5,88	5,95
Folhas (%)	47,76	37,90	32,40	36,54	36,92	32,99	37,42
Caule (%)	26,37	33,12	20,25	22,80	26,45	21,94	25,16
Frutos (%)	25,87	28,98	47,35	40,66	36,63	45,07	37,43
M ₃ -Fertirrigação a partir monitoramento da condutividade elétrica							
Total (g planta ⁻¹)	2,01	5,82	6,64	8,57	7,19	7,59	6,30
Folhas (%)	47,76	31,10	39,46	45,16	40,89	49,93	42,38
Caule (%)	26,37	29,90	25,75	25,32	34,21	30,17	28,62
Frutos (%)	25,87	39,00	34,79	29,52	24,90	19,89	29,00

4.8.4 Teor e acúmulo de cálcio

A partir da análise de variância verificou-se que houve efeito significativo da interação entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K sobre teor de cálcio nas folhas (TCaF) e no caule (TCaC), acúmulo de cálcio no caule (ACCaC) e nos frutos (ACCaFR) em nível de 1% de probabilidade, enquanto para acúmulo de cálcio nas folhas (ACCaF) e total (ACCaT) houve efeito significativo em nível de 5%. Para o efeito dos fatores isolados, foi observada resposta significativa ao fator manejo de fertirrigação para TCaF, TCaC, TCaFR, ACCaF, ACCaC ($p < 0,05$), não havendo resposta significativa para ACCaFR e ACCaT ($p > 0,05$). Com relação ao efeito dos níveis de N e K, verificou-se que, com exceção do TCaFR, houve resposta significativa para as demais variáveis em nível de significância de 1% de probabilidade (Tabela 36).

Tabela 36 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de cálcio nas folhas (TCaF), no caule (TCaC) e nos frutos (TCaFR), e acúmulo de cálcio nas folhas (ACCaF), no caule (ACCaC), nos frutos (ACCaFR) e total (ACCaT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis						
	TCaF	TCaC	TCaFR	ACCaF	ACCaC	ACCaFR	ACCaT
	----- valores de 'F' -----						
Manejos (M)	14,09**	115,39**	22,14**	8,45**	8,95**	0,67 ^{ns}	1,38 ^{ns}
Níveis (N)	18,00**	13,60**	0,41 ^{ns}	14,52**	16,38**	15,16**	28,53**
M x N	8,77**	22,11**	1,74 ^{ns}	2,68*	4,91**	2,77**	2,52*
Blocos	1,68	1,64	1,05	1,15	0,42	3,08	0,83
CV (%)	13,60	13,27	16,24	25,70	23,27	33,25	18,51
Componetes da Regressão	----- valores de 'F' -----						
M ₁ -Linear	108,97**	4,52*	0,87 ^{ns}	16,93**	5,42*	31,21**	2,18 ^{ns}
M ₁ -Quadrática	75,75**	19,49**	1,32 ^{ns}	41,85**	15,55**	26,01**	27,36**
M ₂ -Linear	103,14**	19,64**	0,67 ^{ns}	5,34*	21,45**	5,24*	5,88*
M ₂ -Quadrática	93,81**	1,07 ^{ns}	1,80 ^{ns}	4,44*	13,96**	23,12**	7,04**
M ₃ -Linear	74,63**	22,66**	0,08 ^{ns}	31,63**	7,32**	77,09**	7,35**
M ₃ -Quadrática	95,94**	0,07 ^{ns}	0,23 ^{ns}	6,06*	21,91**	13,75**	18,39**

**Significativo em nível de 1% de probabilidade; * Significativo em nível de 5% de probabilidade;

^{ns}Não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Os maiores teores de cálcio no tecido foliar (TCaF) foram obtidos nos manejos M_2 e M_3 , que não diferiram entre si estatisticamente, e apresentaram TCaF médio de $11,79 \text{ g kg}^{-1}$, superior em cerca de 20,5% em comparação ao TCaF encontrado para o manejo M_1 ($9,78 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 37).

Tabela 37 - Valores médios para teores de cálcio nas folhas (TCaF), no caule (TCaC) e nos frutos (TCaFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis		
		TCaF	TCaC	TCaFR
		----- (g kg ⁻¹) -----		
0	M_1	14,17 A	11,68 A	6,50
	M_2	14,17 A	11,68 A	6,50
	M_3	14,17 A	11,68 A	6,50
50	M_1	10,95 B	9,53 A	7,20
	M_2	12,09 AB	8,35 A	6,30
	M_3	13,82 A	8,79 A	5,01
100	M_1	8,09 B	10,58 B	7,55
	M_2	8,58 B	20,16 A	5,88
	M_3	14,02 A	8,44 B	6,16
150	M_1	7,83 B	8,83 B	7,73
	M_2	10,45 A	21,59 A	5,59
	M_3	9,25 B	8,32 B	5,46
200	M_1	8,71 A	8,26 B	7,81
	M_2	10,46 A	18,47 A	5,9
	M_3	10,56 A	8,81 B	4,4
300	M_1	8,93 A	10,19 A	7,63
	M_2	8,83 A	11,28 A	5,35
	M_3	9,50 A	9,13 A	5,78
Média	M_1	9,78	9,85	7,40 A
	M_2	11,69	15,26	5,92 B
	M_3	11,89	9,2	5,55 B

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M_1 – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M_2 – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M_3 – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K, pode-se observar que o manejo M_3 apresentou maiores valores na maioria dos níveis, apesar de em alguns casos não diferir dos demais manejos (Tabela 37). Esses

valores são próximos os obtidos por Alves et al. (2009), que avaliando a nutrição do pimentão observaram teor de cálcio no tecido foliar variando de 8,8 a 10,7 g kg⁻¹.

Para o teor de cálcio no caule (TCaC), os maiores valores foram obtidos nas plantas fertirrigadas por meio do manejo M₂ (15,26 g kg⁻¹), enquanto que os demais manejos (M₁ e M₃) não diferiram entre si e apresentaram TCaC médio de 9,52 g kg⁻¹, inferior em aproximadamente 60,2% em comparação com o manejo M₂ (Tabela 37).

Com relação ao teor de cálcio nos frutos (TCaFR) verificou-se diferença significativa entre os manejos de fertirrigação, sendo o maior valor observado no manejo M₁ (7,40 g kg⁻¹), superior em cerca de 29,1% em relação aos valores médios obtidos nos manejos M₂ e M₃, que não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram TCaFR médio de 5,74 g kg⁻¹ (Tabela 37).

Avaliando o efeito dos níveis de N e K sobre o teor de cálcio nas diferentes partes das plantas, verificou-se que a resposta foi variada de acordo com a parte analisada. Para o teor de cálcio nas folhas (TCaF) verificou-se que, de forma geral, houve redução de acordo com o aumento nos níveis de N e K. Para o manejo M₁ os dados foram ajustados a equação quadrática, ocorrendo, inicialmente, redução no TCaF até o nível de 197% NK (7,6 g kg⁻¹), seguida pelo aumento, com maior TCaF no nível 300% NK (9,3 g kg⁻¹) (Figura 37A).

Para os manejos M₂ e M₃, os dados foram ajustados a equações lineares, e foram reduzidos a medida em que se aumentou as doses de N e K, ocorrendo reduções totais de aproximadamente 33,1 e 37,7% no nível 300% de NK (M₂=8,48 e M₃=8,82 g kg⁻¹) em comparação com os valores obtidos no nível 0% de NK, para M₂ (12,7 g kg⁻¹) e M₃ (14,3 g kg⁻¹) respectivamente (Figura 37A). Esses valores são próximos aos obtidos por Alves et al. (2009), que observaram teor de cálcio no tecido foliar variando de 8,8 a 10,7 g kg⁻¹, no entanto, estão bem abaixo dos resultados obtidos por Marcussi (2005), que observou TCaF variando de 20 a 31,8 g kg⁻¹.

Figura 37 - Teores de cálcio nas folhas (A) e no caule (B) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Silva et al. (2001) avaliaram o efeito de doses de N e K sobre a nutrição do pimentão, e não encontraram efeito significativo sobre o teor de cálcio no tecido foliar. Esses autores observaram TCaF variando de 10,4 a 15,4 g kg⁻¹. Sedyama et al. (2009) encontraram valores variando de 13,8 a 17,3 g kg⁻¹, valores próximos aos obtidos neste trabalho.

Pode-se observar ainda que, na maioria dos casos, o TCaF obtido no presente trabalho está próximo a faixa adequada para a cultura, que de acordo com Reuter e Robison (1997) e Jones Júnior, Wolf e Mills (1991), situa-se entre 10 e 28 g kg⁻¹.

Para o teor de cálcio no caule (TCaC), verificou-se maior efeito dos níveis de N e K para o manejo M₂, sendo observado aumento no TCaC até o nível 167% de NK (20,0 g kg⁻¹), e decrescendo a partir deste, com 13,0 g kg⁻¹ no maior nível (300% de NK), ajustando-se assim a equação quadrática (Figura 37B).

Para os manejos M₁ e M₃ observou-se comportamento semelhante, apresentando pequena redução com o aumento nos níveis de N e K, e tendência de aumento nos maiores níveis, ajustando-se também a equações quadráticas. Nesses

manejos foram observados valores variando de 9,34 a 11,59 para M_1 e de 8,35 a 11,17 para M_3 (Figura 37C). Esses valores são próximos aos obtidos por Marcussi (2005), que avaliou a nutrição do pimentão ao longo do ciclo da cultura e observou TCaC variando de 6,8 a 13,0 g kg⁻¹.

Não foi observado efeito dos níveis de N e K sobre o teor de cálcio nos frutos (TCaFR), sendo obtidos o valor médio de 6,29 g kg⁻¹, valor próximo aos obtidos por Marcussi (2005), que obteve valores variando de 2,1 a 6,1 g kg⁻¹.

De forma geral, os frutos apresentaram menores teores de cálcio em comparação com as folhas e o caule. A ausência de resposta aos níveis de N e K pode ser atribuída ao mecanismo de absorção e translocação do cálcio pelas plantas. A translocação de Ca na planta é feita, praticamente, pela corrente transpiratória via xilema e, como consequência, as folhas possuem altas concentrações, e os frutos, baixas concentrações (MARSCHNER, 1995), fato este observado por Fontes, Dias e Graça (2005).

Na Tabela 38 são mostrados os valores de acúmulo de cálcio nas diferentes partes da planta, na qual se pode observar que o maior acúmulo de cálcio nas folhas (ACCaF) ocorreu no manejo M_3 (0,58 g planta⁻¹), enquanto os demais manejos (M_1 e M_2) não diferiram estatisticamente entre si, e apresentaram ACCaF médio de 0,45 g planta⁻¹, sendo assim inferior em 28,9% em comparação com M_1 . Fazendo-se o desdobramento dos fatores estudados (manejos de fertirrigação e níveis de N e K), pode-se observar ainda haver diferença significativa entre os manejos de fertirrigação na maioria dos níveis estudados, com o manejo M_3 apresentando maiores valores na maioria dos casos. Marcussi et al. (2004) estudaram o acúmulo de nutrientes ao longo do ciclo do pimentão e verificaram, ACCaF de 0,78 g planta⁻¹ aos 120 DAT.

O maior acúmulo de cálcio no caule (ACCaC) foi observado para o manejo M_2 , com média de 0,64 g planta⁻¹, e os menores valores ocorreram nos manejos M_1 e M_3 , que não diferiram entre si e apresentaram ACCaC médio de 0,51 g planta⁻¹, com diferença de 26,1% em relação ao manejo M_1 .

Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K, verificou-se que o manejo M_2 foi superior aos demais manejos para os níveis 100, 150 e 300% de NK, nos quais pode-se observar ainda que os manejos M_1 e M_3 não

diferiram entre si estatisticamente (Tabela 38). Marcussi et al. (2004) obtiveram cerca de $0,21 \text{ g planta}^{-1}$ de Ca acumulados no caule.

