

EDUARDO SILVA DOS SANTOS

**MONITORAMENTO DO POTÁSSIO EM UM CULTIVO DE PIMENTÃO
IRRIGADO EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

**Recife
2010**

Eduardo Silva dos Santos

Engenheiro Agrícola e Ambiental

**MONITORAMENTO DO POTÁSSIO EM UM CULTIVO DE PIMENTÃO
IRRIGADO EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

Orientador:

Prof. Dr. **Ênio Farias de França e Silva**

Co-orientador:

Prof. Dr. **Tonny José Araújo da Silva**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia de água e solo.

**Recife
2010**

Ficha catalográfica

S237m Santos, Eduardo Silva dos
Monitoramento do potássio em um cultivo de pimentão irrigado em região semiárida / Eduardo Silva dos Santos. – 2010.
96 f. : il.

Orientador: Ênio Farias de França e Silva
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural, Recife, 2010.

Referências

1. Pimentão 2. Potássio 3. Lixiviação 4. Irrigação
I. Silva, Ênio Farias de França e, orientador II. Título

CDD 631.7

EDUARDO SILVA DOS SANTOS

Monitoramento do Potássio em um Cultivo de Pimentão Irrigado em Região Semiárida

Dissertação defendida e aprovada em 26 de fevereiro de 2010 pela Banca Examinadora:

Orientador:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr

DTR/UFRPE

Examinadores:

Jarbas Honorio de Miranda, Prof. Dr

ESALQ/USP

Maria Betânia dos Santos Freire, Prof. Dr

DEPA/UFRPE

Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Prof. PhD

CTG/UFPE

A existência na Terra é um livro que estás escrevendo...

Cada dia é uma página...

Cada hora é uma afirmação de tua personalidade, através das pessoas e das situações que te buscam.

Não menosprezes o ensejo de criar uma epopéia de amor em torno de teu nome.

As boas obras são frases de luz que endereças à Humanidade inteira.

Em cada resposta aos outros, em cada gesto para com os semelhantes, em cada manifestação dos teus pontos de vista e em cada demonstração de tua alma, grafas com tinta perene, a história de tua passagem...

(Chico Xavier)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todos os momentos bons que tive até o presente momento, pela minha saúde que impulsionou em toda minha jornada.

Aos meus pais, que souberam dar a educação necessária, amor, carinho, alegria em toda minha vida.

Ao meu irmão a quem tenho grande admiração pela sua capacidade intelectual, a sua vontade de estar sempre estudando e por ser um grande amigo.

A minha noiva pela sua amizade, amor, carinho durante todos os momentos que passamos até aqui vividos “EU TE AMO MUITO ROSÂNGELA”.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Tecnologia Rural.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, representada na pessoa do Professor Mário Rolim, pela oportunidade de ingresso no Mestrado.

Ao Fundo de amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE pela concessão da bolsa.

Aos amigos do Mestrado, José Roberto, Tafnes, Gledison, Bianca, Matheus, Waldirene, Thiciano, Manoel Vieira, Antônio e Leila que em pouco tempo de curso soubermos construir uma bela amizade

Ao Professor Dr. Ênio Farias de França e Silva, pela orientação.

Ao Professor Dr. Tony José Araujo da Silva, pelas contribuições.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização física do Neossolo Regolítico Eutrófico utilizado no experimento	37
Tabela 2. Caracterização química do Neossolo Regolítico Eutrófico	38
Tabela 3. Caracterização da água usada na irrigação da cultura do pimentão em Neossolo Regolítico Eutrófico	39
Tabela 4. Avaliação do sistema de irrigação e da eficiência de aplicação de água	40
Tabela 5. Parâmetros ajustados da curva de retenção de umidade do solo e condutividade hidráulica do solo não saturado determinado pelo Permeômetro de Guelph	53
Tabela 6. Resultado da análise de variância para a altura das plantas (AP) do pimentão ao longo do ciclo de cultivo	68
Tabela 7. Resultado da análise de variância para o diâmetro de colo (DC) das plantas do pimentão ao longo do ciclo de cultivo em dias após o transplante (DAT)	70
Tabela 8. Resultado da análise de variância para as variáveis de rendimento da cultura do pimentão	72
Tabela 9. Resultado da análise de variância para o teor de potássio (K) e sódio (Na) nas diferentes partes da planta do pimentão	75
Tabela 10. Balanço de potássio no sistema solo-planta para lâminas (L) e doses de potássio (D)	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relação entre a produtividade e a salinidade do solo, medida através da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e da água de irrigação (Fonte: AYERS & WESTCOT 1991).....	22
Figura 2. Localização da área de estudo no município de Pesqueira – PE (Fonte: RIBEIRO & CORRÊA, 2001).....	35
Figura 3. Distribuição da precipitação ao longo do ciclo da cultura na área experimental.....	44
Figura 4. Evapotranspiração de referência e da cultura acumulada durante o ciclo do cultivo do pimentão estimada pelos métodos Penman-Monteith (ET ₀ PM, ET _c PM) e Tanque Classe “A” (ET ₀ PM, ET _c PM).....	45
Figura 5. Curva característica do solo na camada de 0-15cm (A); 15-30cm (B); 30-45cm (C); 45-60cm (D); 60-75cm (E).....	52
Figura 6. Curvas de calibração de umidade obtidas com a sonda de nêutrons com suas respectivas equações de regressão e coeficiente de determinação R ² a 15cm de profundidade (A); a 30cm (B); a 45cm (C); 60cm (D); 75cm (E).....	55
Figura 7. Correlação entre os valores de potássio em laboratório e em teste rápido.....	56
Figura 8. Valores de condutividade elétrica (CE) e teores de potássio (K ⁺) na água do lençol freático em função do tempo de cultivo de pimentão em Neossolo Regolítico Eutrófico.	62
Figura 9. Avaliação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L1D1 (A); L1D2 (B); L1D3 (C); L1D4 (D).	63
Figura 10. Avaliação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L2D1 (A); L2D2 (B); L2D3 (C); L2D4 (D).	64
Figura 11. Avaliação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L3D1 (A); L3D2 (B); L3D3 (C); L3D4 (D).	64
Figura 12. Avaliação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L4D1 (A); L4D2 (B); L4D3 (C); L4D4 (D).	65

Figura 13. Avaliação da concentração de potássio ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L1D1 (A); L1D2 (B); L1D3 (C); L1D4 (D).....	66
Figura 14. Avaliação da concentração de potássio ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L2D1 (A); L2D2 (B); L2D3 (C); L2D4 (D).....	66
Figura 15. Avaliação da concentração de potássio ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L3D1 (A); L3D2 (B); L3D3 (C); L3D4 (D).....	67
Figura 16. Avaliação da concentração de potássio ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L4D1 (A); L4D2 (B); L4D3 (C); L4D4 (D).....	67
Figura 17. Altura das plantas de pimentão aos 54 DAT (A) e aos 63 DAT (B) em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).	69
Figura 18. Altura das plantas de pimentão aos 94 DAT (A) e aos 102 DAT (B) em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).	69
Figura 19. Altura das plantas de pimentão aos 115 DAT (A) em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).	70
Figura 20. Diâmetro de colo aos 63 DAT (A) e aos 94 DAT (B) das plantas em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).	71
Figura 21. Diâmetro de colo aos 102 DAT (A) e aos 115 DAT (B) das plantas em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).	71
Figura 22. Massa de matéria fresca do fruto (MFF) (A) e massa de matéria seca do fruto (MS) (B) das plantas em função da lâmina de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).	73
Figura 23. Massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) (A) e massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) (B) das plantas em função da lâmina de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).	73
Figura 24. Massa de matéria fresca da raiz (MFR) (A) e massa de matéria seca da raiz (MSR) (B) das plantas em função da lâmina de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).	74

Figura 25. Teor de sódio (Na) na parte aérea das plantas em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).....	76
Figura 26. Balanço hídrico do solo para tratamento de lâminas de 80% da evapotranspiração da cultura para o período seco (A) e chuvoso (B).....	78
Figura 27. Balanço hídrico do solo para tratamento de lâminas de 100% da evapotranspiração da cultura para o período seco (A) e chuvoso (B).....	79
Figura 28. Balanço hídrico do solo para tratamento de lâminas de 110% da evapotranspiração da cultura para o período seco (A) e chuvoso (B).....	80
Figura 29. Balanço hídrico do solo para tratamento de lâminas de 120% da evapotranspiração da cultura para o período seco (A) e chuvoso (B).....	81
Figura 30. Análise da variação do nutriente potássio (VNK) para todos os tratamentos.....	82

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 A cultura do pimentão (<i>Capsicum annum</i> L)	18
2.2 Qualidade de água para irrigação	20
2.2.1 Salinidade na agricultura irrigada.....	20
2.2.2 Infiltração da água no solo	22
2.2.3 Condutividade elétrica do solo	23
2.3 Manejo de água com base nos dados climáticos	25
2.3.1 Evapotranspiração	25
2.4 Principais íons do solo e seus efeitos.....	28
2.4.1 Métodos para extração da solução do solo e o monitoramento de sua concentração iônica	29
2.4.2 Transporte do íon potássio no solo	32
2.5 Balanço hídrico do solo	33
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 Área de estudo	35
3.2 A unidade experimental.....	36
3.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	36
3.4 Coletas de amostra de solo para análises físicas e químicas	37
3.4.1 Caracterização do solo da área de estudo	37
3.5 Adubação	38
3.6 Manejo da irrigação	38
3.7 Avaliação do sistema de irrigação	39
3.7.1 Desempenho do sistema de irrigação	40
3.8 Estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET_0).....	41
3.9 Estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET_0) pelo método de Penman-Monteith (PM).....	41
3.10 Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c).....	42

3.11	Análise dos parâmetros climatológicos	43
3.11.1	Ocorrência da precipitação na área do experimento.....	43
3.11.2	Evapotranspiração de referência (ET ₀) e Evapotranspiração de cultura (ET _c).....	44
3.11.3	Balanço hídrico do solo: determinação da ET _c via solo.....	45
3.12	Determinação da condutividade hidráulica solo.....	46
3.13	Determinação do gradiente do potencial hidráulico e condutividade hidráulica não saturada.....	49
3.14	Determinação da umidade e armazenamento de água no solo	53
3.15	Extração da solução do solo	55
3.16	Comparação entre os valores de potássio determinados em laboratório e em testes rápidos	56
3.17	Monitoramento do potássio no sistema solo-planta	57
3.18	Parâmetros avaliados na cultura	58
3.18.1	Altura das plantas	58
3.18.2	Diâmetro de colo	58
3.18.3	Rendimentos e componentes de produção	58
3.18.4	Massa seca dos frutos	59
3.18.5	Massa verde e seca da parte aérea da planta e raiz.....	59
3.19	Avaliação do potássio e sódio na planta.....	59
3.20	Coletas das amostras de solo e determinação do potássio e sódio trocável do solo.....	60
3.21	Análise estatística	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Análise da concentração do potássio e condutividade elétrica do lençol freático.....	61
4.2	Análise da variação da condutividade elétrica da solução do solo (CEes).....	62
4.3	Análise da variação da concentração de potássio na solução do solo	65
4.4	Parâmetros avaliados na cultura	68
4.4.1	Altura de planta	68
4.4.2	Diâmetro de colo	70
4.4.3	Massa da matéria de plantas e fruto e componentes de produção	72
4.4.4	Teor de potássio e sódio na planta.....	74
4.5	Balanço hídrico do solo	76
4.6	Balanço de potássio no sistema solo-planta	81
5	CONCLUSÕES	84