Tabela 38 - Valores médios para acúmulo de cálcio nas folhas (ACCaF), caule (ACCaC), frutos (ACCaFR) e total (ACCaT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

		Variáveis			
Níveis de NK (%)	Manejos	ACCaF	ACCaC	ACCaFR	ACCaT
		----- (g planta ⁻¹) -----			
0	M ₁	0,24 A	0,30 A	0,14 A	0,68 A
	M ₂	0,24 A	0,30 A	0,14 A	0,68 A
	M ₃	0,24 A	0,30 A	0,14 A	0,68 A
50	M ₁	0,50 B	0,49 A	0,55 A	1,54 A
	M ₂	0,56 AB	0,45 A	0,35 A	1,36 A
	M ₃	0,72 A	0,52 A	0,42 A	1,65 A
100	M ₁	0,49 B	0,62 B	0,67 A	1,78 A
	M ₂	0,36 B	0,91 A	0,54 A	1,81 A
	M ₃	0,75 A	0,45 B	0,48 A	1,68 A
150	M ₁	0,53 A	0,56 B	0,31 A	1,40 B
	M ₂	0,72 A	0,87 A	0,49 A	2,08 A
	M ₃	0,63 A	0,59 B	0,48 A	1,70 AB
200	M ₁	0,54 A	0,60 B	0,43 A	1,57 AB
	M ₂	0,49 A	0,91 A	0,49 A	1,89 A
	M ₃	0,57 A	0,52 B	0,33 A	1,41 B
300	M ₁	0,47 AB	0,56 A	0,15 B	1,19 A
	M ₂	0,26 B	0,38 A	0,45 A	1,09 A
	M ₃	0,57 A	0,55 A	0,38 A	1,49 A
Média	M ₁	0,46	0,52	0,37	1,36
	M ₂	0,44	0,64	0,41	1,49
	M ₃	0,58	0,49	0,37	1,44

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Não houve diferença significativa entre os manejos de fertirrigação para o acúmulo de cálcio nos frutos (ACCaFR) nem para o acúmulo total (ACCaT) sendo observado entre os manejos os valores médios de $0,39 \text{ g planta}^{-1}$ para ACCaFR e de $1,43 \text{ g planta}^{-1}$ para ACCaT. Fazendo o desdobramento dos fatores pode-se verificar que houve diferença significativa entre os manejos de fertirrigação para ACCaFR

apenas no nível 300% de NK, no qual o manejo M_1 apresentou o menor valor, e os manejos M_2 e M_3 não diferiram entre si. Já para ACCaT, houve diferença significativa nos níveis 150 e 200% de NK, ocorrendo nesses casos os maiores valores para M_2 e M_3 no nível 150% de NK, e para M_1 e M_2 no nível 200% de NK (Tabela 38).

Na Figura 38 é mostrado o efeito dos níveis de N e K sobre o acúmulo de cálcio nas diferentes partes das plantas. Como houve interação significativa entre os fatores estudados para o acúmulo de cálcio nas folhas, foram ajustadas equações de regressão para cada manejo de fertirrigação.

Avaliando o acúmulo no tecido foliar (ACCaF), verificou-se que houve aumento no acúmulo de Ca em resposta ao incremento das doses de N e K, até determinado nível, que variou de acordo com cada manejo de fertirrigação. Assim, os dados foram ajustados a equações quadráticas, e os maiores valores foram obtidos para os níveis de 183, 146 e 162% de NK, obtendo-se ACCaF de 0,55, 0,57 e 0,70 g planta⁻¹, para os manejos M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 38A).

A partir desses níveis houve decréscimo no acúmulo de cálcio, decorrente, provavelmente, do aumento de sais no solo, conforme observado por Leonardo et al. (2008). Marcussi et al. (2004) verificaram ACCAF de 0,78 g planta⁻¹, valor esse próximo aos observados neste trabalho.

Com relação ao ACCaC, verificou-se que para os três manejos de fertirrigações os dados foram ajustados a equações quadráticas, e os maiores ACCaC foram obtidos para os níveis de 191, 162 e 214% de NK, com 0,61, 0,91 e 1,01 g planta⁻¹, para M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 38B). Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Marcussi et al. (2004), que encontraram acúmulo de Ca no caule na ordem de 0,21 planta⁻¹ aos 120 DAT.

Para o acúmulo de cálcio nos frutos (ACCaFR) também foram ajustadas equações quadráticas para cada manejo de fertirrigação, sendo obtidos os maiores valores para os níveis 130, 190 e 175% de NK, com ACCaFR de 0,51, 0,53 e 0,46 g planta⁻¹, para M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente (Figura 38C). Esses valores são maiores que os encontrados por Marcussi et al. (2004), que obtiveram cerca de 0,17 g planta⁻¹. Fontes, Dias e Graça (2005) encontraram, para o ciclo de 224 DAT, acúmulo de Ca nos frutos de aproximadamente 1,64 g planta⁻¹. Tais discrepâncias podem ser explicadas pelas diferenças no número de colheitas realizadas nesses trabalhos.

Figura 38 - Acúmulo de cálcio nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Considerando o acúmulo total de cálcio (ACCaT) pelas plantas de pimentão, verificou-se que os dados apresentaram melhor ajuste a equações quadráticas, fato

justificado pelo comportamento ocorrido para ACCaF, ACCaC e ACCaFR. Assim, os maiores valores foram observados para os níveis 163% de NK no manejo M_1 , com $1,67 \text{ g planta}^{-1}$. Para o manejo M_2 , os maiores valores correram nas plantas fertirrigadas com o nível 160% de NK, com $1,96 \text{ g planta}^{-1}$. Já no manejo M_3 o nível 185% de NK proporcionou o maior acúmulo de Ca nas plantas, obtendo-se cerca de $1,75 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 38D). Silva et al. (2001) encontraram resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, os quais avaliaram a absorção de nutrientes pelas plantas de pimentão em função de doses de N e K, e observaram resposta quadrática.

Na literatura são encontrados resultados bastante divergentes quanto à extração de cálcio pelas plantas de pimentão. Fontes, Dias e Graça (2005) obtiveram acúmulo total de $6,83 \text{ g planta}^{-1}$ para o ciclo de 224 DAT. Charlo et al. (2012) cultivaram pimentão em substrato e verificaram acúmulo de cálcio em cerca de $3,25 \text{ g planta}^{-1}$ aos 189 DAT. Marcussi et al. (2004) observaram $1,28 \text{ g planta}^{-1}$ aos 120 DAT, valor este próximo ao resultado encontrado neste trabalho.

A redução na absorção de cálcio em decorrência do aumento das adubações de N e K pode ser atribuída, ao efeito do desbalanço osmótico provocado pelo acúmulo excessivo de sais no solo, conforme observado por Leonardo et al. (2008). Segundo Jones Júnior (2005), o excesso de fertilizantes potássicos em solução nutritiva reduz a absorção de Ca, pois o K é preferencialmente absorvido e transportado na planta em relação ao Ca. Efeitos antagônicos entre cálcio e potássio podem ter contribuído para o desbalanço na fertilidade do solo, refletindo-se em declínio na absorção radicular e transporte do cálcio para os demais órgãos das plantas (MALAVOLTA, 2006).

Na Tabela 39 é mostrada a distribuição de cálcio nas diferentes partes das plantas em função de manejos de fertirrigação e níveis de N e K, na qual se pode observar que, para todos os manejos, os frutos apresentaram as menores porcentagens de cálcio, com valores médios para M_1 , M_2 e M_3 de aproximadamente 26,35%, e houve maior equilíbrio entre folhas e caule. Silva et al. (2001) observaram distribuição de cálcio na ordem de 30% para o caule, 51% para folhas e frutos com 19%. Fontes, Dias e Graça (2005) verificaram que do total do cálcio absorvido pelas plantas de pimentão, os frutos exportaram cerca de 24%. Já Marcussi et al. (2004) observaram que apenas 15,9% do total de cálcio foram translocados para os frutos.

Tabela 39 - Distribuição de cálcio no tecido vegetal do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Partes da planta	Níveis de N e K (%)						Média
	0	50	100	150	200	300	
M ₁ -Fertirrigação a partir da marcha de absorção							
Total (g planta ⁻¹)	0,68	1,54	1,78	1,4	1,57	1,18	0,68
Folhas (%)	35,29	32,47	27,53	37,86	34,39	39,83	34,56
Caule (%)	44,12	31,82	34,83	40,00	38,22	47,46	39,41
Frutos (%)	20,59	35,71	37,64	22,14	27,39	12,71	26,03
M ₂ -Fertirrigação a partir monitoramento da concentração de N e K							
Total (g planta ⁻¹)	0,68	1,36	1,81	2,08	1,89	1,09	0,68
Folhas (%)	35,29	41,18	19,89	34,62	25,93	23,85	30,13
Caule (%)	44,12	33,09	50,28	41,83	48,15	34,86	42,05
Frutos (%)	20,59	25,74	29,83	23,56	25,93	41,28	27,82
M ₃ -Fertirrigação a partir monitoramento da condutividade elétrica							
Total (g planta ⁻¹)	0,68	1,66	1,68	1,7	1,42	1,5	0,68
Folhas (%)	35,29	43,37	44,64	37,06	40,14	38,00	39,75
Caule (%)	44,12	31,33	26,79	34,71	36,62	36,67	35,04
Frutos (%)	20,59	25,30	28,57	28,24	23,24	25,33	25,21

Trabalhando com a mesma cultivar utilizada neste trabalho, mas em condições de campo, Freitas (2009) observou que o cálcio foi proporcionalmente maior na parte vegetativa, com 78,53%, enquanto os frutos apresentaram em média 21,47% do total de cálcio extraído pela cultura, resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho. Tal comportamento ocorre devido ao fato o cálcio absorvido ser translocado para parte aérea e não ser redistribuído para os frutos dentro da planta (MARSCHNER, 1995). A translocação de Ca na planta é feita, praticamente, pela corrente transpiratória via xilema e, como consequência, as folhas possuem altas concentrações, e os frutos, baixas concentrações (MARSCHNER, 1995).

O movimento do Ca na planta está estreitamente ligado ao movimento da água, resultando numa distribuição preferencial para as folhas, acompanhando a corrente transpiratória. O cálcio que chega as folhas permanece imobilizado e não se transloca para os frutos, e para atender a uma elevada demanda de cálcio nos frutos em crescimento intenso, torna-se necessário um suprimento na forma de quelato (MARTINEZ, 2004).

Conforme discutido anteriormente na classificação dos frutos, obteve-se percentual médio de 85% dos frutos com qualidade comercial, sendo que, dos 15% classificados como não comerciais, a quase totalidade destes ocorreu devido

incidência de podridão apical, distúrbio fisiológico característico da deficiência de cálcio no fruto. De acordo com Lurie (2009), o cálcio é considerado como sendo um elemento mineral que regula a qualidade do fruto, especificamente, a manutenção da firmeza, proporcionando diminuição nas perdas póscolheita e incidência de podridal apical.

4.8.5 Teor e acúmulo de magnésio

Houve efeito significativo da interação entre os fatores manejos de fertirrigação de níveis de N e K sobre o teor de magnésio no tecido foliar (TMgF) e no caule (TMgC), em nível de significância de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, não havendo resposta significativa para teor de magnésio dos frutos (TMgFR). Quanto ao acúmulo de Mg nas diferentes partes da planta, verificou-se resposta significativa em nível de 1% de probabilidade para acúmulo de Mg no caule (ACMgC), e de 5% para acúmulo de Mg total (ACMgT), não ocorrendo efeito significativo para acúmulo de Mg nas folhas (ACMgF) nem nos frutos (ACMgFR) (Tabela 40).

Quanto aos efeitos dos fatores isoladamente, verificou-se que, com exceção do ACMgFR, na qual não houve resposta significativa ($p > 0,05$), as demais variáveis foram influenciadas pelos manejos de fertirrigação ($p < 0,01$). Para o efeito dos níveis de N e K, foram observadas respostas significativas para todas as variáveis estudadas, sendo o efeito significativo em nível de 5% para TMgFR, e de 1% para as demais variáveis (Tabela 40).

Tabela 40 - Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de magnésio nas folhas (TMgF), no caule (TMgC) e nos frutos (TMgFR), e acúmulo de magnésio nas folhas (ACMgF), no caule (ACMgC), nos frutos (ACMgFR) e total (ACMgT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis						
	TMgF	TMgC	TMgFR	ACMgF	ACMgC	ACMgFR	ACMgT
	----- valores de 'F' -----						
Manejos (M)	8,49**	149,71**	5,88**	13,74**	21,06**	2,14 ^{ns}	8,56**
Níveis (N)	6,59**	10,65**	3,13*	5,23**	16,13**	13,24**	25,53**
M x N	2,41*	18,37**	2,00 ^{ns}	1,63 ^{ns}	4,73**	1,59 ^{ns}	2,50*
Blocos	0,06	0,19	2,72	0,74	0,41	0,74	0,22
CV (%)	30,20	15,75	16,90	35,62	26,13	37,42	20,96
Componentes da Regressão	----- valores de 'F' -----						
M ₁ -Linear	108,97**	4,52*	0,87 ^{ns}	16,93**	5,42*	31,21**	0,97 ^{ns}
M ₁ -Quadrática	75,75**	19,49**	1,32 ^{ns}	41,85**	15,55**	26,01**	19,37**
M ₂ -Linear	103,14**	19,64**	0,67 ^{ns}	5,34*	21,45**	5,24*	7,70**
M ₂ -Quadrática	93,81**	1,07 ^{ns}	1,80 ^{ns}	4,44*	13,96**	23,12**	61,85**
M ₃ -Linear	74,63**	22,66**	0,08 ^{ns}	31,63**	7,32**	77,09**	2,42 ^{ns}
M ₃ -Quadrática	95,94**	0,07 ^{ns}	0,23 ^{ns}	6,06*	21,91**	13,75**	26,17**

**Significativo em nível de 1% de probabilidade; * Significativo em nível de 5% de probabilidade;

^{ns}Não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

De forma geral, os maiores teores de magnésio nas folhas (TMgF) foram observados nos manejos M₂ e M₃, que não diferiram entre si estatisticamente, e apresentaram TMgF médio de 2,41 g kg⁻¹. O menor teor de Mg ocorreu no manejo M₁, mesmo não diferindo do manejo M₂. Desta forma, foi observada diferença de aproximadamente 44,1% entre os valores obtidos nos manejos M₃ e M₁. Avaliando o efeito dos manejos de fertirrigação em cada nível de N e K, verificou-se que apenas nos níveis 100 e 150% de NK houve diferença significativa entre os manejos, dentre os quais o manejo M₃ apresentava os menores valores (Tabela 41).

Para o teor de magnésio no caule (TMgC), os maiores valores foram observados no manejo M₂, com média de 4,55 g kg⁻¹, enquanto nos manejos M₁ e M₃, obteve-se o TMgC médio de 2,53 g kg⁻¹, inferior em cerca de 78,9% em comparação com M₂. Considerando cada nível de N e K, pode-se verificar ainda que, a partir do nível 100% de NK, os maiores valores ocorreram sempre no manejo M₂ (Tabela 41).

Com relação ao teor de magnésio nos frutos (TMgFR), verificou-se os maiores valores nas plantas fertirrigadas a partir dos manejos M₁ e M₂, que não diferiram entre si estatisticamente, e apresentaram TMgFR médio de 2,53 g kg⁻¹. Também não houve diferença significativa entre os manejos M₂ e M₃, com média de 2,33 g kg⁻¹. Comparando-se os manejos M₁ e M₃, foi observada diferença de aproximadamente 18,1%, sendo maior nas plantas do manejo M₁ (Tabela 41).

Tabela 41 - Valores médios para teores de magnésio nas folhas (TMgF), no caule (TMgC) e nos frutos (TMgFR) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Níveis de NK (%)	Manejos	Variáveis		
		TMgF	TMgC	TMgFR
		----- (g kg ⁻¹) -----		
0	M ₁	3,17 Aa	3,07 Aa	2,33
	M ₂	3,17 Aa	3,07 Ab	2,62
	M ₃	3,17 Aa	3,07 Aa	2,2
50	M ₁	2,39 Aab	2,79 Aa	2,64
	M ₂	1,59 Ab	3,05 Ab	2,64
	M ₃	2,54 Aa	2,31 Aab	2,64
100	M ₁	1,09 Bb	2,11 Bab	2,78
	M ₂	2,21 ABab	6,08 Aa	2,48
	M ₃	3,13 Aa	2,75 Bab	2,81
150	M ₁	1,18 Bb	1,66 Bb	2,83
	M ₂	2,75 Aab	6,29 Aa	1,84
	M ₃	2,13 ABa	2,22 Bab	1,96
200	M ₁	1,54 Ab	2,81 Ba	2,81
	M ₂	1,79 Aab	5,46 Aa	2,69
	M ₃	2,39 Aa	2,21 Bab	1,98
300	M ₁	1,38 Ab	2,16 Bab	2,52
	M ₂	1,91 Aab	3,37 Ab	2,18
	M ₃	2,13 Aa	3,37b	1,88
Média	M ₁	1,79	2,43	2,65 A
	M ₂	2,23	4,55	2,41 AB
	M ₃	2,58	2,66	2,25 B

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Avaliando o efeito dos níveis de N e K sobre o TMgF, verificou-se que variação de acordo com o manejo de fertirrigação adotado. Para M₁ os dados foram ajustados a equação quadrática. O TMgF decresceu com o aumento nos níveis de N e K, de forma que os maiores valores ocorreram nas plantas não fertirrigadas (3,09 g kg⁻¹), reduzindo a partir deste e tendendo a manter-se constante nos demais níveis, apresentando TMgF média de 1,56 g kg⁻¹ entre os níveis 100 e 300% de NK. Para os manejos M₂ e M₃ não houve efeito dos níveis de N e K, obtendo-se valores médios de 2,24 e 2,58 g kg⁻¹, para M₂ e M₃, respectivamente (Figura 39A).

Estes resultados são inferiores aos obtidos por Marcussi (2005), que obteve, ao longo do ciclo da cultura, TMgF variando de 6,1 a 11,3 g kg⁻¹. No entanto, estão acima dos resultados obtidos por Tonin (2005), que avaliando o efeito da aplicação de silício na cultura do pimentão submetido ao estresse salino, encontrou teores de Mg variando de 0,6 a 1,23 g kg⁻¹. De acordo com Mills e Jones (1996), plantas de pimentão produzindo os primeiros frutos devem apresentar teor de magnésio no tecido foliar variando de 2,5 a 12 g kg⁻¹, demonstrando assim que, na maioria dos casos, as plantas apresentaram TMgF abaixo da faixa recomendada.

Figura 39 - Teores de magnésio nas folhas (A), caule (B) e frutos (C) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Quanto aos efeitos dos níveis de N e K, verificou-se resposta quadrática para os três manejos de fertirrigação. Para os manejos M_1 e M_3 , houve decréscimo no TMgC em resposta ao aumento na adubação até determinado nível, com os menores valores obtidos nos níveis 198 e 162% de NK, com 2,13 e 2,28 g kg⁻¹, respectivamente, apresentando tendência de aumento a partir destes níveis. Para o manejo M_2 houve aumento no TMgC até o nível 162% de NK, com 5,93 g kg⁻¹, decrescendo a partir deste (Figura 39B). Marcussi (2005) avaliando a nutrição de plantas de pimentão ao longo do ciclo, verificou teores de Mg no caule variando de 3,8 a 8,6 g kg⁻¹, desta forma, apenas o manejo M_2 apresentou teor de Mg próximos aos obtidos por esse autor.

Leonardo et al. (2008) também verificaram efeito significativo ao excesso de fertilizantes sobre a concentração de Mg no caule e nas folhas de pimentão. Segundo esses autores, a redução do teor de Mg é consequência do efeito antagônico ao K, semelhante ao observado para o elemento Ca.

Não houve efeito dos níveis de N e K sobre o teor de Mg nos frutos, sendo obtidos, de forma geral, o teor médio de 2,44 g kg⁻¹. Marcussi (2005) obteve teor de magnésio nos frutos variando de 2,4 a 7,7 g kg⁻¹, valores próximos aos obtidos neste trabalho para o manejo M_1 e M_2 . Leonardo et al. (2008) encontraram teor de magnésio nos frutos de pimentão de aproximadamente 2,0 g kg⁻¹.

Com relação ao acúmulo de magnésio nas folhas (ACMgF), verificaram-se respostas variadas de acordo com cada parte da planta analisada. Os maiores valores ocorreram no manejo M_3 (0,13 g planta⁻¹), enquanto os manejos M_1 e M_2 não diferiram entre si estatisticamente e apresentaram os menores valores, com ACMgF médio de 0,08 g planta⁻¹, sendo assim inferior em 62,5% em comparação com as plantas fertirrigadas a partir do manejo M_3 (Tabela 42).

Para o acúmulo de magnésio no caule (ACMgC), verificou-se que, de forma geral, os maiores valores ocorreram no manejo M_2 , com 0,19 g planta⁻¹, e os menores valores foram obtidos nos manejos M_1 e M_3 , que não diferiram entre si, apresentando valor médio de 0,13 g planta⁻¹, com diferença de 46,2% em comparação com M_2 . Fazendo-se o desdobramento dos fatores, pode-se verificar que o manejo M_2 apresentou os maiores valores em todos os níveis e N e K, apesar de não diferir dos demais estatisticamente em alguns níveis (Tabela 42).

Tabela 42 - Valores médios para acúmulo de magnésio nas folhas (ACMgF), caule (CAMgC), frutos (ACMgFR) e total (ACMgT) em plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

		Variáveis			
Níveis de NK (%)	Manejos	ACMgF	ACMgC	ACMgFR	ACMgT
		----- (g planta ⁻¹) -----			
0	M ₁	0,06	0,08 A	0,06	0,19 A
	M ₂	0,06	0,08 A	0,06	0,19 A
	M ₃	0,06	0,08 A	0,06	0,19 A
50	M ₁	0,11	0,15 A	0,18	0,43 A
	M ₂	0,07	0,17 A	0,15	0,38 A
	M ₃	0,14	0,14 A	0,19	0,46 A
100	M ₁	0,07	0,12 B	0,24	0,43 B
	M ₂	0,11	0,27 A	0,23	0,59 A
	M ₃	0,16	0,15 B	0,22	0,53 AB
150	M ₁	0,09	0,11 B	0,11	0,29 B
	M ₂	0,12	0,26 A	0,15	0,54 A
	M ₃	0,15	0,16 B	0,18	0,78 A
200	M ₁	0,1	0,20 A	0,16	0,45 AB
	M ₂	0,09	0,26 A	0,22	0,57 A
	M ₃	0,13	0,13 B	0,15	0,41 B
300	M ₁	0,08	0,12 A	0,05	0,24 A
	M ₂	0,06	0,11 A	0,18	0,35 A
	M ₃	0,13	0,11 A	0,13	0,37 A
Média	M ₁	0,08 B	0,13	0,13 A	0,34
	M ₂	0,08 B	0,19	0,16 A	0,44
	M ₃	0,13 A	0,13	0,15 A	0,41

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M₁ – Fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura; M₂ – Fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K na solução do solo; M₃ – Fertirrigação a partir do monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Com relação ao efeito dos níveis de N e K sobre o acúmulo de Mg nas folhas, como não houve interação significativa, foi ajustada apenas uma equação de regressão para os três manejos de fertirrigação. Inicialmente houve aumento no acúmulo de Mg em decorrência do aumento dos níveis de N e K até o nível 165% de NK, com 0,12 g planta⁻¹ (Figura 40A). Negreiros (1995) obteve ACMgF variando de 0,12 a 0,16 g planta⁻¹, valor este que está próximo aos obtidos neste trabalho para o

manejo M₃. Marcussi et al. (2004) obtiveram ACMgF, aos 120 DAT, de aproximadamente 0,27 g planta⁻¹.