6 REFERÊNCIAS85

RESUMO

MONITORAMENTO DO POTÁSSIO EM UM CULTIVO DE PIMENTÃO IRRIGADO EM REGIÃO SEMIÁRIDA

A cultura do pimentão é de grande importância entre as plantas olerícolas, constituindo-se em uma alternativa de renda para os pequenos produtores e para a agricultura familiar. O nutriente mais absorvido pelo pimentão é o potássio, sendo a difusão o principal mecanismo de transporte do potássio até a raiz; contudo, o fluxo de massa pode ter contribuição significativa no processo quando a concentração de potássio na solução do solo é elevada. Estudos de estimativas de demanda nutricional dos cultivos e lixiviação de nutrientes geralmente são realizados a partir da coleta de amostras da solução do solo, utilizando-se extratores de solução providos de cápsula porosa, com os quais a solução é obtida diretamente no campo pela aplicação de vácuo. Este trabalho foi realizado na Fazenda Nossa Senhora do Rosário no município de Pesqueira, região agreste do estado de Pernambuco, a 230 km da capital, as margens da rodovia BR-232, com o objetivo de monitorar o potássio num cultivo de pimentão irrigado em região semiárida. O experimento foi conduzido em campo aberto em um lote pertencente a um agricultor familiar. As mudas de pimentão (*Capsicum annuum*, L.) foram adquiridas por um viveirista especializado, utilizando um híbrido denominado comercialmente de Rubia, procedente da Sakata. O cultivo foi desenvolvido sob irrigação localizada por gotejamento, utilizando nas linhas laterais do sistema um emissor modelo Katif auto-compensante de $3,7 \text{ L h}^{-1}$ por planta. Os tratamentos foram compostos de quatro lâminas de irrigação ($L1 = 0,8ET_c$; $L2 = 1,0ET_c$; $L3 = 1,1ET_c$ e $L4 = 1,2ET_c$), e quatro doses de potássio ($K1 = 80$, $K2 = 100$, $K3 = 150$ e $K4 = 200 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O), totalizando 16 tratamentos com 3 plantas efetivas por parcela no espaçamento de $0,5\text{m} \times 1,0\text{m}$ entre plantas. O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado em parcela subdividida com 4 repetições, sendo os tratamentos arranjados em esquema fatorial 4×4 , num total de 64 parcelas experimentais. No final do cultivo verificou-se uma leve redução da concentração de potássio (K^+) e uma grande redução da condutividade elétrica (CE) da ordem de $26,3 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,21 \text{ dS m}^{-1}$ no lençol freático, respectivamente. Para os modelos de regressão testados as variáveis de crescimento altura de plantas e diâmetro de colo, ajustaram-se a modelos linear e quadrático. A massa fresca e seca da parte aérea sofreram influência das lâminas de irrigação aplicadas apresentando ajuste para modelo quadrático de regressão, com valores máximos de $142,64$ e $23,92 \text{ g planta}^{-1}$, para lâminas de 103 e 104% da evapotranspiração da cultura (ET_c), respectivamente. Os valores médios de potássio na foi $25,04 \text{ g kg}^{-1}$. O risco de contaminação de potássio foi verificado a partir da saída deste elemento da camada de solo de 0-60 cm, com quantidades bem superiores as quantidades aplicadas na fertilização.

Palavras-Chave: pimentão, potássio, lixiviação, irrigação

ABSTRACT

MONITORING OF POTASSIUM IN A CULTURE OF IRRIGATED BELL PEPPER IN SEMIARID REGION

The bell pepper is of high importance within the vegetable crops, thus becoming an alternative source of income for small producers and family farms. Potassium is the nutrient most absorbed by bell pepper and diffusion the main transport mechanism to the roots, although the mass flow can have significant contribution in the process under high potassium concentration in soil solution. Predict studies for demand and leaching of crop nutrient are usually carried out sampling soil solution using solution extractors fitted in porous capsule, in which the solution is directly obtained in the field applying vacuum. This study was conducted at Nossa Senhora do Rosário Farm in Pesqueira/Pernambuco, 230 km from Recife, bearing the BR-232 road, with the objective of monitoring potassium in irrigated bell pepper crops in semiarid region. The experiment was carried out in an open field on a plot belonging to a family farmer. The seedlings of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) were acquired for a specialist, using the commercial hybrid Rubia, from Sakata. The cultivation was carried out under drip irrigation, using the side lines of the system using a self-compensating model Katif 3.7 L h⁻¹ per plant. The treatments consisted of four irrigation levels (L1 = 0.8 ETc, L2 = 1.0 ETc, L3 1.1 Etc and L4 = 1.2 ETc) and four potassium doses (K1 = 80, K2 = 100, K3 = 150 and K4 = 200 kg ha⁻¹ K₂O), totaling 16 treatments with three plants per plot spaced 0.5 m x 1.0 m between plants. The statistical design was completely randomized in a split plot with four replications, with treatments arranged in a factorial 4x4 with 64 plots. The results pointed out a slight reduction in potassium (K⁺) concentration and high reduction in electrical conductivity (EC), 26.3 mg L⁻¹ and 0.21 dS m⁻¹ in the water table, respectively. The growth variables plant height and diameter fitted to linear and quadratic models. The fresh and dry weight of shoot were influenced by irrigation levels fitting to a quadratic regression model, with maximum values of 142.64 and 23.92 g plant⁻¹, to sheets of 103 and 104% of crop evapotranspiration (ETc), respectively. Mean values of potassium was 25.04 g kg⁻¹. The risk of potassium contamination was observed from the output of this element of the soil layer of 0-60 cm, with amounts higher than those used in fertilization.

Key words: bell pepper, potassium, leaching, irrigation

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos estados brasileiros produz pimentão, sendo estimado que 13.000 ha sejam cultivados, alcançando produção de 280.000 t de frutos para o processamento de molhos, conservas e outras formas de preparo, responsáveis por um mercado de 3 milhões de dólares ao ano (CARVALHO et al., 2003). A maior produção está concentrada nos estados de São Paulo e Minas Gerais, responsáveis pelo plantio de 5.000 ha e produção de 120.000 toneladas de frutos (REIFSCHNEIDER & RIBEIRO, 2004).

A cultura do pimentão é de grande importância entre as plantas olerícolas, constituindo-se em uma alternativa de renda para os pequenos produtores e para a agricultura familiar. O seu fruto é consumido em grande parte in natura, sendo também utilizado na indústria de processamento de alimentos devido à presença de pigmentos naturais na polpa, os quais são utilizados em corantes de sopas instantâneas e embutidos de carnes (REIFSCHNEIDER, 2000). No Estado de Pernambuco, os municípios de Camocim de São Félix, Gravatá, João Alfredo, Chã Grande e São Joaquim do Monte são os principais fornecedores de pimentão à Central de Abastecimentos de Recife (CEASA-PE, 2008).

De acordo com Faquin (1994) o potássio é responsável pela ativação enzimática, tem função de osmoregulação, na fotossíntese e no transporte de carboidratos. É absorvido pela planta na forma de K^+ e tem como sintomas visuais de deficiência presença de queimaduras nas margens das folhas mais velhas, pecíolos mais curtos e mais rígidos, internódios mais curtos e caules mais finos.

Fernandes (1971) mostra que o nutriente mais absorvido pelo pimentão é o potássio. Em condições de campo o mesmo autor, observou que a extração de macronutrientes por um cultivo de pimentão foi de 84,3 kg ha⁻¹ de potássio, 64,8 kg ha⁻¹ de cálcio, 51,2 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 8,4 kg ha⁻¹ de magnésio, 5,4 kg ha⁻¹ de enxofre e 4,8 kg ha⁻¹ de fósforo.

A difusão é o principal mecanismo de transporte do potássio até a raiz; contudo, o fluxo de massa pode ter contribuição significativa no processo quando a concentração de potássio na solução do solo é elevada (RUIZ et al., 1999). Estudos de estimativas de demanda nutricional dos cultivos e lixiviação de nutrientes geralmente são realizados a partir da coleta de amostras da solução do solo, utilizando-se extratores de solução providos de cápsula porosa, com os quais a solução é obtida diretamente no campo pela aplicação de vácuo (MORAES, 1991; KENGNI et al., 1994; ASADI et al., 2002). Esta metodologia é recomendada principalmente quando se deseja estudar a absorção de nutrientes pelas plantas e

lixiviação de nutrientes (DJURHUUS & JACOBSEN, 1995). No Brasil, os extratores de cápsula de cerâmica porosa vêm sendo utilizados para determinação da salinidade e concentração de nutrientes na solução do solo para fins de manejo da irrigação e da fertirrigação (BLANCO et al., 2000; SILVA, 2002; BLANCO & FOLEGATTI, 2003).

Estudos sobre lixiviação de nutrientes promovidas pela água de irrigação têm sido desenvolvidos em todo o mundo, com especial atenção à lixiviação de nitrato. Em um cultivo comercial de banana nas Ilhas Canárias, Espanha, Carpena et al. (2002) verificaram que 50% do nitrogênio aplicado era lixiviado para camadas de solo abaixo do sistema radicular da cultura, promovendo a contaminação da água subterrânea como resultado das aplicações excessivas de água e fertilizantes.

Outros trabalhos também têm demonstrado o risco de degradação ambiental resultante da lixiviação de nutrientes e acúmulo de sais no solo (GUIMERAÀ et al., 1995; DARWISH et al., 2002). English et al. (2002) destacam trabalhos que relacionam a quantidade de irrigação com a contaminação de águas subterrâneas por nitrato e concluem que o volume de água aplicado na irrigação está diretamente relacionado à contaminação, o que reflete a importância de um manejo racional da lâmina de irrigação para reduzir o impacto ambiental da atividade agrícola. Singh et al. (2002) demonstraram que a aplicação de potássio por fertirrigação promoveu aumento na concentração de potássio no perfil do solo, enquanto que na aplicação manual, pelo método convencional, a maior concentração de K^+ foi verificada nas camadas menos profundas de solo.

Aumento na concentração de K^+ em profundidade também foi observada por Azevedo et al. (2004) com o aumento da dose de K^+ aplicada na fertirrigação. Freitas et al. (2002) obtiveram resultado similar na fertirrigação do coqueiro para o primeiro ano de cultivo; porém, no segundo ano não foi verificado aumento da concentração de K^+ em profundidade, o que foi atribuído à lixiviação desse nutriente para as camadas mais profundas do solo promovida pela irrigação.

Os vales aluviais do semiárido apresentam elevado potencial para a pequena agricultura, embora sejam susceptíveis a processos de acúmulo de sais, tanto na zona não-saturada quanto na saturada, a depender, dentre outros fatores, da distribuição espacial de suas características hidráulicas. A irrigação nessas áreas pode incorrer em impactos ambientais quanto ao solo e à água subterrânea. Para minimizar esses impactos é necessária a adoção de taxas de aplicação e lâminas de lavagem compatíveis com a capacidade de infiltração do solo, em particular nos solos de textura fina, onde a infiltrabilidade pode ser limitada e processos de

ascensão capilar tendem a ser relevantes, influenciando o processo de acúmulo de sais. Em tais áreas, a não consideração da variabilidade espacial dos atributos do solo e de suas aptidões pode afetar intensamente os planos de manejo agrícola (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2006). Entretanto, tal prática (lixiviação de sais) pode acarretar lixiviação de íons nutrientes como o K^+ , que pode potencializar eutrofização de águas subterrâneas.

Objetivou-se com este trabalho monitorar o potássio em um plantio de pimentão e os riscos de impactos ambientais sobre os recursos hídricos promovidos pela irrigação e fertilização de solo em região semiárida.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do pimentão (*Capsicum annum* L)

As várias formas de pimentões e pimentas consumidas pelo homem pertencem ao gênero *Capsicum*. O centro de diversidade de formas cultivadas de *Capsicum annum* é o México, com centro secundário na Guatemala. O pimentão pertence à família SOLANACEAE, tribo SOLANEAE e sub-tribo SOLANINAE (CASALI & COUTO, 1984).

O pimentão é uma planta arbustiva com 0,40 a 1,50 m de altura, cujas raízes atingem 1 m de profundidade, ereta, anual, com folhas de tamanho variável (1,5 - 12 x 0,5 - 7,5 cm) (MINAMI & TESSARIOLI NETO, 1994).

As flores são hermafroditas, solitárias, com corola branca, cálice sem constrição na junção com o pedicelo, corola campanulada - rotada, profundamente 5 - 6 partida, com 6 estames inseridos perto da base corola, antera azulada, descende longitudinalmente. O ovário é bilocular, podendo ser múltiplo, estilo simples, branco ou púrpuro, estigma capitada. As flores permanecem abertas de 2 a 3 dias. São plantas de auto fecundação, embora possa ocorrer uma certa porcentagem de polinização cruzada e os frutos apresentam polpa firme e sementes de coloração palha (CASALI & COUTO, 1984). O fruto imaturo pode ser de coloração verde ou vermelha e quando maduro pode ser vermelha, alaranjada, amarela, marrom, creme ou arroxeada (MINAMI & TESSARIOLI NETO, 1994).

O sistema de ramificação do *Capsicum* segue um único modelo básico. Depois que o broto é finalizado por uma flor, novos brotos vegetativos emergem das axilas das folhas que serão condicionados por dominância apical. Após o crescimento dos brotos terem produzido um número específico de órgãos florais, volta a iniciar uma continuação vegetativa do processo. Este ciclo se repete ao longo do período de crescimento. Esta estrutura forma um número de folhas, a disposição das inflorescências e o grau de supressão do crescimento desigual das várias partes da planta e de seus órgãos relevantes, é uma característica varietal e depende da ordem de ramificação e da idade fisiológica da planta. Uma vez que se inicia a fase reprodutiva, mediante repetida produção de folhas e flores se alcança um equilíbrio vegetativo/reprodutivo mais ou menos constante ao longo de todo o período de crescimento (CHILD, 1979; NUEZ et al., 1996).

Dentre os fatores que afetam o desenvolvimento dos ramos está a iluminação total diária, sendo mais importante que a qualidade da luz e do fotoperíodo (NUEZ et al., 1996). Uma boa nutrição é um fator essencial no crescimento e desenvolvimento dos ramos e da

planta. Sendo necessário um suprimento adequado de água e fertilizante. A falta de qualquer um desses fatores faz com que a planta tenha seu desenvolvimento afetado bem como, redução na produção (BEEVERS, 1969). A velocidade de alongação dos ramos é muito influenciada pela temperatura e pela termoperiodicidade. As temperaturas baixas retraem o crescimento e as excessivas produzem talos delgados, estando a temperatura ótima em torno de 25 °C. A diferença térmica ótima noite-dia deve oscilar entre 5 e 8 °C (TOMPSON & KELLY, 1957 apud NUEZ et al., 1996).

No pimentão as raízes são axonomorfas da qual se ramificam um conjunto de radículas laterais, posteriormente, se forma uma densa borda de raízes. O peso do sistema radicular varia de 7 a 17% do peso total da planta, em função do tipo varietal e das condições de cultivo. Nas plantas de pimentões jovens a proporção relativa do sistema radicular em relação a biomassa total é maior que nas plantas adultas (SOMOS, 1984).

Segundo diferentes autores (MILLER et al., 1979; LOCASCIO et al., 1985; RINCÓN et al., 1993) existem duas fases distintas no ritmo de crescimento da planta de pimentão. Na primeira fase, considerada de crescimento lento, sintetiza 50 % da matéria seca total produzida e compreende em cultivos protegidos, desde ao transplante até a segunda colheita, com uma duração média de 110 a 120 dias. A segunda fase, de crescimento rápido, compreende o resto do período de cultivo, com uma duração média de 40 a 50 dias.

A percentagem de matéria seca acumulada no diferentes órgãos vegetativos da planta varia segundo o seu estado fenológico. As folhas representam mais de 50% da matéria seca, desde praticamente o transplante até à primeira colheita (100 dias após o transplante). Posteriormente, são os frutos que mais representam a maior porcentagem até ao final do período de cultivo, significando 65 % do total de matéria seca acumulada. Durante o período de maturação dos frutos, a planta diminui o ritmo de crescimento, devido que a maior parte de produtos sintetizados são armazenados. O índice de área foliar alcança ao final do cultivo um valor médio de 4,5 (45000 m² ha⁻¹) para uma densidade de plantio de 2,5 pl m⁻² (RINCÓN et al., 1993).

Brandão Filho & Callegari (1999) consideram como temperatura ótima, para o bom desenvolvimento e produção do pimentão, a faixa de 20 a 30 °C durante o dia e, de 15 a 20 °C durante a noite, devendo-se evitar temperaturas inferiores a 10 °C e superiores a 35 °C. A umidade relativa do ar ideal está compreendida na faixa de 50 a 70%. Segundo Tivelli (1998), a cultura do pimentão é muito sensível tanto à falta de água no solo como o seu excesso. Durante o cultivo, o solo deve ser mantido entre 70 e 80 % da capacidade de campo.

Segundo Filgueira (2000), o pimentão é uma planta de dias curtos, pois floresce e frutifica em qualquer comprimento de dia, porém, florescimento, frutificação e maturação dos frutos são mais precoces em dias curtos, favorecendo a produtividade.

O pimentão é bastante exigente quanto ao teor de água no solo. Segundo Filgueira (2003), 80 % ou mais de água disponível deve ser mantida no solo para o pleno desenvolvimento da cultura. Os estádios de desenvolvimento mais sensíveis ao déficit hídrico são os de frutificação e colheita. O excesso de água no solo não é tolerado pelo pimentão, tendo, como consequência, a redução no número e peso dos frutos.

2.2 Qualidade de água para irrigação

No passado, o fator qualidade da água para irrigação não era visto como prioridade, pois as fontes d'água eram abundantes e de boa qualidade (AYERS & WESTCOT, 1991). Todavia, o uso intensivo das fontes de água de boa qualidade resultou na escassez desse recurso, provocando a utilização de águas de qualidade inferior para suprir as demandas da agricultura irrigada.

O termo qualidade da água define-se por uma ou mais características físicas, químicas e biológicas. Geralmente, para as águas de irrigação, a qualidade é definida pela concentração dos sais dissolvidos e pela composição iônica. Entretanto, de acordo com Araújo (1999), as águas de irrigação devem ser analisadas em relação aos parâmetros fundamentais como salinidade, sodicidade, toxidez, concentração de íons e aspectos sanitários.

Considerando a qualidade das águas de irrigação sobre o rendimento das culturas, as características físico-químicas do solo e mudanças do meio ambiente, Ayers & Westcot (1991) classificaram as águas para irrigação em três grupos: sem restrição ao uso, com restrição leve a moderada e com restrição severa. Entre os parâmetros utilizados nessa classificação, destacam-se: a salinidade, a sodicidade, a toxidez, efeitos diversos e o pH.

2.2.1 Salinidade na agricultura irrigada

Segundo Duarte (2006) o termo salinidade da água e do solo está diretamente ligada ao teor de sais contidos nos mesmos. A elevação da concentração de sais no solo, principalmente na zona radicular, reduz a disponibilidade de água para as plantas.

A salinização dos solos pode ter origem natural ou antropogênica. Os processos naturais associados diretamente à pedogênese são os responsáveis pela maior parte da área salinizada no mundo. Entretanto, a salinização causada pela ação antropogênica é a que traz maior impacto econômico, pois ocorre em áreas onde se realizou investimento de capital (SILVA, 2002).

Os fatores responsáveis pela salinização dos solos em áreas irrigadas são principalmente: o uso de água de irrigação de qualidade inferior (alta salinidade), elevação do lençol freático causada pelo manejo inadequado da irrigação, pelas perdas de água por infiltração em canais e reservatórios, por deficiência de drenagem e aplicação de fertilizantes de forma excessiva e pouco parcelada no decorrer do tempo, induzindo estresse osmótico ao sistema radicular (DUARTE, 2006).

De acordo com Ayers & Westcot (1991), sais são adicionados ao solo no momento das irrigações, aumentando de concentração à medida que as culturas consomem, por evapotranspiração, a água disponível. As plantas extraem a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças de retenção da água exercida pelo solo. Quando o potencial matricial do solo diminui, as forças de retenção de água no solo aumentam, tornando-se maiores do que as forças de extração exercidas pelas plantas, provocando estado inicial de escassez de água na cultura.

Baseado em diversos estudos, Maas (1984), subdividiu as culturas em grupos de acordo com as suas tolerâncias relativas (tolerantes, moderadamente tolerantes, moderadamente sensíveis e sensíveis) à salinidade da água e do extrato de saturação do solo, correlacionando-as com rendimento potencial para cada valor de salinidade. A relação entre a produtividade das culturas e a salinidade do solo e da água, medida pela condutividade elétrica de ambos pode ser observada na Figura 1.

Ayers & Westcot (1991) afirmam que a cultura do pimentão é moderadamente sensível. Maas & Hoffman (1977) analisaram diversos cultivos, em diferentes climas e diferentes variedades, e concluíram que, para a cultura do pimentão, a salinidade limiar é igual a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e o decréscimo no rendimento relativo para cada unidade de incremento na condutividade elétrica no extrato de saturação que excede à limiar é igual a 14%. De acordo com Silva (2002), para uma melhor avaliação da tolerância de uma determinada cultura deve-se levar em consideração fatores como tipo de solo, clima e práticas de manejo da irrigação.

Segundo Ayers & Westcot (1991), além da lixiviação dos sais e seleção de culturas, outras práticas podem evitar ou atenuar a salinidade, como exemplo tem-se a substituição das

culturas, irrigações mais freqüentes, drenagem do solo, terraceamento, nivelamento do solo, rebaixamento do lençol freático, cuidados com aplicação de fertilizantes, métodos de irrigação e métodos de semeadura adequados.

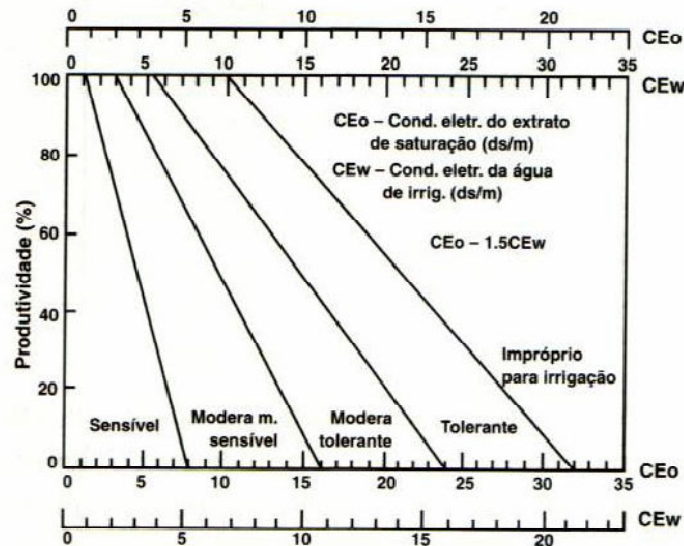


Figura 1. Relação entre a produtividade e a salinidade do solo, medida através da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e da água de irrigação (Fonte: AYERS & WESTCOT 1991)

2.2.2 Infiltração da água no solo

A infiltração refere-se à facilidade com que a água atravessa a superfície do solo e é medida em termos de velocidade (AYERS & WESTCOT, 1991). Pode haver problemas relacionados à qualidade da água, quando a velocidade de infiltração da água de irrigação ou da chuva se reduz drasticamente e, como conseqüência, pode haver alagamento da camada superior do solo, propiciando aparecimento de pragas, doença fúngicas, erva daninhas, problemas de germinação, transtorno com a nutrição, falta de aeração e principalmente, a falta de água no sistema radicular.