Figura 40 - Acúmulo de magnésio nas folhas (A), caule (B), frutos (C) e total (D) de pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Para ACMgC foram ajustadas equações de regressão para cada manejo de fertirrigação, nas quais se obtiveram os maiores ACMgC nos níveis 187, 156 e 160% de NK, com 0,22, 0,27 e 0,15 g planta⁻¹, para M₁, M₂ e M₃, respectivamente (Figura 40B). O aumento no ACMgC nos primeiros níveis de N e K deve-se ao aumento no acúmulo de massa seca no caule das plantas, e o decréscimo observado a partir do ponto de máximo ocorreu em decorrência do teor de Mg no caule das plantas, em decorrência, principalmente, do efeito antagônico do potássio. Negreiros (1995) obteve acúmulo de Mg no caule variando de 0,05 a 0,16 g planta⁻¹, enquanto Marcussi et al. (2004) observaram acúmulo de 0,14 g planta⁻¹, valores esses próximos aos obtidos neste trabalho.

Não houve diferença significativa no acúmulo de magnésio nos frutos (ACMgFR) quanto aos manejos de fertirrigação, obtendo-se ACMgFR médio de 0,15 g planta⁻¹ (Tabela 42). Já quanto ao efeito dos níveis de N e K, os dados foram ajustados a equação quadrática, com maior valor obtido para o nível 155% de NK, com 0,19 g planta⁻¹, decrescendo a partir deste nível (Figura 40C).

Os resultados obtidos neste trabalho estão próximos dos obtidos por Negreiros (1995), com 0,16 g planta⁻¹, e Marcussi et al. (2004), que obteve ACMgFR de 0,13 g planta⁻¹ aos 120 DAT. No entanto, ficaram abaixo dos resultados encontrados por Fontes, Dias e Graça (2005), os quais obtiveram ACMgFR de 0,49 g planta⁻¹. Porém, vale salientar que esses autores obtiveram esse acúmulo de Mg aos 224 DAT, ciclo bem maior que o adotado neste trabalho, que foi de 120 DAT.

Considerando o acúmulo total de magnésio (ACMgT), verificou-se os maiores valores nos manejos M₂ e M₃, que não diferiram entre si, e apresentaram ACMgT médio de 0,43 g planta⁻¹, enquanto o menor valor ocorreu no manejo M₁, com 0,34 g planta⁻¹, sendo inferior em cerca de 25,0% em comparação com os demais manejos. Fazendo-se o desdobramento dos fatores, foi observado que houve diferença significativa entre os manejos de fertirrigação apenas para os níveis 100, 150 e 200% de NK, com menores valores ocorrendo no manejo M₁ para os níveis 100 e 150% NK, e no manejo M₃ para o nível 200% NK (Tabela 42).

Para o efeito dos níveis de N e K, foram ajustadas equações de regressão para cada manejo de fertirrigação, apresentando, para os três manejos equações quadráticas. Os maiores valores foram obtidos nos níveis 145, 164 e 160% de NK, com ACMgT de 0,41, 0,57 e 0,61 g planta⁻¹, para os manejos M₁, M₂ e M₃,

respectivamente. Comparando-se esses valores com os obtidos na ausência de N e K, que foram de 0,24, 0,19 e 0,22 g planta⁻¹, foram observados ganhos de aproximadamente 69% para M₁, 193% para M₂ e 173% para M₃. (Figura 40D).

Esse comportamento pode ser atribuído ao efeito dos níveis de N e K sobre o acúmulo de fitomassa seca dos frutos, já descrito anteriormente, uma vez que, para a maioria dos casos, o acúmulo de nutrientes está diretamente relacionado com o acúmulo de fitomassa. Desta forma, o conteúdo de Mg, assim como dos demais nutrientes vai depender do ciclo da cultura.

Marcussi et al. (2004) obtiveram acúmulo total de 0,63 g planta⁻¹ aos 120 DAT, aumentando para 1,26 g planta⁻¹ aos 140 DAT. Fontes, Dias e Graça (2005) observaram 2,53 g planta⁻¹, para o ciclo de 224 DAT.

Silva et al. (2001) verificaram resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, nos quais os teores de macronutrientes foram afetadas pelas doses de N e K, apresentando relação quadrática.

Na Tabela 43 é mostrada a distribuição de magnésio nas diferentes partes das plantas, na qual se pode observar que os frutos acumularam aproximadamente 37% do magnésio total acumulado pelas plantas. Trabalhando com essa mesma cultivar, mas em condições de campo, Freitas (2009) verificou que cerca de 27,8% do Mg absorvido pelas plantas foram translocaram para os frutos. Entretanto, Marcussi et al. (2004) e Fontes, Dias e Graça encontraram acúmulo de aproximadamente 18% de Mg nos frutos.

Tabela 43 - Distribuição de magnésio no tecido vegetal do pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Partes da planta	Níveis de N e K (%)						Média
	0	50	100	150	200	300	
M ₁ -Fertirrigação a partir da marcha de absorção							
Total (g planta ⁻¹)	0,20	0,44	0,43	0,34	0,46	0,25	0,20
Folhas (%)	30,00	25,00	16,28	26,47	21,74	32,00	25,25
Caule (%)	40,00	34,09	27,91	32,35	43,48	48,00	37,64
Frutos (%)	30,00	40,91	55,81	41,18	34,78	20,00	37,11
M ₂ -Fertirrigação a partir monitoramento da concentração de N e K							
Total (g planta ⁻¹)	0,20	0,39	0,60	0,53	0,57	0,35	0,20
Folhas (%)	30,00	17,95	16,67	22,64	15,79	17,14	20,03
Caule (%)	40,00	43,59	45,00	49,06	45,61	31,43	42,45
Frutos (%)	30,00	38,46	38,33	28,30	38,60	51,43	37,52
M ₃ -Fertirrigação a partir monitoramento da condutividade elétrica							
Total (g planta ⁻¹)	0,20	0,47	0,53	0,49	0,41	0,37	0,20
Folhas (%)	30,00	29,79	30,19	30,61	31,71	35,14	31,24
Caule (%)	40,00	29,79	28,30	32,65	31,71	29,73	32,03
Frutos (%)	30,00	40,43	41,51	36,73	36,59	35,14	36,73

4.9 Eficiência da fertirrigação nitrogenada e potássica

4.9.1 Eficiência Agronômica

A Eficiência Agronômica do nitrogênio (EAgrN) foi máxima no menor nível de N e K (50% NK) para os manejos de fertirrigação M₁ e M₃, com 150 e 195 kg de frutos por kg de nitrogênio aplicado (kg kg⁻¹), para M₁ e M₃, respectivamente. A partir deste nível de NK, verifica-se que para M₁ e M₃ houve decréscimo na EAgrN até o nível de 150% NK, tendendo-se a constância a partir deste. Para M₂ houve inicialmente aumento na EAgrN até o nível 200% NK, apresentando em seguida tendência a manter-se constante (Figura 41A). Ainda na Figura 41A, pode-se observar que em todos os níveis os menores valores ocorreram no manejo M₁, enquanto que os manejos M₂ e M₃ apresentam semelhante comportamento.

A menor EAgrN ocorrida em M₂ no nível 50% NK deve-se a menor produção de frutos encontrada neste manejo, em consequência das pequenas quantidades de N aplicadas (2,95 g planta⁻¹).

Figura 41 - Eficiência Agronômica do nitrogênio (A) e do potássio (B) na cultura do pimentão em função de diferentes manejos de fertirrigação

Redução na EAgN com o aumento das doses aplicadas também foi observada em outras culturas, como arroz irrigado (FAGERIA et al., 2009), Feijoeiro (SANTOS; FAGERIA, 2007; SANT'ANA; SANTOS; SILVEIRA, 2011) e tomateiro (ARAÚJO et al., 2007). De acordo com SOWERS et al. (1994), redução na eficiência do N disponível com o aumento na dose de N indica que maior proporção de N fornecido não foi recuperado nos tecidos da planta ou ficou retido no perfil do solo à profundidade do sistema radicular.

Araújo et al. (2007), trabalhando com a cultura do tomate em casa de vegetação, mas em com cultivo em canteiros, observaram EAgN 55 a 244 kg de frutos por kg de N, valores próximos aos observados neste trabalho.

Para Eficiência Agronômica do potássio (EAgK) também foram observados os maiores valores no nível de 50% NK para M₁ e M₃, nos quais foram produzidos, respectivamente, cerca de 135 e 126 kg de frutos de pimentão por kg de K aplicado. Para estes manejos o aumento nas doses acarretou em redução na EAgK, sendo esse efeito mais marcante no manejo M₁, no qual no nível 300% NK obteve EAgK igual 0,0 kg kg⁻¹ (zero), fato este ocorrido porque as plantas que receberam este nível de adubação apresentaram produção menor que as plantas cultivadas em ausência de N e K. Para o manejo M₂, obteve-se inicialmente aumento na EAgK entre os níveis 50 e 100% NK, no qual obteve-se 104 g de frutos por g de K aplicado, a partir do nível 100% NK, verificou-se decréscimo, semelhante ao comportamento observado para os demais manejos (Figura 41B).

Tais resultados estão de acordo com Oliveira et al. (2008) trabalhando com a cultura do meloeiro, e Amorin et al. (2006) com a cultura da melancia, os quais

constataram que, tanto a EAgrN quanto a EAgrK tendem a diminuir com o aumento nas doses de N e K, respectivamente.

4.9.2 Eficiência Fisiológica

A Eficiência Fisiológica do N (EFisN) foi influenciada pelos manejos de fertirrigação e pelos níveis de N e K. Os maiores valores foram obtidos no nível 50% NK para M_1 (53 kg kg^{-1}) e M_3 ($45,8 \text{ kg kg}^{-1}$), e no nível 100% NK para M_2 (56 kg kg^{-1}). Para os manejos M_1 e M_3 foram observadas reduções na EFisN em resposta ao aumento nas doses, sendo esse efeito mais expressivo para o M_1 , que apresentou menores valores a partir do nível 100% NK (Figura 42A). Para o manejo M_2 foi observado, inicialmente, acréscimo na EFisN a medida que se aumentou a dose de N e K para o nível 100%, e apresentando pequeno acréscimo nos maiores níveis. Ainda na Figura 42A, pode-se verificar que, a partir do nível 100%, os maiores valores foram encontrados no manejo M_2 , seguido pelo M_3 .

Figura 42 - Eficiência Fisiológica do nitrogênio (A) e do potássio (B) na cultura do pimentão em função de diferentes manejos de fertirrigação

Com relação à Eficiência Fisiológica do potássio (EFisK), verificou-se os maiores valores no nível 50% NK para M_1 e M_3 , com 30 e 33 kg kg^{-1} , respectivamente. O aumento nos níveis de N e K aplicados, houve decréscimo na EFisK para os manejos M_1 e M_3 , enquanto para M_2 houve resposta positiva, com maior EFisK obtida no nível 300% NK (34 kg kg^{-1}). Desta forma, o manejo M_2 proporcionou maior EFisK, a partir do nível 150%, seguida pelos manejos M_3 e M_1 (Figura 42B).

Apesar de no cálculo da eficiência fisiológica (EFis) ser considerada toda fitomassa produzida pelas plantas, percebe-se que seus valores são inferiores aos obtidos para eficiência agrônômica (EAgr), que engloba apenas os frutos, no entanto, tal diferença ocorre porque para EAgr leva-se em consideração a produção de frutos frescos, enquanto que a EFis utiliza apenas massas secas.