O efeito da redução da infiltração da água é similar ao efeito causado pela salinidade, pois em ambos os casos, ocorre uma diminuição de suprimento de água para as plantas, só que por razões diferentes. No caso da infiltração, a planta é penalizada porque não tem água disponível para o sistema radicular, enquanto que, no problema com a salinidade, existe água disponível, mas a planta não consegue extraí-la. A infiltração da água nos solos varia bastante

e depende da qualidade da água de irrigação, das características físicas do solo, como porosidade, estrutura, grau de compactação e teor de matéria orgânica, bem como de suas características químicas, incluindo-se os cátions trocáveis (DUARTE, 2006).

De acordo com Paganini (1997), de todas as causas que possam resultar na perda da permeabilidade do solo, dentre as químicas, a mais importante é aquela dada pelo sódio, pois a adsorção dos íons de sódio às partículas de solo leva à dispersão dos colóides deste, provocando o bloqueio dos seus poros, com conseqüente redução da permeabilidade do solo.

Os tratamentos para solucionar problemas de infiltração podem ser físicos ou químicos, incluindo a adição de corretivos como o gesso, com intuito de modificar e melhorar a estrutura do solo, ou a mistura de duas ou mais águas de qualidades diferentes, melhorando assim a qualidade da água de irrigação. Existem, ainda, os corretivos ácidos, como o enxofre, que por meio de oxidação, transforma-se em ácido sulfúrico e reage com o calcário existente no solo, liberando assim, o cálcio. Entretanto, o processo de oxidação é lento e requer solos úmidos, quentes e bem arejados. Um manejo bem adequado do sistema de irrigação, como irrigações mais freqüentes, prolongamento das irrigações e irrigações no pré-plantio, bem como os tratos culturais, como aração e aplicação de resíduos orgânicos, complementam os métodos químicos e físicos, minimizando os problemas de infiltração (DUARTE, 2006).

2.2.3 Condutividade elétrica do solo

A condutividade elétrica é a facilidade que tem alguns corpos sólidos presentes nos líquidos de transmitir a eletricidade quando se estabelece um circuito. Em uma solução o transporte de elétrons ocorre devido aos íons dos sais dissolvidos, uma vez que, cada um desses íons tem a capacidade de possibilitar a corrente elétrica. Esta propriedade é utilizada para quantificar a salinidade de um solo medindo a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do solo. A condutividade elétrica está intimamente correlacionada com a soma dos cátions que se determina quimicamente e com os sólidos totais dissolvidos (PEÑA, 1986).

Diversos fatores podem afetar a CEes do solo. Alguns íons conduzem a eletricidade mais lentamente do que outros. A CEes aumenta com o aumento da concentração de sais, no entanto, a taxa de aumento pode diminuir com aumentos da concentração. A CEes do solo também é afetada pela temperatura. A temperatura padrão para medição de CEes é de 25°C.

Medições feitas em outras temperaturas precisam ser ajustadas para o padrão (SANTOS, 2000).

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 nitrato de potássio, nitrato de amônio, cloreto de potássio, sulfato de potássio e nitrato de cálcio, a salinidade da água era acrescida, 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.

O conteúdo de sais de um solo pode ser estimado, de forma aproximada, pela condutividade elétrica no extrato de uma pasta de solo saturada ou em uma suspensão mais diluída. Pode-se fazer uma estimativa precisa da condutividade de um extrato, porém será menos representativa do que o tipo de solução com a qual as raízes das plantas estarão em contato no solo. Quando se investiga a salinidade do solo como relação ao desenvolvimento das plantas, se recomenda usar a condutividade do extrato de saturação como um meio para avaliar a salinidade (RICHARDS, 1954).

O procedimento de medir a CEes de um solo consiste em usar uma amostra do solo, acrescentando água destilada até à saturação e extrair a água da pasta, mediante sucção através de um filtro que não deixe passar partículas do solo. A água obtida denomina-se extrato de saturação, que é uma mistura entre a solução inicial do solo e a água destilada. Mede-se a CE do extrato de saturação e o valor resultante se toma como um índice de salinidade do solo. A salinidade assim medida não é o real da solução do solo. Parece que quando se trata do estudo dos efeitos da salinidade do solo sobre os cultivos, deveria ser medida a CE real da solução do solo, a qual está em contato com as raízes das plantas. No entanto esta prática tem o seguinte inconveniente: as raízes absorvem a água do solo compreendida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha. Como os sais não são absorvidos, permanecem na solução, que, portanto será mais salina quando mais próximo estiver do ponto de murcha. O mais correto seria medir a salinidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, com o qual se conheceriam os limites entre os quais oscila a salinidade do solo (TAVARES, 2005).

Na prática a salinidade do solo se expressa de uma maneira insuficiente, indicando no solo a CEes; a qual seria a salinidade que tenderia à solução do solo caso este estivesse saturado. Para completar a informação seria preciso conhecer a porosidade do solo, sua

capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, com o qual poder-se-ia calcular os limites de salinidade submetida às plantas (PIZZARO, 1996).

2.3 Manejo de água com base nos dados climáticos

Para realização do manejo da água via clima é necessário se conhecer o consumo de água pelas culturas (ET_c), que representa a lâmina que deve ser aplicada ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais (PEREIRA et al., 1997). Segundo Doorenbos & Kassam (1994), a ET_c é o resultado do produto da evapotranspiração de referência (ET_0) e coeficiente da cultura (K_c). Portanto, a determinação do consumo de água por uma cultura é dependente do conhecimento da evapotranspiração de referência, que diz respeito às condições climáticas do local da sua implantação, e também das características fisiológicas e morfológicas que lhe são peculiares, representadas através do seu coeficiente de cultivo.

2.3.1 Evapotranspiração

A evaporação da água é um fenômeno físico que propicia a mudança de estado da água da fase líquida para a gasosa diretamente de uma superfície líquida (mar, lago, rio, etc) ou úmida (planta, solo). Quando esta mudança se dá através das plantas recebe o nome de transpiração. No caso de solos parcialmente vegetados estes processos ocorrem simultânea e interdependentemente, daí a utilização do termo evapotranspiração (BERLATO & MOLION, 1981).

A evapotranspiração pode ser determinada ou estimada de diferentes maneiras. De acordo com Miranda et al. (2001), ela pode ser mensurada utilizando métodos diretos ou estimada por meio de informações climáticas.

Thornthwaite (1948) definiu a evapotranspiração potencial (ET_p) como a quantidade de água utilizada por uma extensa área vegetada, em crescimento ativo, sob condições ótimas de umidade do solo. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi definida por Doorenbos & Pruitt (1977) como sendo a água utilizada por uma extensa superfície de grama, em crescimento ativo, com altura de 0,08 a 0,15 m, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água.

Jensen (1973) propôs como cultura referencial a alfafa e definiu como evapotranspiração de referência a que se verifica em uma área sem deficiência hídrica, com bordadura mínima de 100 m plantada com a referida cultura sendo que a alfafa deve apresentar um porte de 30 a 50 cm de altura. A evapotranspiração real (ET_r) é aquela que ocorre em uma superfície vegetada, independente de sua área e das condições de umidade do solo (THORNTHWAITE, 1948; PRUITT et al., 1972; VILLA NOVA & REICHARDT, 1989; PEREIRA, 1992).

Penman (1956) definiu evapotranspiração potencial como “a quantidade de água utilizada na unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e verde, cobrindo totalmente a superfície, com altura uniforme e sem deficiência hídrica”. Culturas de porte baixo estão implícitas nesta definição; no entanto, Penman (1956) aplicou esse conceito apenas para gramas de porte baixo. A evapotranspiração de culturas irrigadas pode ser de 10 a 30 % maior do que a ocorrida em superfície gramada.

O conceito de evapotranspiração da cultura (ET_c) foi introduzido por Doorenbos & Pruitt (1977), caracterizando-a como sendo a evapotranspiração de uma cultura agrônômica, livre de doenças, desenvolvendo-se em uma área cultivada de um ou mais hectares, sob condições otimizadas de solo, incluindo água e fertilidade.

Jensen et al. (1990) afirmaram que na prática a estimativa da evapotranspiração de uma cultura específica (ET_c) envolve o cálculo da evapotranspiração potencial (ET_p) de uma cultura de referência, aplicando-se, posteriormente, coeficientes de cultivo (K_c). Outras formas de se estimar a evapotranspiração potencial (ET_p) são possíveis, por exemplo, o uso da evaporação de uma superfície livre de água. Contudo, a taxa de evaporação de tanques varia com o tamanho do tanque e com as condições de contorno. O mesmo autor sugere que a ET_0 pode ser definida como “a taxa com que a água, se disponível, é removida da superfície do solo e das plantas, de uma cultura específica, arbitrariamente chamada de cultura de referência”. A ET_0 é normalmente expressa como taxa de calor latente por unidade de área ou lâmina de água evaporada. A ET_0 é equivalente a evapotranspiração potencial com uma especificação adicional de que ela representa a evapotranspiração de uma cultura com umidade do solo ideal e cobertura total da área.

Na ausência de medidas diretas, como as obtidas por meio dos lisímetros, a evapotranspiração pode ser estimada por medidas indiretas utilizando diferentes metodologias, agrupadas, segundo Pereira et al. (1997), em cinco categorias: empíricas, aerodinâmico, balanço de energia, combinados e correlações dos turbilhões.

Sentelhas (2001) apresenta como métodos mais empregados, quer pela simplicidade ou pelo grau de confiabilidade, os de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Penman-Monteith (PM). Além desses, muitos outros métodos são apresentados na literatura, mas em virtude de suas condições empíricas ou semi-empíricas, não são tão utilizados como a maioria dos que foram citados, exatamente por terem sido desenvolvidos para condições climáticas e agrônômicas específicas, não tendo assim, validade para condições distintas.

De acordo com Medeiros (2002), diversos trabalhos científicos têm mostrado que o desempenho do método de PM na estimativa da ET_0 é satisfatório, quando comparado com medidas lisimétricas. No entanto, muitas vezes o emprego deste método torna-se restrito em virtude da disponibilidade de dados meteorológicos, favorecendo o uso de métodos mais simples. Apesar disto, diversos autores apresentam alternativas para o uso da equação PM-FAO 56 em situações de não disponibilidade de alguns desses dados. Por exemplo, dados de radiação podem ser estimados a partir da diferença de temperatura do ar, e a umidade relativa pode ser estimada a partir da temperatura mínima do ar. Esses procedimentos devem ser validados para as diferentes condições locais, ou seja, a estimativa de ET_0 obtida com dados incompletos deve ser comparada a outras estimativas obtidas quando existe disponibilidade de todas as variáveis necessárias.