4.9.3 Eficiência de Recuperação

A Eficiência de Recuperação de nitrogênio (ERecN) foi reduzida a medida em que se aumentou os níveis de NK aplicados via fertirrigação, de forma que os maiores valores foram obtidos no nível 50% NK, com ERecK de 0,36, 0,56 e 0,67 kg kg⁻¹, para M₁, M₂ e M₃, respectivamente (Figura 43A). Esses resultados são próximos aos obtidos por Scholberg et al. (2000) ao observarem eficiências de recuperação do N pelo tomateiro variando de 0,4 a 0,7 kg kg⁻¹, dependendo da dose de N aplicada. Também trabalhando com a cultura do tomateiro, Araújo et al. (2007) verificaram ERecN variando de 0,13 a 0,27 kg kg⁻¹. Esses resultados demonstram que manejo de fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de sais na solução do solo favorece a extração de N pelas plantas (M₂ e M₃).

Figura 43 - Eficiência de Recuperação do nitrogênio (A) e do potássio (B) na cultura do pimentão em função de diferentes manejos de fertirrigação

A baixa ERecN nos maiores níveis de N e K indica que o N aplicado permaneceu no solo ao final do ciclo do pimentão, e pode ter ocorrido em consequência do excessivo acúmulo de sais na solução do solo, dificultando a absorção de íons pelas plantas. O acúmulo de nutrientes no solo ao final do ciclo da

cultura não é desejável, pois, além de o custo financeiro do produtor, ainda poderá ocorrer risco ambiental, devido à lixiviação dos íons para as camadas de solo mais profundas. Portanto, o uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também para aumentar a produtividade da cultura, diminuir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental (DAWSON; HUGGINS; JONES, 2008; CANCELLIER et al., 2011).

Também foi observada reduções na Eficiência de Recuperação de potássio (EReck) em consequência do aumento nas doses de N e K, independente do manejo de fertirrigação adotado. Desta forma, as maiores EReck foram verificadas no menor nível de N e K, no qual obteve-se eficiência de 0,56, 0,66 e 0,60 kg kg⁻¹, para M₁, M₂ e M₃, respectivamente. Comparando-se esses valores com os encontrados nas maiores dosagens, verificou-se reduções para EReck na ordem de 83% para M₁, 80% para M₂ e 52% para M₃ (Figura 43B).

Esses resultados assemelham-se, em parte, aos obtidos por Oliveira et al. (2007) para a cultura do meloeiro, os quais observaram eficiência de recuperação máxima de 0,47 e 0,37 kg kg⁻¹, para ERecN e EReck, respectivamente. Esses autores verificaram ainda redução na eficiência de recuperação em consequência do aumento nas dosagens de nitrogênio e de potássio.

4.9.4 Eficiência de Absorção

A Eficiência de Absorção de nitrogênio (EAbsN) foi maior na menor dosagem de nutrientes, de forma que os maiores valores foram obtidos no nível 50% NK, no qual, para cada um kg de N aplicado a planta absorveu cerca de 0,5, 0,9 e 0,8 kg, para M₁, M₂ e M₃. A partir deste nível (50% NK), para os três manejos de fertirrigação verificou-se decréscimo na EAbsN, e os maiores valores ocorreram sempre no manejo M₃, enquanto os manejos M₁ e M₂ apresentam respostas semelhantes. Esses altos índices de eficiência podem ter ocorrido em decorrência de as plantas terem sido cultivadas em vasos, o que pode ter permitido que os nutrientes estivessem na solução do solo bem próximo das raízes (Figura 44A).

Para a Eficiência de Absorção do potássio (EAbsK), também foram observados os maiores valores no nível 50% NK para M₁ e M₂, enquanto para M₃ a maior EAbsK ocorreu no nível 100% NK. De forma geral, o aumento nas doses de N

e K resultou em redução na eficiência de absorção de K, semelhante ao observado para o nitrogênio (Figura 44B).

A redução na absorção de N e K nos maiores níveis de adubação pode ser explicado pelo acúmulo excessivo de sais dissolvidos no solo, o que resultou em plantas menos desenvolvidas, e, conseqüentemente, menor extração de nutrientes.

Figura 44 - Eficiência de Absorção do nitrogênio (A) e do potássio (B) na cultura do pimentão em função de diferentes manejos de fertirrigação

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a eficiência de uso dos nutrientes é variável de acordo manejo da fertirrigação e do tipo de eficiência estudada (FAGERIA; SANTOS; CUTRIM, 2007).

Nessa situação, o uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também para aumentar a produtividade das culturas e diminuir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental.

Vale salientar ainda que, teoricamente, a eficiência nutricional diminui com níveis crescentes de um determinado nutriente, o que, de forma geral, não corresponde a máxima rentabilidade, visto que, nem sempre a maior produtividade equivale à obtida com o máxima eficiência de um nutriente, portanto, deve-se tomar cuidado na interpretação de resultados de eficiência nutricional.

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o presente estudo foi desenvolvido e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. O uso de extratores de solução proporcionou manejo da fertirrigação satisfatório para a cultura do pimentão.
2. As plantas mais desenvolvidas foram obtidas a partir do monitoramento da solução do solo, seja da condutividade elétrica ou da concentração de N e K.
3. O monitoramento da solução do solo, mantendo-se a concentração da CE ou de N e K em torno de 200% da concentração recomendada para o cultivo em sistema hidropônico, favoreceu o desenvolvimento das plantas de pimentão.
4. Os manejos de fertirrigação a partir do monitoramento da solução do solo (M_2 e M_3) favoreceram o maior rendimento de frutos.
5. A qualidade dos frutos de pimentão foi mais afetada pelos níveis de nitrogênio e de potássio do que pelos tipos de manejo de fertirrigação.
6. O manejo da fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K, ou da condutividade elétrica na solução do solo, mostrou-se mais eficiente do que o manejo baseado na marcha de absorção da cultura.
7. O aumento nas doses de N e K proporcionaram aumento no teor de potássio, na condutividade elétrica e pH do solo, e a maior concentração de sais ocorreu na camada mais superficial do solo.

REFERÊNCIAS

ADAMS, S.R.; COCKSHULL, K.E.; CAVE, C.R.J. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. **Annals of Botany**, Oxford, v. 88, p. 869–877, 2001.

AGRISTAR DO BRASIL Ltda. Disponível em:
<<http://www.agristar.com.br/descript/pimeaoatlantisf1.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2009.

ALBUQUERQUE, F.S. **Lâminas de irrigação e doses de potássio em um cultivo de pimentão fertirrigado na Região Metropolitana do Recife**. 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

ALBUQUERQUE, F.S.; SILVA, E.F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, J.A.C.; NUNES, M.F.F.N. Crescimento e rendimento de pimentão fertigado sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 686–694, 2011.

ALVES, G.S.; SANTOS, D.; SILVA, J.A.; NASCIMENTO, J.A.M.; CAVANCANTE, L.F.; DANTAS, T.A.G. Estado nutricional do pimentão cultivado em solo tratado com diferentes tipos de biofertilizantes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 661–665, 2009.

AMORIN, L.B.; MEDEIROS, J.F.; NEGREIROS, M.Z.; LIMA JÚNIOR, O.J.; OLIVEIRA, F.A. Eficiência da fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura da melancia myckyllee irrigada. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA, 12., 2006. Mossoró, 2006. **Anais...** Mossoró: UFERSA, 2006. 1 CD-ROM.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; DIAS, N.S.; FIGUEIREDO JÚNIOR, L.G.M.; RIBEIRO, V.Q.; SAMPAIO, D.B. Produção e qualidade de frutos de melancia à aplicação de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 836–841. 2006.

ANDRADE JÚNIOR, W.P.; PEREIRA, F.H.F.; FERNANDES, O.B.; QUEIROGA, R.C.F.; QUEIROGA, F.M. Efeito do nitrato de potássio na redução do estresse salino no meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, p. 110–119, 2011.

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142 p.

_____. **Olericultura geral**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2002. 158 p.

ANUÁRIO DE INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA AGRICULTURA, São Paulo, v. 21, n. 1, 2010. 127 p.

ARAGÃO, V.F.; FERNANDES, P.D.; GOMES FILHO, R.R.; SANTOS NETO, A.M.; CARVALHO, C.M.; FEITOSA, H.O. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio na fase vegetativa do pimentão em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 5, n. 4, p. 361-375, 2011.

ARAÚJO, A.R.; CARVALHO, J.L.N.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 537-541, 2004.

ARAÚJO, C.; FONTE, P.C.R.; SEDIYAMA, C.S.; COELHO, M.B. Critérios para a determinação da dose de nitrogênio a ser aplicada no tomateiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 327-332, 2007.

ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.; SILVA, D.J.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H.; BAHIA FILHO, A.F.C. Eluição de magnésio, cálcio e potássio de acordo com o tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 231-238, 2003.

ARAÚJO, E.N. **Rendimento do pimentão (*Capsicum annuum* L.) adubado com esterco bovino e biofertilizante**. 2005. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

ARAÚJO, E.N.; OLIVEIRA, A.P.; CAVALCANTE, L.F.; PEREIRA, W.E.; BRITO, N.M.; NEVES, C.M.L.; SILVA, E.E. Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 466-470, 2007.

ARAÚJO, J.S.; ANDRADE, A.P.; RAMALHO, C.I.; AZEVEDO, C.A.V. Cultivo do pimentão em condições protegidas sob diferentes doses de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 559–565, 2009.

ARENAS, M.T.L.; MEJIAS, R.J.; TORRES, F.M.; BECKER, S.J. Estimation of the evolution in time of the salts of soil solution by means of suction cups. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER QUANTITY AND QUALITY ON GREENHOUSE HORTICULTURAE, 1996, Tenerife. **Proceedings...** Tenerife: ICIA, ISHS, SECH, 1996. 1 CD ROM.

ARRUDA, C.E.M.; DIAS, N.S.; BLANCO, F.F.; SOUSA NETO, O.N.; FERREIRA NETO, M. Bell pepper cultivation with brine from brackish water desalination. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 197-201, 2011.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1999. 153 p.

BARBOSA FILHO, M.P.B.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. Fontes e métodos de aplicação de nitrogênio em feijoeiro irrigado submetido a três níveis de acidez de solo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p.785-792, 2004.

BARROS, A.C.; FOLEGATTI, M.V.; SOUZA, C.F.; SANTORO, B.L. Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 361-372, 2010.

BAR-TAL, A.; ALONI, B.; KARNI, L.; ROSENBERG, R. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper: II. Effects of nitrogen concentration and $\text{NO}_3\text{:NH}_4$ ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. **HortScience**, Alexandria, v. 36, n. 7, p. 1252-1259, 2001.

BAR-YOUSEF, B. Fertilization under drip irrigation. In: PALGRAVE, D.A. (Ed.). **Fluid fertilizer: science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. chap. 14, p. 285-329.

_____. Advances in fertigation. In: SPARKS, D.L. (Ed.). **Advances in agronomy**. New York: Academic Press, 1999. p. 1-77.

BATISTA, C.H.; AQUINO, L.A.; SILVA, T.R.; SILVA, H.R.F. Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 4, p. 197-206, 2010.

BECKMANN-CAVALCANTE, M.Z.; MENDEZ, M.E.G.; CAVALCANTE, I.H.L.; CAVALCANTE, L.F. Características produtivas do tomateiro cultivado sob diferentes tipos de adubação em ambiente protegido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n.1, p. 180-184, 2007.

BLANCO, F.F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. Piracicaba: ESALQ, 1999, 104p. Dissertação Mestrado

BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 251-255, 2002.

BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 76-80, 2001.

BORGES, A.L.; COELHO, E.F.; COSTA, E.L.; SILVA, J.T.A. **Fertirrigação da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, CNPMF, 2006. 8 p. (Circular Técnica, 84).

BRAMLEY, P.M. Is lycopene beneficial to human health? **Phytochemistry**, Oxford Oxford, v. 54, n. 3, p. 233-236, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Legislação aplicada à agricultura**: Classificação de produtos vegetais. Artigo 3º. Classificação do pimentão. Disponível em: <http://agridata.mg.gov.br/legislacao/classificacao_cer.../laiclassprodvegetalpimentao.nt>. Acesso em: 27 set. 2001.

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M.; PEDROSA, E.M.R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 52-56, 2005. Suplemento.

BURT, C.O.; CONNOR, L.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1995. 42 p.

BUZETTI, S.; HERNANDEZ, F.B.T.; SUZUKI, M.A. Adubação nitrogenada e potássica na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.) na Região Ilha Solteira-SP. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 2, n. 1, p. 79-88, 1993.

CAMPOS, V.B.; OLIVEIRA, A.P.; CAVALCANTE, L.F.; PRAZERES, S.S. Rendimento do pimentão submetido ao nitrogênio aplicado via água de irrigação em ambiente protegido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n.2, p. 72-79, 2008.

CANCELLIER, E.L.; BARROS, H.B.; KISCHEL, E.; GONZAGA, L.A.M.; BRANDÃO, D.R.; FIDELIS, R.R. Eficiência agrônômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 4, p. 650-656, 2011.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p. 139-182.

CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O.F. **Mossoró**: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, 1995. 62 p. (Coleção Mossoroense, série B).

CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, V.R.; CRUZ, C.D.; CASALI, V.W.D. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 603-613, 1999.

CARVALHO, J.A.; REZENDE, F.C.; AQUINO, R.F.; FREITAS, W.A.; OLIVEIRA, E.C. 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.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 59-66, 2008.

CASTELLANE, P.D.; ARAUJO, J.C. **Cultivo sem solo**: hidroponia. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 43 p.

CASTILLA, N. **Invernaderos de plástico**: tecnologia e manejo. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 462 p.

CHARLO, H.C.O. **Análise de crescimento e marcha de acúmulo de nutrientes na cultura do pimentão, cultivado em substrato**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

CHARLO, H.C.O.; CASTOLDI, R.; FERNANDES, C.; VARGAS, P.F.; BRAZ, L.T. Cultivo de híbridos de pimentão amarelo em fibra da casca de coco. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 155-159, 2009.

CHARLO, H.C.O.; OLIVEIRA, S.F.; CASTOLDI, R.; VARGAS, P.F.; BRAZ, L.T.; BARBOSA, J.C. Growth analysis of sweet pepper cultivated in coconut fiber in a greenhouse. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 316-323, 2011.

CHAVES, S.W.P.; AZEVEDO, B.M.; MEDEIROS, J.F.; BEZERRA, F.M.L.; MORAIS, N.B. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 3, p. 262-267, 2005.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças**: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

COELHO, A.M. Fertigação. In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação**. Sete Lagoas: EMBRAPA, CNMS, 1994. p. 201-27.

COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; SILVA, T.S.M. Uso da TDR na avaliação de íons nitrato no volume molhado de solo fertirrigado com sulfato de amônio. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE USO DE ÁGUAS SUBTERÂNEAS, 2005, Teresina. **Anais...** Teresina: ABID, 2005. 1 CD-ROM.

COELHO, E.F.; VELLAME, L.M.; COELHO FILHO, M.A. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 475-480, 2005.

COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; CRUZ, J.L.; SOUZA, L.F.S. **Fontes e frequências de aplicação de nitrogênio via água de irrigação no mamoeiro**. Cruz das Almas: EMBRAPA, CNPMF, 2004. 4 p. (Comunicado Técnico, 111).

COMPANHIA DE ENTREPOSTOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO.

Padronização: pimentão. Disponível em:

<http://www.Ceasacampinas.com.br/padronizacao_pimentao.htm>. Acesso em: 10 dez. 2008.

CORREA, R.S.; WHITE, R.E.; WEATHERLEY, A.J. Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids. **Water Resources**, Moscow, v. 33, n. 4, p. 453-462, 2006

COSTA, E.L. **Fertirrigação nitrogenada por gotejamento em cafezal e sua influência em características químicas do solo**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

CRUZ, M.G.M.; ANDRADE, E.M.; NESS, R.L.L.; MEIRELES, A.C.M. Caracterização das águas superficiais e subterrâneas do projeto Jaguaribe-Apodi. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p.187-194, 2003.

CUNHA, A.R. **Parâmetros agrometeorológicos de cultura de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em ambientes protegido e campo**. 2001. 128 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, Botucatu, 2001.

DALMAGO, G.A.; HEELWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; LUZZA, J.; TAZZO, I.F.; TRENTIN, G. Evapotranspiração máxima e coeficiente da cultura do pimentão em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 33-41, 2003.

DAMATTO JÚNIOR, E.R.; GOTO, R.; VICENTINT, N.M.; RODRIGUES, D.S.; CAMPOS, A.J. Qualidade de frutos de pimentão amarelo em função de lâminas de água e cobertura do solo. **Agronomia**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1/2, p. 49-54, 2005.

DAWSON, J.C.; HUGGINS, D.R.; JONES, S.S. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 107, n. 2, p. 89-101, 2008.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; MEDEIROS, J.F.; TELES FILHO, J.F. Salinidade e manejo da fertirrigação em ambiente protegido. II: efeitos sobre o rendimento do meloeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 376-383, 2006.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; TELES FILHO, J.F.; YOSHINAGA, R.T. Salinização do solo por aplicação de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 12, p. 135-143, 2007.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; SOARES, T.M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se de extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 496-504, 2005.

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; ALVAREZ, V.H.; FERREIRA, P.A.; CANTARUTTI, R.B.; SILVA, A.T.; FIGUEIREDO, G.C. Índice de uniformidade de distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo, em Latossolos sob condições de fertigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 575-581, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1994. 212 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

_____. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 2000. 221 p.

DUARTE, S.N.; DIAS, N.S.; TELES FILHO, J.F. Recuperação de um solo salinizado devido a excesso de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n.3, p. 422-428, 2007.

DUENHAS, L.H.; BÔAS, R.L.V.; SOUZA, C.M.P.; RAGOZO, C.R.A.; BULL, L.T. Fertirrigação com diferentes doses de N P K e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de laranja (*Citrus sinensis* O.) 'Valencia'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 214-218, 2002.

ECHER, M.M.; FERNANDES, M.C.A.; RIBEIRO, R.L.D.; PERACCHI, A.L. Avaliação de genótipos de *Capsicum* para resistência a ácaro branco. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 217-221, 2002.

EL SAIED, H.M. Chemical composition of sweet and hot pepper fruits grown under plastic house conditions. **Egyptian Journal of Horticulture**, Cairo, v. 22, n. 1, p. 11-18, 1995.

ELOI, M.W.; DUARTE, N.S.; SOARES, M.T. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características do tomateiro cultivado em ambiente protegido, **Revista Brasileira Ciências Agrárias**. Recife, v. 2, n. 1, p. 83-89, 2007.

ELOI, W.M.; DUARTE, S.N.; SOARES, T.M.; SILVA, E.F.F.; MIRANDA, J.H. Rendimento comercial do tomateiro em resposta à salinização ocasionada pela fertigação em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 471-476, 2011.

EMBRAPA. **Sistema de produção**: cultivo de tomate para industrialização.

Disponível em:

<<http://sistemaproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/.htm2006>>. Acesso em: 22 ago. 2009.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

_____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 211 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 392 p.

ERICKSON, A.N.; MARKHART, A.H. Flower production, fruit set, and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, n.5, p. 697-702, 2001.

_____. Flower developmental stage and organ sensitivity of Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 123-130, 2002.

ERNANI, P.R.; DIAS, J.; FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 33, n. 7/8, p. 1291-1304, 2002.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A.; CASSOL, P.C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 393-402, 2007.

FACTOR, T.L.; ARAÚJO, J.A.C.; VILELLA JÚNIOR, L.V.E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 143-149, 2008.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; CUTRIM, V.A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 1029-1034, 2007.

_____. Nitrogen uptake and its association with grain yield in lowland rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 32, n. 11, p. 1965-1974, 2009.

FALCÃO, L.L.; JUNQUEIRA, A.M.; OLIVEIRA, S.A.; CARRIJO, O.A. Níveis de suficiência de macronutrientes para pimentão conduzido em cultivo protegido no DF. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 291, 2003

FAO. **FAOSTAT. Database 2005**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 12 set. 2011.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

FOGAÇA, M.A.F.; ANDRIOLO, J.L.; GODOI, R.S.; GIEH, R.F.H. MADALUZ, J.C.C.; BARROS, G.T. Concentração de nitrogênio na solução nutritiva, na produtividade e na qualidade de frutos de melão cultivado em substrato. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 72-78, 2007.

FONTES, P.C.R.; DIAS, E.N.; GRAÇA, R.N. Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 275-280, 2005.

FRANCO, E.M. **Monitoramento da dinâmica da água e solutos em um perfil de solo, sob sistema de fertirrigação por gotejamento, utilizando sonda de capacitância e extratores de solução**. 2009. 85 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FREIRE, A.L.O.; RODRIGUES, T.J.D. A salinidade do solo e seus reflexos no crescimento, nodulação e teores de N, K e Na em leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Vit.). **Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. 163-173, 2009.

FREITAS, K.K.C. **Produção, qualidade e acúmulo de macronutrientes em pimentão cultivado sob arranjos espaciais e espaçamentos na fileira**. 2009. 110 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2009.

GLOAGUEN, T.V.; PEREIRA, F.A.C.; GONÇALVES, R.A.B.; PAZ, V.S. Sistema de extração sequencial da solução na macro e microporosidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 544-550, 2009.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L.; BÜLL, L.T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1049-1056, 2003.

GOTO, R.; GUIMARÃES, V.F.; ECHER, M.M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C. do; RESENDE, R.S. (Coord.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 241-268.

GRIERSON, D.; KADER, A.A. Fruit ripening and quality. In: ATHERTON, J.G.; RUDICH, J. (Ed.). **The tomato crop: a scientific basis for improvement**. London: Chapman Hall, 1986. p. 241-280.

GRIFFIOEN, J. Potassium adsorption ratios as an indicator for the fate of agricultural potassium in ground water. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 254, n. 1/4, p. 244-254, 2001.

GUERRA, A.G.; ZANINI, J.R.; NATALE, W.; PAVANI, L.C. Frequência da fertirrigação da bananeira Prata-anã com nitrogênio e potássio aplicados por microaspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 80-88, 2004.

GURGEL, M.T.; MEDEIROS, J.F.; NOBRE, R.G.; CARDOSO NETO, F.; SILVA, F.V. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 1-13, 2003.

HEBBAR, S.S.; RAMACHANDRAPPA, B.K.; NANJAPPA, H.V.; PRABHAKAR, M. Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **European Journal Agronomy**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 117-127, 2004

HEIMOVAARA, T.J.; FOCKE, A.G.; BOUTEN, W.; VERSTRANTEN, J.M. Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, n. 3, p. 689-698, 1995.

HILLEL, D. (Ed.) **Applications of soils physics**. New York: Academic Press, 1980. 288 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008. 1020 p.

IBGE/SIDRA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2010. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em 03 jun. 2012.

JIMÉNEZ, S.; ALÉS, J.I.; LAO, M.T.; PLAZA, B.; PÉREZ, M. Evaluation of nitrate quick tests to improve fertigation management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, p. 2461-2469, 2006.

JONES JÚNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook**: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Athens: Micro- Macro, 1991. 213 p.

JONES JÚNIOR, J.R. **Hidroponics**: a practical guide for soilless grower. Boca Raton: CRC Press, 2005. 423 p.

JUNGK, A.O. Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plants and roots**: hidden half. New York: Marcel Dekker, 1991. p. p.455-481.

KELLER, J.; KARMEELLI, D. Trickle irrigation desing parameters. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, v. 4, p. 678-684, 1974.

KOBLITZ, M.G.B. **Bioquímica de alimentos**: teoria e aplicações práticas. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. 242 p.