Com relação aos tanques de evaporação, o tanque classe “A” é o mais utilizado no Brasil. Apresenta área de aproximadamente $1,15 \text{ m}^2$ e deve ser instalado sobre uma superfície gramada em um estrado de madeira. Segundo Sentelhas (2001), sua simplicidade de manuseio é contraposta a algumas desvantagens como a super exposição às condições ambientais, a facilidade de acesso de animais e ao fato da evaporação ocorrer também no período noturno, fato que dificulta sua correlação com métodos tradicionais de estimativa de ET_0 .

A evaporação diária no tanque é obtida pela diferença de leituras em dois dias consecutivos. Tradicionalmente, a leitura é feita utilizando um parafuso micrométrico acoplado a um gancho, a fim de se obter melhor precisão do nível d'água no tanque. No entanto, Villa Nova & Sentelhas (1999) apresentaram um sistema alternativo de medida que, acoplado ao tanque Classe A, possibilita efetuar um balanço entre a água evaporada do tanque e a precipitação. Os autores concluíram que, dada a facilidade oferecida na obtenção das leituras, não exigindo a presença de pessoal treinado, o tanque medidor também é um pluviômetro, permitindo a leitura em condições de dias com chuvas leves sem a necessidade de dados pluviométricos.

Dalmago et al. (2003) determinaram a evapotranspiração máxima ET_m , utilizando a lisimetria, para a cultura do pimentão (Híbrido VIDI F1) conduzida em estufa e plantada em camalhões recobertos com filme PEBD de cor preta. Estes autores observaram valores de ET_m diária de $0,5 \text{ mm dia}^{-1}$, na fase inicial até os 20 dias após o transplante (DAT), aumentando até os 54 DAT quando atingir a máxima ET_m de $3,6 \text{ mm dia}^{-1}$. Após este período, ocorreu decréscimo progressivo da ET_m , até apresentar valores próximos a $1,0 \text{ mm dia}^{-1}$, no final do experimento que ocorreu aos 112 DAT. A ET_m total foi de 136 mm com média diária de 1,21 mm. O baixo valor da ET_m registrado neste experimento pode ser explicado pelo curto período de duração do experimento e sua condução em estufa. Bezerra & Mesquita (2000) obtiveram ET_m total média de 395,0 mm, na cultura do pimentão com a cultivar Califórnia, no período de 90 DAT, conduzido nos meses de julho á setembro em cultivo de campo do nordeste brasileiro.

2.4 Principais íons do solo e seus efeitos

O excesso de potássio (K) pode interferir, positiva ou negativamente, na absorção de outros cátions pelas plantas, considerando que a taxa de absorção de um íon pode ser afetada por outro, desde que estejam competindo diretamente pelo mesmo sítio no carregador. O teor de K na planta aumenta a taxa de absorção de NO_3^- e pode inibir as de Ca e Mg (MARSCHNER, 1995).

Os problemas de toxicidade e de salinidade são diferentes. A toxicidade ocorre internamente na planta; normalmente, ela se origina quando certos cátions, absorvidos pela planta com a água do solo, são acumulados nas folhas durante a transpiração, em quantidades suficientes para provocar danos. Os danos podem reduzir significativamente os rendimentos e sua magnitude depende do tempo, da concentração dos íons, da sensibilidade das plantas e do uso de águas pelas culturas. Os íons tóxicos contidos comumente nas águas de irrigação são o cloreto, o sódio e o boro, e os danos podem ser provocados individualmente ou em combinação (ELOI, 2007).

Dentre os íons de maior mobilidade na crosta terrestre estão os cátions sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio e magnésio ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) e o ânion cloreto (Cl^-). As origens destes sais se confundem com a própria formação do solo. Sabe-se que o solo é produto da decomposição das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores, tais como clima, relevo, organismos vivos e tempo. No processo de intemperização diversos

constituintes da rocha são dissolvidos, durante milhares de anos, na forma de compostos simples e transportados naturalmente pela água para os oceanos e para as partes baixas do relevo, onde são acumulados na superfície do solo ou carregados para lençóis freáticos (SANTOS, 2000). De acordo com o mesmo autor, embora a fonte principal e mais direta de todos os sais encontrados no solo seja a intemperização das rochas, raros são os exemplos em que a mesma tenha provocado, de forma direta, problemas de salinidade no solo.

Normalmente, tais problemas são associados à água de irrigação e à presença de lençol freático elevado. Os sais da água de irrigação podem ser provenientes, além das fontes primárias como a rocha e o solo, também de água de drenagem e intrusão salina (SANTOS, 2000).

O excesso de sais solúveis na solução do solo afeta o desenvolvimento das plantas, devido à diminuição do potencial osmótico, que juntamente com o potencial mátrico, representam as resistências que as raízes das plantas têm que vencer para absorver água do solo. O aumento da pressão osmótica pode atingir um nível em que as plantas não terão força de sucção suficiente para superar este gradiente, e, conseqüentemente, não conseguirão absorver água, mesmo em um solo aparentemente úmido, fenômeno conhecido por seca fisiológica (MEDEIROS et al, 1997). Além disto, a presença de íons fitotóxicos, especialmente o Cl^- e o Na^+ (AYERS & WESTCOT, 1991), na água de irrigação e ou no solo, também pode implicar em substancial depreciação na produtividade dos cultivos.

2.4.1 Métodos para extração da solução do solo e o monitoramento de sua concentração iônica

Desde o início do século XX, diversos pesquisadores procuram aperfeiçoar aparatos para extração da solução do solo, de forma que a solução apresente-se o mais próximo da realidade em termos de concentração iônica. Dentre eles citam-se os trabalhos de Lipman (1918) que propunha a extração da solução por compactação de uma amostra de solo à umidade elevada, Krugel et al. (1935) que utilizou cápsulas cerâmicas para extrair a solução do solo com a finalidade de investigar a fertilidade dessa e Richards (1941) que fez uso de uma câmara de pressão para promover a retirada da solução.

Diversas são as técnicas para retirar a solução do solo. Wolt (1994) cita vários métodos: a) deslocamento da solução em coluna pela adição ou retirada de gases ou adição de líquidos (PARKER, 1921; WOLT et al., 1989 e ROSS & BARTLETT, 1990) , b)

centrifugação a baixa (GILLMAN, 1976) e alta pressão (ELKHATIB et al., 1987), c) câmara de pressão (RICHARDS, 1941), d) por vácuo no extrato saturado e soluções aquosas (RICHARDS, 1954), e) métodos de adsorção molecular (BAKER, 1973; NORVELL & LIDSAY, 1982), e f) extratores providos de cápsulas porosas (REEVE & DOERING, 1965).

Entretanto, Silva et al. (1999) citam que a extração da solução do solo por intermédio de cápsulas porosas em umidades próximas a capacidade máxima de retenção de água é de fácil execução e que várias vantagens podem ser relacionadas ao método: a solução corresponde à umidade equivalente ao momento em que a solução do solo é absorvida pela planta e assim os solutos dissolvidos são os mesmos que a planta estaria absorvendo, a amostragem é sistemática, verdadeiramente pontual e não destrutiva; a aferição da condutividade elétrica é praticamente instantânea. A solução do solo pode ainda ser extraída em diferentes níveis de umidade do solo, até o limite de 70 kPa, sendo estas quantificadas por meio da instalação de tensiômetros e curva de retenção de água pelo solo, com relativa precisão.

Uma vez que o monitoramento periódico tenha sido estabelecido, a concentração de fertilizantes aplicados via água de irrigação, geralmente com frequência diária ou em intervalos de poucos dias, pode ser controlada de forma a manter a concentração da solução do solo oscilando em uma faixa de CE adequada (BURGUEÑO, 1996). Garante-se, dessa forma, alta disponibilidade de nutrientes sem a ocorrência de problemas osmóticos. Considerando-se que a aplicação de fertilizantes esteja monitorada, não há geralmente necessidade de aplicações intencionais de frações de lixiviação de manutenção, evitando assim possíveis desperdícios com água, energia e fertilizantes.

Burgueño (1996) cita ainda que, a aplicação de fertilizantes deve ser diferenciada ao longo do ciclo da cultura, visto que, a absorção de nutrientes específicos é função da fase fenológica da cultura. É inevitável que, com o passar do tempo, ocorram certos desequilíbrios nutricionais em virtude da dificuldade de quantificar com precisão os nutrientes absorvidos pela planta e as interferências inerentes do complexo de troca catiônica do sistema solo. Tendo em vista a ocorrência de situações onde se perde o controle sobre o equilíbrio dos nutrientes no solo, quando se realiza apenas o monitoramento da condutividade elétrica da solução, pode-se estabelecer um acompanhamento também de alguns nutrientes na solução do solo, por meio de utilização de teste rápidos cujos equipamentos são de preços acessíveis e de fácil utilização no campo.

Silva et al. (1999) afirmam que o conhecimento da composição química da solução do solo, bem como da condutividade elétrica é importante para verificar a disponibilidade de nutrientes ao longo do ciclo de uma cultura. Entretanto, a amostragem e a realização de análise periódica de solo, com a finalidade de acompanhar as concentrações dos íons na solução, durante as fases de crescimento e desenvolvimento da cultura são inviáveis economicamente em uma atividade agrícola comercial, além de não ser uma metodologia instantânea, que possibilita tomada de decisão imediata.

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 cápsula cerâmica e que a predição de fósforo por esta metodologia não é aceitável.

Todavia, é bem verdade que a solução do solo tem composição bastante variável no tempo e no espaço, devido a uma série de processos dinâmicos entre as fases sólidas e líquidas do solo e absorção seletiva de nutrientes pelas raízes. Sposito (1984) enfatiza a complexidade da determinação da atividade e concentração de íons na solução do solo. Dentre os principais problemas cita-se: a) dificilmente a solução do solo pode ser considerada diluída homoganeamente, b) em virtude das variações físico-químicas das superfícies, a variação de intensidade do vácuo no processo de sucção interfere na amostragem, ou seja, pequenas sucções esvaziam poros grandes e sucções maiores esvaziam poros menores e como cada poro tem uma concentração iônica diferente, os resultados são variáveis, c) e para complicar ainda mais, existe variação iônica dentro do mesmo poro, dada a proximidade das cargas trocáveis no complexo sortivo.

A concentração iônica da solução do solo depende de procedimentos observados durante a extração. Wolt (1994) cita como fatores interferentes na amostragem o tempo da extração, a zona de influência da cápsula, a tensão aplicada e o material condutor. De acordo com Morrison & Lowery (1990) a zona de influência de uma cápsula cerâmica é resultado das características físico-hídricas do solo, do volume da amostra e da taxa de vácuo aplicado.

Segundo Riga & Charpentier (1998) o tamanho da cápsula e o tempo que a mesma é submetida ao vácuo são fatores que influenciam no equilíbrio iônico na solução do solo. Os autores constataram que quanto maior a cápsula cerâmica, maior o tempo para que a solução atinja o equilíbrio iônico.

Grover & Lamborn (1970) citam uma possível contaminação da solução do solo por sais retidos nos poros da cápsula e sugerem uma lavagem com solução de HCl. Entretanto,

Silva et al. (1999) observaram que esta contaminação não é sensível na determinação da condutividade elétrica da solução do solo quando se utilizam cápsulas novas apenas lavadas com água destilada.

2.4.2 Transporte do íon potássio no solo

O potássio, segundo Malavolta (1980) é um macronutriente absorvido da solução do solo pelas raízes, predominando o contato pelo processo de difusão. No Brasil, a aplicação de potássio às culturas é feita quase totalmente no plantio e/ou cobertura em aplicação direta ao solo (ZANINI, 1991).

Távora (1982) indica que o potássio está presente na maioria das rochas em combinação com outros elementos, principalmente com o alumínio e a sílica, sob a forma de silicatos de alumínio e potássio, em minerais tais como o ortoclásio, a muscovita e a biotita. Cerca de 95% da produção mundial de potássio é consumida sob a forma de fertilizantes.