LAO, M.T.; JIMÉNEZ, S.; EYMAR, E.; FERNÁNDEZ, E.J. Nutrient levels of the solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. **Phyton**, Buenos Aires, v. 4, n. 7, p. 29-37, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Ed. Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

LEONARDO, M.; BROETTO, F.; VILLAS BÔAS, R.L.; ALMEIDA, R.S.; MARCHESE, J.A. Produção de frutos de pimentão em diferentes concentrações salinas. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 73-82, 2007.

LEONARDO, M.; BROETTO, F.; VILLAS BOAS, R.L.; MARCHESE, J.A.; TONIN, F.B.; REGINA, M. Estado nutricional e componentes da produção de plantas de pimentão conduzidas em sistema de fertirrigação durante indução de estresse salino em cultivo protegido. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 883-889, 2008.

LIMA, C.J.G.S. **Calibração e manejo de extratores providos de cápsulas porosas e transdutores de pressão para monitoramento de ions na fertirrigação**. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

LOPES, B.A. **Aspectos importantes da fisiologia vegetal para o manejo**. 2003. 55 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

LOPES, P.V.L.; MARTINS, M.C.; TAMAI, M.A.; OLIVEIRA, A.C.B.; CARVALHO, C.G.P. **Produtividade de genótipos de girassol em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 4 p. (Comunicado Técnico, 208).

LORENTZ, L.H.; LÚCIO, A.D. Tamanho e forma de parcela para pimentão em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2380-2387, 2009.

LORENTZ, L.H.; LÚCIO, A.D.C.; BOLIGNO, A.A.; LOPES, S.J.; STORCK, L. Variabilidade da produção de frutos de pimentão em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 316-323, 2005.

LÚCIO, A.C.; CARPES, R.H.; STORCK, L.; ZANARDO, B.; TOEBE, M.; PUHL, O.J.; SANTOS, J.R.A. Agrupamento de colheitas de tomate e estimativa do tamanho da parcela em cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 190-196, 2010.

LÚCIO, A.D.; SOUZA, M.F.; HELDWEIN, A.B.; LIEBERKNECHT, D.; CARPES, R.H.; CARVALHO, M.P. Tamanho da amostra e método de amostragem para avaliação de características do pimentão em estufa plástica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 180-184, 2003.

LÚCIO, A.D.C.; LORENTZ, L.H.; BOLIGNO, A.A.; LOPES, S.J.; STORCK, L.; CARPES, R.H. Variação temporal da produção de pimentão influenciada pela posição e características morfológicas das plantas em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 31-35, 2006.

LURIE, S. Stress physiology and latent damage. In: FLORKOWSKI, W.J.; SHEWFELT, R. L.; BRUECKNER, B.; PRUSSIA, S.E. (Eds.). **Postharvest Handling: A systems approach**. Academic Press. 2009. p. 443-459.

MACÊDO, L.S.; ALVARENGA, M.A.R. Efeitos de lâminas de água e fertirrigação potássica sobre o crescimento, produção e qualidade do tomate em ambiente protegido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 296-304, 2005.

MALAVOLTA, E. **Absorção, transporte e redistribuição de potássio na planta**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. 16 p. (Informações Agronômicas, 108).

_____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARCELIS, L.F.M.; HEUVELINK, E.; BAAN HOFMAN-EIJER, L.R.; DEN-BAKKER, J.; XUE, L.B. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 406, p. 2261-2268, 2004.

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

MARCUSSI, F.F.N.; VILLAS BOAS, R.L. Uso da fertirrigação na eficiência de aproveitamento de N e K pelo pimentão sob condições de cultivo protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1., 2003, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: [s. n.], 2003. 1 CD ROM.

MARCUSSI, F.F.N.; GODOY, L.J.G.; VILLAS BOAS, R.L. Fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura do pimentão baseada no acúmulo de N e K pela planta. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 41-51, 2004.

MARCUSSI, F.F.N.; VILLAS BOAS, R.L.; GODOY, L.J.G.; GOTO, R. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 62-68, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H.E.P. Distúrbios nutricionais em hortaliças cultivadas em substratos com baixa atividade química. In: BARBOSA, J.G.; MARTINEZ, H.E.P.; PEDROSA, M.W.; SEDIYAMA, M.A.N. (Ed.). **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substratos**. Viçosa, 2004. p. 129-157.

MASS, E.V.; HOLFMAN, G.J. Crop salt tolerance. In: TANJI, K.K. **Agricultural salinity assesement and management manual**. New York: ASCE, 1990. v. 13, p. 262-304.

MEDEIROS, J.F.; CRUCIANI, D.E.; FOLEGATTI, M.V.; MIRANDA, N.O. Tolerância do pimentão à salinidade sob cultivo protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 200-210, 2002.

MEDEIROS, J.F.; DIAS, N.S.; BARROS, A.D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 3, p. 242-247, 2008.

MEDEIROS, J.F.; **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. 1998. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MEDEIROS, P.R.F. **Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade para a cultura do tomate em solo franco-argiloso**. 2010. 85 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MEDEIROS, P.R.F.; DUARTE, S.N.; DIAS, C.T.S. Tolerância da cultura do pepino à salinidade em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 406-410, 2009.

MEDEIROS, P.R.F.; DUARTE, S.N.; DIAS, C.T.S.; SILVA, M.F. Tolerância do pepino à salinidade em ambiente protegido: efeitos sobre propriedades físico-químicas dos frutos. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 3, p. 301-311, 2010.

MELLO, R.M. **Tamanho e forma ótimo de parcela para as culturas da abóbora italiana e do pimentão, conduzida em estufas plástica**. 2003. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MELO, A.S.; BRITO, M.E.B.; DANTAS, J.D.M.; SILVA JÚNIOR, C.D.; FERNANDES, P.D. BONFIM, L.V. Produção e qualidade do pimentão amarelo sob níveis de potássio em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 1, p. 17-21, 2009.

MELO, S.C.; PEREIRA, H.S.; VITTI, G. C. Efeito de fertilizantes orgânicos na nutrição e produção do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 200-203, 2000.

MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 1.ed., Porto Alegre: Gênese, 2000, 169p.

MILLS, H.A.; JONES JÚNIOR, B. **Plant analysis handbook**: II. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Athens: MicroMacro Publishing, 1996. 422 p.

MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N.; LIBARDI, P.L.; FOLEGATTI, M.V. Simulação do deslocamento de potássio em colunas verticais de solo não-saturado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 677-685, 2005.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. MURAOKA, T.; CARMO, C.A.F.S.; MELLO, W.J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. p. 172-223.

MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. **Plant and Soil**, Wageningen, v. 22, n. 2, p. 163-90, 2000

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

MOURA, A.O.B. **Avaliação do pH e da CE da água de irrigação submetida a diferentes doses e tipos de adubos**. 1994. 92 p. Monografia. (Graduação em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia de Mossoró, Mossoró, 1994

MUÑOZ-CARPENA, R.M.; RITTER, A.; SOCORRO, A.R.; PÉREZ, N. Nitrogen evolution and fate in a Canary Islands (Spain) sprinkler fertigated banana plot. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 52, n. 2, p. 93-117, 2002.

NANNETTI, D.C.; SOUZA, R.J. **A cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. Lavras: UFLA, 1998, 49 p. (Boletim Técnico, 31).

NANETTI, D.C.; SOUZA, R.J.; FAQUIN, V. Efeito da aplicação de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 843-845, 2000. Suplemento.

NAVARRO, J.M.; GARRIDO, C.; CARVAJAL, M.; MARTINEZ, V. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Oxford, v. 77, n. 1, p. 52-57, 2002.

NEGREIROS, M.Z. **Crescimento, partição de matéria seca, produção e acúmulo de macronutrientes de plantas de pimentão (*Capsicum annum* L.) em cultivo podado e com cobertura morta**. 1995. 187 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

NELSON, K.A.; MOTAVALLI, P.P.; NATHAN, M. Response of no-till soybean [(L.) Merr.] to timing of preplant and foliar potassium applications in a claypan soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 3, p. 832–838, 2005

OLIVEIRA, A.P.; PAES, R.A.; SOUZA, A.P.; DORNELAS, C.S.; SILVA, R.A. Produção de pimentão em função da concentração de urina de vaca aplicada via foliar e da adubação com NPK. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 25, n. 1, p. 37-43, 2004.

OLIVEIRA, E.M.M.; RUIZ, H.A.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H.; BORGES JÚNIOR, J.C.F. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 196-203, 2004.

OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; DUARTE, S.N.; SILVA JÚNIOR, M.J.; CAMPELO, C.M. Calibração de extratores providos de cápsula porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 520-528, 2011.

OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; LIMA, C.J.G.S.; DUTRA, I.; OLIVEIRA, M.K.T. Eficiência agrônômica da fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura do meloeiro nas condições do semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 5-11, 2008.

OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, M.K.T.; ALMEIDA JÚNIOR, A.B.; DUDA, G.P. Eficiência da fertirrigação no melão tipo gália com diferentes doses de nitrogênio e potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, M.V.A.M.; VILLAS BOAS, R.L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 95-103, 2008.

OLIVEIRA, R.H.; ROSOLEM, C.A.; TRIGUEIRO, R.M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 439-445, 2004.

ORTEGA-BLU, R.; CORREA-BENGURIA, M.; OLATE-MUÑOZ, E. Determinación de las curvas de acumulación de nutrientes em tres cultivares de *Lilium* spp. para flor de corte. **Agrociencia**, Texcoco, v. 40, n. 1, p. 77-88, 2006.

PADILLA, I.Y.; JIM YEH, T.C.; CONKLIN, M.H. The effect of water content on solute transport in unsaturated porous media. **Water Resources Research**, Washington, v. 35, n. 11, p. 3303-3313, 1999.

PÁDUA, J.G.; CASALI, V.W.D.; PINTO, C.M.F. Efeitos climáticos sobre pimentão e pimenta. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 113, p. 11-13, 1984.

PAGAMAS, P.; NAWATA, E. Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annuum* L. var. Shishito) exposed to high-temperature stress. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 117, p. 21-25, 2008.

PAGLIA, E.C.; SERRAT, B.M.; FREIRE, C.A.L.; VEIGA, A.M.; BORSATTO, R.S. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 94-100, 2007.

PAPADOPOULOS, I. Processo de transição da fertilização tradicional para a fertirrigação. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C.;

RESENDE, R.S. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, cap. 1, p. 9-69.

PEIXOTO, J.F.S.; GUERRA, H.O.C.; CHAVES, L.H.G. Alterações de atributos químicos do solo pela fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 27, n. 2, p. 69-76, 2006.

PEREIRA, C.; MARCHI, G. **Cultivo comercial em estufas**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 118 p.

PEREIRA, V.C.; SOUSA NETO, O.N.; DIAS, N.S.; REBOLÇAS, J.R.I.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; GURGEL, M.T.; OLIVEIRA, F.R.A. Elementos meteorológicos em ambiente protegido e suas relações com o ambiente externo em Mossoró-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2010, Belém. **Anais...** Belém: CBMET, 2010. 1 CD-ROM.

PEREIRA, A.L. **Cultura do pimentão**. Fortaleza: DNOCS, 1990. 49 p.

PHILLIPS, I.; BURTON, E. Nutrient leaching in undisturbed cores of an sandy podsol following simultaneous potassium chloride and di-ammonium phosphate application. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 73, n. 1, p.1385-1314, 2005.

PINTO, C.M.F.; MOREIRA, G.R.; CALIMAN, F.R.B.; VENZON, M.; PICANÇO, M.C.; PAULA JÚNIOR, T.J. Pimentão. In: PAULA JÚNIOR, T.J.; VENZON, M. **101 culturas**: manual de tecnologia agrícola. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. p. 641-650

PONS, T.L.; WESTBEEK, M.H.M. Analysis of differences in photosynthetic nitrogen-use efficiency between four contrasting species. **Physiologia Plantarum**, Denmark, v. 122, n. 1, p. 68-78, 2004.

PORTO FILHO, F.Q.; MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; SOUSA, P.S.; DANTAS, D.C. Evolução da salinidade e pH de solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1130-1137, 2011.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. Jaboticabal: Editora UNESP, 2008. 408 p.

QAFOKU, N.P.; SUMNER, M.E. Retention and transport of calcium nitrate in variable charge subsoils. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 5, p. 299-307, 2001

QAFOKU, N.P.; SUMNER, M.E.; RADCLIFFE, D.E. Anion transport in columns of variable charge subsoils: Nitrate and chloride. **Journal Environmental quality**, Madison, v. 29, n. 2, p. 488-493.

QUEIROGA, F.M.; COSTA, S.Â.D.; PEREIRA, F.H.F.; MARACAJÁ, P.B.; SOUSA FILHO, A.L. Efeito de doses de nitrogênio na produção e qualidade de frutos de melão gália. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 96-100, 2011.

QUEIROZ, S.O.P.; TESTEZLAF, R.; MATSURA, E.F. Avaliação de equipamentos para determinação da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 279-287, 2005.

_____. Metodologia para avaliação da salinidade do solo em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 383-397, 2009.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343 p.

REIFSCHNEIDER, F.J.B. (Org.). **Capsicum**: pimentas e pimentões no Brasil. Brasília: EMBRAPA, 2000. 113 p.

RESENDE, A.V. **Agricultura e qualidade da água**: contaminação da água por nitrato. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 29 p. (Documentos, 57).

REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. **Plant analysis**: a interpretation manual. 2nd ed. Callingwood: CSIRO, 1997. 572 p.

REZENDE, B.L.A.; CECÍLIO FILHO, A.B.; MARTINS, M.I.E.G.; COSTA, C.C.; FELTRIM, A.L. Viabilidade econômica das culturas de pimentão, repolho, alface, abanete, e rúcula em cultivo consorciado, na primavera-verão, Jaboticabal, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 23-37, 2005.

RHOADES, J.D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil salinity assessment**: methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Rome: FAO, 1999. 150 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 57)

RIBEIRO, L.G.; LOPES, J.C.; MARTINS-FILHO, S.; RAMALHO, L.G. Adubação orgânica na produção do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 134-137, 2000.

RICHARDS, L.A. (Ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: United States Salinity Laboratory Staff, USDA, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60).

RIVERA, R.C.; DUARTE, N.N.; MIRANDA, J.H.; BOTREL, T.A. Modelagem da dinâmica do potássio no solo sob irrigação por gotejamento: validação do modelo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 388-394, 2006.

RIVERA, R.N.C. **Modelagem da dinâmica da água e do potássio na irrigação por gotejamento superficial**. 2005. 89 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

ROCHA, M.C.; CARMO, M.G.F.; POLIDORO, J.C.; SILVA, D.A.G.; FERNANDES, M.C.A. Características de frutos de pimentão pulverizados com produtos de ação bactericida. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 185-189, 2006.

ROSOLEM, C.A.; MATEUS, G.P.; GODOY, L.J.G.; FELTRAN, J.C.; BRANCALIÃO, S.R. Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 875-884, 2003.

RUBIO, J.S.; GARCIA-SÁNCHEZ, F.; RUBIO, F.; MARTÍNEZ, V. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K^+ and Ca^{2+} fertilization. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 119, n. 2, p.79-87, 2009.

RUBIO, J.S.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; FLORES, P.; NAVARRO, J.M.; MARTINEZ, V. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilisation with Ca^{2+} and K^+ . **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 8, n. 1, p. 170-177, 2010.

RUFINO, J.L.S.R.; PENTEADO, D.C.S. Importância econômica, perspectivas e potencialidades de mercado para a pimenta. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, p. 7-15, 2006.

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 4, p. 1015-1018, 1999.

SALOMÃO, L.C. **Determinação do tempo de vácuo, momento de coleta e posicionamento de extratores de cápsulas porosas em solo arenoso**. 2009. 79 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, Botucatu, 2009.

SANT'ANA, E.V.P.; SANTOS, A.B.; SILVEIRA, P.M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 458-462, 2011.

SANTANA, G.S.; COELHO, E.F.; SILVA, T.S.M.; RAMOS, M.M. Estimativa da condutividade elétrica da solução do solo a partir do teor de água e da condutividade elétrica aparente do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 672-685, 2006.

SANTANA, M.J.; CARVALHO, J.A.; FAQUIM, V.; QUEIROZ, T.M. 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, 2004.

SANTOS, A.B.; FAGERIA, N.K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1237-1248, 2007.

SANTOS, J.G.R. **A salinidade na agricultura irrigada: teoria e prática**. Campina Grande: [s.n.], 2000. 171 p.

SANTOS, R.F.; KLAR, A.E.; FRIGO, E.P. Crescimento da cultura de pimentão cultivado na estufa plástica e no campo sob diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 250-263, 2003.

SATO, S.; PEET, M.M, THOMAS, J.F. Determining critical pre- and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, p. 1187-1195, 2002.

SCHOLBERG, J.; MACNEAL, B.L.; BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; LOCASCIO, S.J.; OLSON, S.M. Nitrogen stress effects on growth and nitrogen accumulation by field-growth tomato. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 1, p. 159-167, 2000.

SEDIYAMA, M.A.N.; VIDIGAL, S.M.; SANTOS, M.R.; SALGADO, L.T. Rendimento de pimentão em função da adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 294-299, 2009.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos**. 6. ed. Guaíba: Agricultura, 1997. 342 p.

SHIPTALO, M.J.; DICK, W.A.; EDWARDS, W.M. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3/4, p. 167-183, 2000.

SILVA, A.S. **Movimentação de amônio, nitrato, potássio e fósforo aplicados por fertirrigação em Latossolos**. 2004. 58 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de Nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 35, n. 12, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, E.F.F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136 p. Tese (Doutorado

em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, E.F.F.; ANTI, G.R.; CARMELLO, Q.A.C.; DUARTE, S.N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba v. 57, n. 4, p. 785-789, 2000.

SILVA, E.F.F.; DUARTE, S.N.; COELHO, R.D. Salinização dos solos cultivados som ambientes protegidos no estado de São Paulo. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.). **Fertirrigação: Citrus, flores e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 267-278.

SILVA, E.M. **Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade do solo para a cultura da berinjela**. 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SILVA, M.A.G.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; FERNANDES, H.G.; GRANJA, F.A.; SCIVITTARO, W.B. Efeito do nitrogênio e potássio na nutrição do pimentão cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 913-922, 2001.

SILVA, M.O.; FREIRE, M.B.G.S.; MENDES, A.M.; FREIRE, F.J.; SOUSA, C.E.S.; GÓES, G.B. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 593-605, 2008.

SILVA, P.I.B. **Crescimento e partição de assimilados de pimentão em função de arranjos espaciais e espaçamentos na fileira**. 2008. 53 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2008.

SILVA, P.I.B.; NEGREIROS, G.H.; MOURA, K.K.C.F.; FREITAS, F.C.L.; NUNES, G.H.S.; SILVA, P.S.L.; GRANJEIRO, L.C. Crescimento de pimentão em diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 132-139, 2010.

SILVA, T.S.M.; COELHO, E.F.; PAZ, V.P.S.; VELLAME, L.M.; SANTANA, G.S. Condutividade elétrica da solução de solo em função da condutividade elétrica aparente e da umidade do solo sob aplicação de cloreto de potássio com uso da reflectometria no domínio do tempo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 174-183, 2005.

SILVA JÚNIOR, M.J. **Manejo da fertirrigação na cultura do meloeiro mediante o controle de íons da solução do solo**. 2008. 114 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SILVA JÚNIOR, M.J.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, F.H.T.; DUTRA, I. Balanço da fertirrigação em meloeiro “pele de sapo”. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 63-72, 2007.

SILVA JÚNIOR, M.J.; DUARTE, S.N.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; DUTRA, I. Resposta do meloeiro à fertirrigação controlada através de íons da solução do solo: Desenvolvimento vegetativo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 715-722, 2010a.

_____. Resposta do meloeiro à fertirrigação controlada através de íons da solução do solo: Parâmetros produtivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 723-729, 2010b.

SOUSA, V.F.; SOUZA, A.P. Fertirrigação: princípios e métodos de aplicação, vantagens e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA, 1993. p. 2519-2528.

SOUZA, A.P.; PEREIRA, J.B.A.; SILVA, L.D.B.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

SOUZA, T.R. **Dinâmica de nutrientes no perfil do solo em sistemas de adubação sólida e fertirrigação na citricultura**. 2006. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas 2006.

SOUZA, V.F.; COELHO, E.F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C.; RESENDE, R.S. (Coord.). **Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 289-317.

SOWERS, K.E.; PAN, W.L.; MILLER, B.C.; SMITH, J.L. Nitrogen use efficiency of split nitrogen application in soft white winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 6, p. 942-948, 1994.

SPOSITO, G. The future of an illusion: Ion activities in soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 5316, 1984.

STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference on Mediterranean conditions. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 335, p. 296-304, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3rd ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719 p.

TAVARES, A.C.S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade para a cultura do pimentão (*Capsicum annum*) utilizando medidores de íons da solução do substrato**. 2005. 101 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e

Drenagem). – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

TAVARES, M.; MELO, A.M.T.; SCIVITTARO, W.B. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados com a produção de pimentão. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 41-47, 1999.

TAZZO, I.F.; HELDWEIN, A.B.; MALDANER, I.C.; PIVETTA, C.R.; STRECK, L.; RIGHI, E.Z. Evapotranspiração do pimentão em estufa plástica estimada com dados meteorológicos externos, na primavera. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 275-280, 2012.

TAZZO, I.F.; HELDWEIN, A.B.; STRECK, N.A.; GRIMM, E.L.; MAASS, G.F.; PIVETTA, C.R. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura para o pimentão cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 275-281, 2004.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. **Annals of Botany**, London, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.

TIRLONI, C.; VITORINO, A.C.T.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; MAUAD, M. Disponibilidade e movimentação de cátions no solo, em função da calagem e da adição de ácido cítrico associado a um ativador enzimático. **Revista Ciência Agraria**, Belém, v. 54, n. 1, p. 20-27, 2011.

TONIN, F.B. **Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas ao estresse salino**. 2005. 93 p. Dissertação (Mestrado em Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. Methods of measuring field capacity and wilting percentage of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 68, n. 1, p. 75-94, 1949.

VILLAS BOAS, R.L. **Doses de nitrogênio para o pimentão aplicadas de forma convencional e através da fertirrigação**. 2001. 123 p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

VILLAS BÔAS, R.L.; OLIVEIRA, M.V.A.; MOTA, P.R.D.; BETTINI, M.O. Agricultura fertirrigada avança no Brasil. In: **AGRIANUAL 2005**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. p. 54-57.

VILLAS BÔAS, R.L.; ANTUNES, C.L.; BOARETTO, A.E.; SOUSA, V.F.; DUENHAS, L.H. Pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, cap. 2, p. 71-103.

VILLAS BOAS, R.L.; KANO, C.; LIMA, C.P.; NANETTI, F.A.; FERNANDES, D.M. Efeito de doses de nitrogênio aplicado de forma convencional e através da fertirrigação na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 801-802, 2000. Suplemento

WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 2297-2305, 2008

WUZHONG, N. Yield and quality of fruits of solanaceous crops as affected by potassium fertilization. **Better Crops**, Atlanta, v. 13, n. 1, p. 6-8, 2002.

ZAMBROSI, F.C.B. **Calagem e gessagem na especiação iônica da solução de um latossolo sob sistema de plantio direto**. 2004. 111 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ZANINI, J.R. Distribuição de água e do íon K^+ no solo, aplicados por fertirrigação em gotejamento. II - Teores de K^+ no bulbo molhado. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 24-38, 1991.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 8-28.