É absorvido pelas raízes na forma de K^+ e desempenha várias funções na planta e, dentre estas, pode-se citar a melhor eficiência de uso da água, em consequência do controle da abertura e fechamento dos estômatos, maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para outros órgãos da planta, maior eficiência enzimática e melhoria da qualidade comercial da planta (MALAVOLTA et al., 1997).

O potássio aumenta a resistência natural da parte aérea das hortaliças em relação às doenças fúngicas, às pragas, ao acamamento, além de contra balancear o efeito contrário causado pelo excesso de nitrogênio (GONÇALVES, 2007).

O potássio também é requerido para a síntese protéica em plantas. Quando deficientes essas apresentam menor síntese de proteínas e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, como aminoácidos, amidas e nitrato (FAQUIN, 1994).

Segundo Scaloppi & Brito (1986), o potássio solúvel ou trocável geralmente representa uma pequena proporção, mas, ocasionalmente, pode estar incluído entre os principais constituintes da salinidade do solo. Cloreto, sulfato e, menos freqüentemente, nitrato, e pequenas quantidades de bicarbonatos, representam os ânions principais. Além dos sais solúveis, os solos salinos podem conter sais de menor solubilidade, como sulfato de cálcio (gesso) e carbonatos de cálcio e magnésio (calcário). Pelo fato dos colóides estarem floculados, a permeabilidade é igual ou superior a dos solos similares, não salinos.

Sparks & Huang (1985) indicam que o potássio do solo pode ser lixiviado, adsorvido pelo solo ou absorvido pela planta. Os fatores que influenciam no movimento do potássio no solo são a condutividade hidráulica, o pH do solo, o método e a taxa de aplicação deste elemento, a umidade do solo e a absorção pela planta. A habilidade do solo em reter o potássio aplicado é muito dependente da capacidade de troca de cátions do solo, assim, as quantidades de argila e matéria orgânica no solo, influenciam, fortemente, no grau de lixiviação. Os solos com alta capacidade de troca têm grande habilidade em reter o potássio aplicado; entretanto, a lavagem deste elemento é freqüentemente um problema em solos arenosos.

Os mecanismos que controlam o transporte do potássio no solo são baseados na rápida troca com outros cátions no solo. Quando a quantidade de potássio no solo é relativamente pequena com relação à capacidade de troca de cátions, a adsorção é controlada principalmente pelas variações da concentração de potássio na solução do solo. Quando a concentração de potássio na solução do solo aumenta, a capacidade tampão do potássio decresce e a velocidade de transporte do potássio se incrementa (GONÇALVES, 2007).

2.5 Balanço hídrico do solo

Segundo Reichardt e Timm (2004), o balanço hídrico do solo representa o somatório das quantidades de água que entram e saem de um elemento de um volume de solo, e num dado intervalo de tempo; o resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece. Do ponto de vista agrônomo, o balanço hídrico é fundamental, pois define as condições hídricas sob as quais a cultura se desenvolveu.

No semiárido nordestino, pela sua própria definição, a água é o fator mais limitante à obtenção de elevadas produtividades agrícolas, de forma regular, ao longo dos anos; entretanto, outra característica regional é a extrema variabilidade das condições climáticas (Reddy, 1983) fazendo com que, em alguns anos, o suprimento de água às plantas seja suficiente para atingirem altas produtividades, enquanto em outros anos possa levar à perda total das colheitas (ANTONINO et al., 2000).

Estes mesmos autores destacam também que as culturas de subsistência são normalmente estabelecidas em baixios (várzeas), com semeadura após as primeiras chuvas; muitas vezes, esta semeadura é perdida quando as plântulas morrem, por falta de água, devido à distribuição irregular da chuva e à ausência de água armazenada no perfil do solo. Apesar da

importância da disponibilidade hídrica na região semiárida, são poucas as pesquisas sobre balanço hídrico do solo e a maior parte foi realizada em solo irrigado.

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura, é necessário computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial (P) ou irrigação (I), a partir da sua infiltração na superfície, juntamente com ascensão capilar (AC); e as saídas, representadas pela drenagem interna (DI), evapotranspiração (ET) e deflúvio superficial (DS) num volume de solo, com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo; se a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo. Tanto o saldo positivo como o negativo podem ser medidos pela variação de armazenagem (ΔA) de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 2005).

Na prática, efetuar diretamente a contabilidade hídrica de uma parcela de solo com vegetação não é uma atividade simples e, dependendo das condições do local, nem sempre é possível. As medidas feitas com o objetivo de estabelecer o balanço hídrico de uma determinada área vegetada, em um intervalo de tempo, normalmente exigem o emprego de equipamentos sofisticados e de mão-de-obra especializada, o que torna tais medidas normalmente inacessíveis ao pequeno agricultor. Estudos dessa natureza, que levam em conta todos os fluxos envolvidos, ficam restritos a pequenas áreas e se destinam à verificação da validade de modelos matemáticos, desenvolvidos com a finalidade de simular o balanço hídrico (MEDEIROS, 2007).

Richardt e Timm (2004) apresentam a análise da razão de absorção de água pelo sistema radicular, para diferentes profundidades do perfil do solo ocupado por uma cultura, isolando as perdas por transpiração.

Lopes et al. (2005) determinaram a variação de umidade no solo, através do potencial matricial, por meio de tensiômetros. Os dados foram transformados para umidade volumétrica, utilizando uma curva de retenção obtida pelo modelo de van Genuchten (1980), para estimativa do balanço hídrico em solo ocupado com a cultura do feijão.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na Fazenda Nossa Senhora do Rosário no município de Pesqueira, região agreste do estado de Pernambuco, a 230 km da capital, as margens da rodovia BR-232, nas coordenadas geográficas de 08°10'25''S e 35°11'00''W, de latitude e longitude, respectivamente, e 650 m de altitude, de acordo com a Figura 2.

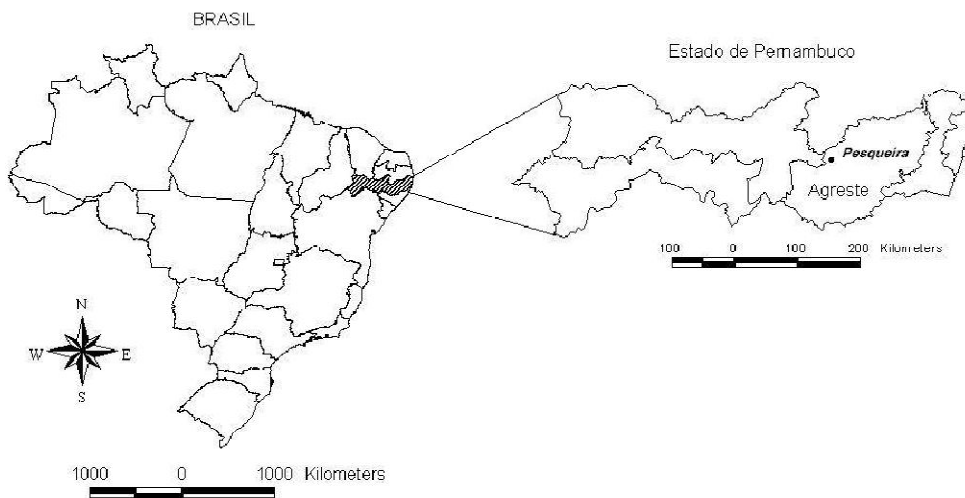


Figura 2. Localização da área de estudo no município de Pesqueira – PE (Fonte: RIBEIRO & CORRÊA, 2001).

O local possui uma superfície geomórfica aplainada, que constitui o terraço fluvial do Rio Ipanema, formado por sedimentos aluviais de textura variada. A planície aluvial é limitada por encosta suave onduladas, do piemonte de maciços montanhosos que circundam o vale e em alguns pontos o limitam abruptamente. Estas encostas são caracterizadas por solos pouco profundos, desenvolvidos do embasamento geológico referido ao Pré-cambriano indiviso representado, principalmente, por gnaisses e granitos (RIBEIRO, 1999).

O clima do local é classificado, segundo Köppen, como BShw' semiárido quente, caatinga hiperxerófila, com temperatura média anual em torno de 27°C, umidade relativa média anual do ar é de 73%, e velocidade média do vento de 2,5 m s⁻¹ (CISAGRO, 1990) e com solo caracterizado como Neossolo Regolítico Eutrófico (RIBEIRO & CORRÊA, 2001).

Dados obtidos de uma estação climatológica instalada no local registram uma precipitação média anual de 730 mm e uma evapotranspiração potencial de referência, estimada por Tanque Classe “A”, de 1638 mm anual (MONTENEGRO, 2001).

3.2 A unidade experimental

O experimento foi conduzido em campo aberto em um lote pertencente a um agricultor familiar da Fazenda Nossa Senhora do Rosário.

As mudas de pimentão (*Capsicum annuum*, L.) foram adquiridas por um viveirista especializado, conforme recomendado por Tivelli (1998), utilizando um híbrido denominado comercialmente de Rubia (F1 Rubia R), procedente da Sakata. O híbrido F1 de formato retangular apresenta alta produtividade devido ao alto pegamento dos frutos, possui coloração verde/vermelho uniforme, pesando em média 260-280 gramas sendo resistente à PVY (estirpe P 1-2).

As mudas foram transplantadas com 33 dias após a emergência no dia 14 de fevereiro de 2009, adotando um espaçamento de 0,5 m x 1,0 m entre plantas, numa área de 705 m² (0,0705 ha), perfazendo um “stand” de 1056 plantas.

O cultivo foi desenvolvido sob irrigação localizada por gotejamento, utilizando nas linhas laterais do sistema um emissor modelo Katif auto-compensante de 3,7 L h⁻¹ por planta.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram compostos de quatro lâminas de irrigação (L1 = 0,8ET_c; L2 = 1,0ET_c; L3 = 1,1ET_c e L4 = 1,2ET_c), e quatro doses de potássio (K1 = 80, K2 = 100, K3 = 150 e K4 = 200 kg ha⁻¹ de K), totalizando 16 tratamentos com 3 plantas efetivas por parcela no espaçamento de 0,5m x1,0m entre plantas. O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado em parcela subdividida com 4 repetições, sendo os tratamentos arrançados em esquema fatorial 4x4, num total de 64 parcelas experimentais. Também foram utilizadas duas linhas adicionais de plantas em cada lado da área experimental e em cada parcela para reduzir o efeito oásis nas plantas localizadas nas laterais e para impedir a influência das lâminas adotadas nos tratamentos adjacentes.

3.4 Coletas de amostra de solo para análises físicas e químicas

As amostras de solo foram coletadas em camadas de 0-20 e 20-40 cm para análise de fertilidade do solo, realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

A granulometria foi determinada através do método do desímetro de Boyoucos, em que se utilizou como dispersante a solução de calgon (hexametáfosfato de sódio). Foram realizadas as determinações quantitativas das frações de argila (0,002 mm), silte (0,002 -0,05 mm), areia (0,05 – 2,0 mm), expressas em porcentagem nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-75 cm de profundidade.

Para determinação da densidade do solo, foram coletadas 3 amostras indeformadas nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-75 cm de profundidade, num total de 15 amostras em uma trincheira com amostrador de Uhland (1949).

A classificação textural foi determinada de acordo com o triângulo americano de classificação textural utilizado pelo “United States Department of Agriculture”, após adaptações feitas pelo Centro Nacional de Pesquisas de Solos (CNPS)-Embrapa e a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (LEMOS & SANTOS, 1996).

3.4.1 Caracterização do solo da área de estudo

A granulometria da área de estudo, determinados segundo EMBRAPA (1997) e a densidade do solo, estão descritos na Tabela 1 para as profundidades de 0-15, 15-30, 30-45; 45-60 e 60-75cm, e de acordo com os resultados obtidos a Classe textural é Franco arenoso, segundo Lemos & Santos (1996).

Tabela 1. Caracterização física do Neossolo Regolítico Eutrófico utilizado no experimento

Profundidade cm	Atributos				Classe Textural
	Areia	Argila	Silte	Ds	
	g kg ⁻¹			g cm ⁻³	
0 – 15	672,40	157,60	170,00	1,56	Franco Arenoso
15 – 30	642,40	157,60	200,00	1,73	Franco Arenoso
30 – 45	672,40	147,60	180,00	1,64	Franco Arenoso
45 – 60	662,40	147,60	190,00	1,68	Franco Arenoso
60 - 75	632,40	167,60	200,00	1,67	Franco Arenoso

3.5 Adubação

A adubação nitrogenada e fosfatada foi realizada dois dias antes do transplante da cultura do pimentão, com base nos resultados de fertilidade do solo (Tabela 2). Foram abertas covas de plantio para aplicação dos tratamentos de potássio, adubação com fósforo e nitrogênio.

Tabela 2. Caracterização química do Neossolo Regolítico Eutrófico

Profundidade cm	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Al ⁺³	H+Al	C.O	M.O
			----- cmol _c dm ⁻³ -----						--- g kg ⁻¹ .---	
0-20	6,5	41	0,09	0,28	0,85	1,85	0,0	3,51	4,36	7,52
20-40	6,8	27	0,1	0,18	0,9	1,55	0,0	2,93	2,89	4,98

Os fertilizantes utilizados para adubação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foram: o nitrato de cálcio; o superfosfato simples e cloreto de potássio. A aplicação das doses de potássio correspondente em gramas por planta nos tratamentos foi: K1 = 8,30 g planta⁻¹ de K; K2 = 10,40 g planta⁻¹ de K; K3 = 15,60 g planta⁻¹ de K e K4 = 20,80 g planta⁻¹ de K. As aplicações de N e P foram baseadas no Manual de adubação para o estado de Pernambuco com base na fertilidade do solo da área de estudo.

3.6 Manejo da irrigação

As lâminas de irrigação foram aplicadas a nível diário a partir do 34º dia após transplante (DAT), utilizando as leituras de evaporação do Tanque classe A e as precipitações no período para determinar as lâminas necessárias de irrigação. Foi adotado para os ciclos da cultura o valor igual a 0,75 referente ao coeficiente de tanque (K_p), conforme Doorembos & Pruitt (1977). A água utilizada para as irrigações foi proveniente de poço, no qual, foi realizada uma coleta da mesma para fins de caracterização para irrigação, sendo analisada pelo laboratório do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (Tabela 3). De posse do valor de condutividade elétrica constatou-se de se tratar de uma água moderadamente salina de acordo com a classificação de AYRES & WESTCOT (1991).

Tabela 3. Caracterização da água usada na irrigação da cultura do pimentão em Neossolo Regolítico Eutrófico

Água de Irrigação (Composição iônica predominante)					
Cátions	VMP ¹	mmol/L	Ânions	VMP ¹	mmol/L
Cálcio – Ca ⁺²	**	5,23	Cloreto – Cl ⁻	250	6,22
Magnésio – Mg ⁺²	**	4,01	Bicarbonato- HCO ₃ ⁻	**	2,80
Sódio – Na ⁺	200	5,39			
Potássio – K ⁺	**	0,20			
Irrigação	Resultado				
CE (µS/cm)	1110,0				
pH	7,0				
RAS (mmol/L) ^{0,5}	2,50				
Classificação irrigação	C3S1				

1: Valores máximos permitidos para consumo humano

3.7 Avaliação do sistema de irrigação

A determinação da uniformidade de distribuição de água, para o sistema da área experimental, baseou-se na metodologia proposta por Merriam & Keller (1978), para o sistema de gotejamento.

Foram estimados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e eficiência de aplicação (EA), utilizando-se as Equações 1, 2, 3.

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_i^N |q_i - \bar{q}|}{N * \bar{q}} \right] \quad (1)$$

em que,

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

q_i = vazão de cada emissor, L h⁻¹ ;

\bar{q} = vazão média dos emissores, L h⁻¹;

N = número de emissores.

$$CUD = 100 * \frac{q_n}{q} \quad (2)$$

em que,

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

q_n = média de 25% das vazões com menores valores;

q = média de todas as vazões coletadas.

$$EA = 0,9 * CUD \quad (3)$$

em que,

EA = eficiência de aplicação, %.

3.7.1 Desempenho do sistema de irrigação

Na Tabela 4 estão os índices avaliados para o sistema de irrigação utilizado nas laminas de irrigação dos tratamentos.

De acordo com MANTOVANI & RAMOS (1994), os valores de CUC na irrigação por gotejamento devem estar compreendidos numa faixa de 90 a 95%, portanto o valor obtido no ensaio, igual a 95,33%, é um valor bastante desejável, dentro da faixa recomendada. De acordo com MERRIAM & KELLER (1978) e DENÍCULI et al. (1980), em um sistema de irrigação que esteja em operação, o CUD maior que 90%, é considerado excelente. Com base nesse critério de interpretação de MERRIAM & KELLER (1978), o sistema funcionou de forma “excelente”.

Com base no valor de eficiência de aplicação, KELLER & BLIESNER (1990) recomendam valores em torno de 80%. Tomando como base a recomendação dos referidos autores, afirma-se que o sistema de irrigação se encontrava em excelentes condições de eficiência de aplicação da água.

Tabela 4. Avaliação do sistema de irrigação e da eficiência de aplicação de água

Índices avaliados	Percentual (%)
CUC	95,33
CUD	94,93
Ea	85,44

3.8 Estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET_0)

A Evapotranspiração potencial de referência (ET_0) foi estimada pelo método do Tanque Classe “A” conforme Equação 4, 5.

$$ET_0 = ECA * K_p \quad (4)$$

em que,

K_p = Coeficiente de tanque.

Sendo,

$$ECA = (L_{ANTERIOR} - L_{ATUAL}) + P \quad (5)$$

em que,

ECA = Evaporação diária do Tanque Classe “A”, mm;

$L_{ANTERIOR}$ = Leitura anterior da régua instalada no tanque, mm;

L_{ATUAL} = Leitura atual da régua instalada no tanque, mm;

P = Precipitação, mm.

3.9 Estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET_0) pelo método de Penman-Monteith (PM)

Outro método que foi utilizado para determinação da Evapotranspiração de referência foi o modelo de Penman-Monteith, que foi uma evolução do método de Penman. Além de incorporar os aspectos aerodinâmicos e termodinâmicos, inclui na sua dedução (ALLEN et al., 1998) a resistência ao fluxo de calor sensível e vapor da água e a resistência da superfície à transferência de vapor da água. Sendo recomendado pela FAO como método-padrão (ALLEN et al., 1998) para estimativa da ET_0 (BERNADO, 2006), conforme Equação 6 a seguir.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (6)$$

em que,

ET_0 = evapotranspiração de referência mm d^{-1} ;

R_n = saldo de radiação líquida, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

G = fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

T = temperatura do ar a 2 m de altura, $^{\circ}\text{C}$;

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a = pressão de vapor atual do ar, kPa;

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor, kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;

γ = constante psicrométrica, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Os dados meteorológicos foram coletados de uma estação automática modelo Campbell Scientific, localizada na Fazenda Nossa Senhora do Rosário no município de Pesqueira. A estação não provia do sensor de medidas do fluxo de calor no solo (G) e do sensor do saldo de radiação líquida (R_n). Sendo que para o fluxo de calor no solo, o boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998) recomenda que para períodos diários, (G) pode ser desprezível.

Para o cálculo do saldo de radiação líquida (R_n), Sentelhas (1998) desenvolveu, testou e validou vários modelos de regressão linear de estimativa do R_n a partir de diferentes elementos meteorológicos. Para dados da estação meteorológica automática, essa estimativa pode ser obtida a partir da radiação global (Q_g) (Equação 7).

$$R_n = 0,574 * Q_g \quad (R^2 = 0,9073) \quad (7)$$

em que:

Q_g = saldo de radiação global, $\text{Mj m}^{-2} \text{dia}$

3.10 Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c)

Através do manejo do Tanque classe A pode-se determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c), que representa as lâminas de reposição para a cultura. Para o sistema de irrigação por gotejamento Pizarro (1996), descreve a Equação 8 para ET_c .

$$ET_c = ET_0 * k_c * k_l \quad (8)$$

em que,

ET_c = evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

k_c = coeficiente de cultivo;

k_l = coeficiente de localização, obtido pela Equação 9.

$$k_l = A + 0,15(1 - A) \quad (9)$$

em que,

A = fração de área sombreada, obtido pela Equação 10.

$$A = \frac{\pi * d^2}{s_p * s_l} \quad (10)$$

em que,

d = diâmetro de sombreamento da planta, m;

s_p = espaçamento entre planta, m;

s_l = espaçamento entre linhas de planta, m.

Os coeficientes de cultivo (K_c) para atender as necessidades hídricas nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do pimentão avaliados, foram adotados de acordo com a recomendação seguida por DOORENBOS & PRUITT (1977). Foram duas fases analisadas, a segunda e terceira fases para k_c 's de 0,7 e 0,95, respectivamente.

3.11 Análise dos parâmetros climatológicos

3.11.1 Ocorrência da precipitação na área do experimento

Observa-se na Figura 3, a distribuição das chuvas ocorridas ao longo do ciclo de cultivo do pimentão de 115 dias após plantio (DAT), que os maiores picos se deram nos

meses de abril e maio da ordem de 191,8 e 286,6 mm respectivamente, totalizando uma precipitação no ciclo de cultivo do pimentão de 602 mm.

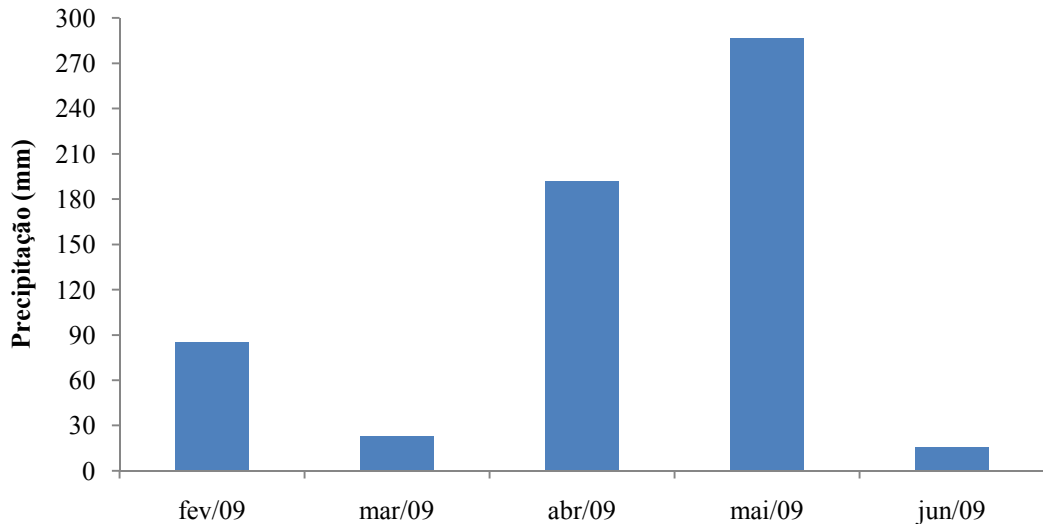


Figura 3. Distribuição da precipitação ao longo do ciclo da cultura na área experimental.

3.11.2 Evapotranspiração de referência (ET_0) e Evapotranspiração de cultura (ET_c)

Com os dados climáticos diários foi possível estimar a evapotranspiração de referência e da cultura (ET_0 ; ET_c) utilizando os métodos de Penman-Monteith (PM) e Tanque Classe A (TCA). Na Figura 4, é possível observar que os métodos PM e TCA apresentaram comportamento semelhante, sendo estimados valores menores pelo TCA em relação a PM, em virtude da ocorrência de chuvas durante o período, prejudicando as leituras que eram realizadas diariamente pela manhã. Portanto a automação ou a realização desta leitura mais de uma vez por dia contribuiria para a redução deste erro, possibilitando a estimativa da ET_0 , mais próxima daquela estimada pelo método de PM.

Os valores acumulados de ET_0 e ET_c estimados pelos métodos PM e TCA durante o ciclo da cultura foram 463,64, 321,04, 375,92 e 337,42 mm, respectivamente. Portanto caso não haja disponibilidade de dados climáticos necessários para a estimativa da ET_0 pelo método de Penman-Monteith, analisando a Figura 4, verifica-se que o método do Tanque Classe A possibilita uma estimativa próxima da obtida por meio do método PM para a região de estudo.

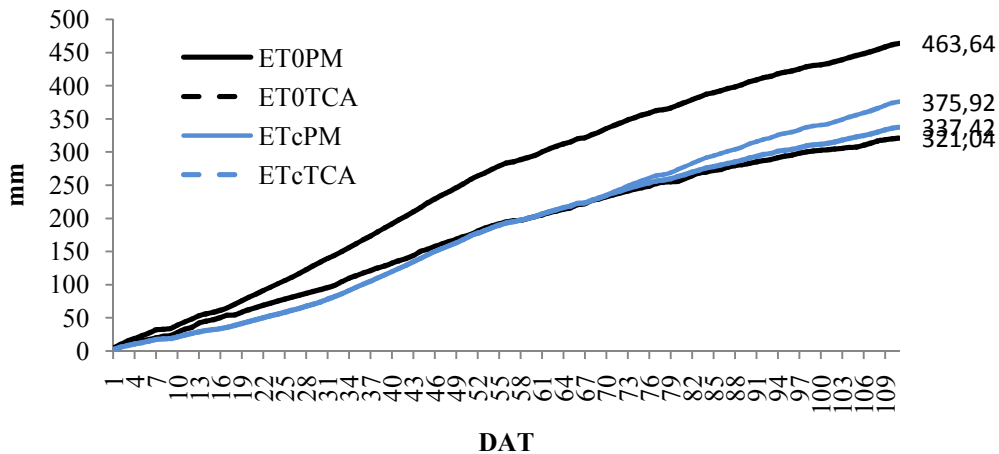


Figura 4. Evapotranspiração de referência e da cultura acumulada durante o ciclo do cultivo do pimentão estimada pelos métodos Penman-Monteith (ET0PM, ETcPM) e Tanque Classe “A” (ET0PM, ETcPM).

3.11.3 Balanço hídrico do solo: determinação da ET_c via solo

Outro método para estimativa da ET_c é o método do balanço de água no solo (LIBARDI, 2005; BLANCO & FOLEGATTI, 2003), entretanto, utilizou-se de uma sonda de nêutrons para determinação da umidade do solo nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-75 cm de profundidade. Assim, foram instalados tubos de acesso de PVC para o monitoramento do perfil de umidade do solo e a ET_c foi determinada de acordo com a Equação 11.

$$ET_c = P + I \pm D + A \quad (11)$$

em que,

P = precipitação pluviométrica, mm;

I = lâmina de irrigação, mm;

D = lâmina de drenagem, mm;

A = variação de armazenamento de água no solo, mm.

Calculou-se o armazenamento acumulado de água no solo pela regra do trapézio, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, desde

a superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L$) (Libardi, 2005), com forme Equação 12.

$$A_L = \int_0^L \theta(Z) dZ \cong \left[0,5\theta(Z_0) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(Z_i) + 0,5\theta(Z_n) \right] \Delta Z \quad (12)$$

sendo,

θ = conteúdo de água do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

i = número de profundidades de leituras

A variação no armazenamento de água no perfil de solo (ΔA) foi determinada pela diferença dos valores do conteúdo de água do solo obtidos do perfil, nos tempos inicial e final de cada período considerado, com forme Equação 13.

$$\Delta A = [\theta_{(f)} - \theta_{(i)}]L = A_f - A_i \quad (13)$$

sendo,

A_f = armazenamento acumulado de água final, mm;

A_i = armazenamento acumulado de água inicial, mm.

3.12 Determinação da condutividade hidráulica solo

Foi utilizado o Permeâmetro de Guelph, para medição da condutividade hidráulica, que consiste em um conjunto de tubos concêntricos. O tubo central tem a função de permitir a entrada de ar e regular o nível d'água dentro do furo de sondagem. Os demais fazem a função de reservatório e suporte.

O Permeâmetro de Guelph é de fácil montagem. O ensaio é realizado com reduzido volume de água, apenas o necessário para encher os tubos. Após o registro da taxa de infiltração, pode-se obter estimativa do parâmetro α da função $K(\phi)$, proposta por Gardner (1958), e da condutividade hidráulica saturada K_0 .

O princípio é de que o fluxo a partir de um furo cilíndrico em solo não saturado, homogêneo e isotrópico, no qual é mantida uma carga hidráulica pequena, atinge o regime

permanente rapidamente. A vazão para estas condições foi descrita por Reynolds & Elrich (1986) (Equação 14).

$$CQ = 2\pi H^2 k_0 + C\pi a^2 k_0 + 2\pi H \phi_m \quad (14)$$

em que,

a = é o raio do furo;

ϕ_m = é o potencial de fluxo matricial;

H = é o nível da água no furo;

k_0 = é a condutividade hidráulica saturada de campo;

C = é um parâmetro de ajuste dimensional;

Q = é a vazão.

Foram adotadas quatro cargas, o que permitiu utilizar seis pares de cargas hidráulicas diferentes (2,5; 5,0; 7,5; 10,0cm).

Cada par de cargas hidráulicas distintas forma um sistema de equações, cujas incógnitas são K_0 e o ϕ_m .

O ϕ_m é definido na Equação 15.

$$\phi_m = \int_{\varphi_i}^0 k(\varphi) d\varphi; \quad \varphi_i < \varphi < 0 \quad (15)$$

Substituindo-se a Equação 16 de condutividade hidráulica não saturada proposta por van Genuchten (1980), na Equação 15:

$$k(\theta) = k_0 \omega^1 \left[1 - \left(1 - \omega^{\frac{1}{m}} \right)^2 \right]^2, \quad (16)$$

na qual,

$$\omega = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad (17)$$

tem-se,

$$\frac{\varphi_m}{k_0} = \frac{(1 - \exp(\alpha\varphi))}{\alpha} \quad (18)$$

Como o numerador do segundo membro da equação anterior tende para 1, obtém-se a Equação 19.

$$\frac{\varphi_m}{k_0} = \alpha^{-1} \quad (19)$$

As equações seguintes permitiram o cálculo da condutividade hidráulica.

A Condutividade hidráulica é dada pela Equação 20, 21, 22, 23.

$$k_{fs} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \quad (20)$$

sendo,

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi[2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad (21)$$

e sendo,

$$G_1 = G_2 \frac{[H_2 C_1]}{[H_1 C_2]} \quad (22)$$

com,

$$Q_2 = (X)(R_1) \quad (23)$$

O Permeômetro de Guelph traz grande praticidade no campo, tanto pelo fácil manuseio e montagem, quanto pela facilidade de realizar o ensaio, além de permitir uma boa

estimativa da curva de condutividade hidráulica não saturada mesmo com pequenos gradientes hidráulicos junto à parede do furo.

3.13 Determinação do gradiente do potencial hidráulico e condutividade hidráulica não saturada

O gradiente do potencial hidráulico para o cálculo do fluxo (q) foi determinado através do ajuste da curva característica de retenção de umidade do solo pelo modelo de van Genuchten (1980), nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75cm pela Equação 24.

$$\theta_v = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha\psi_m)^n]^m} \quad (24)$$

em que,

θ_v = umidade volumétrica, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_s = umidade de saturação, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_r = umidade residual, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

α = parâmetro de ajuste, cm^{-1} ;

ψ_m = componente matricial do potencial da água no solo, cm;

m e n = parâmetros de ajuste da equação, adimensionais.

sendo,

$$m = 1 - \left(\frac{1}{n}\right), \text{Mualem (1976)} \quad (25)$$

Na seqüência se encontra o valor da condutividade hidráulica do solo não-saturado, cuja função $K(\theta)$ é obtida a partir da condutividade hidráulica do solo saturado, K_o , e dos parâmetros da curva de retenção de água no solo, de acordo com o modelo de Mualem (1976) e Genuchten (1980) (Equação 16 e 17).

Em seguida determinou-se o potencial matricial para as profundidades de interesse, de acordo com a Equação 26.

$$\psi = \frac{\left(\frac{1}{\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{1/m} - 1} \right)^{1/n}}{\alpha} \quad (26)$$

Com os valores obtidos do potencial mátrico adicionados ao potencial gravitacional de cada, determina-se o gradiente de potencial, e com isso podemos estima o fluxo de água considerando os valores de $K(\theta)$ médios (Equação 27).

$$q = -\bar{K}(\theta) \frac{\Delta\psi t}{\Delta Z} \quad (27)$$

em que,

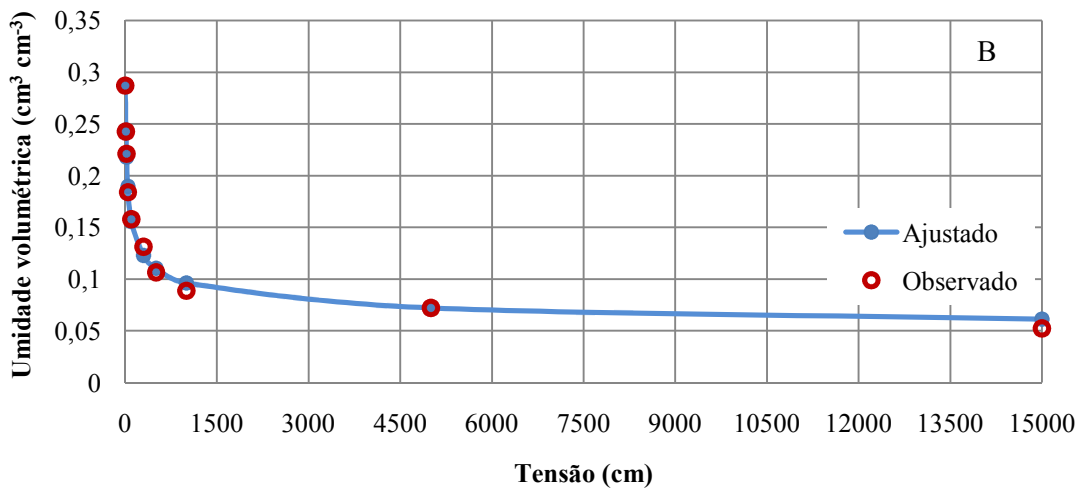
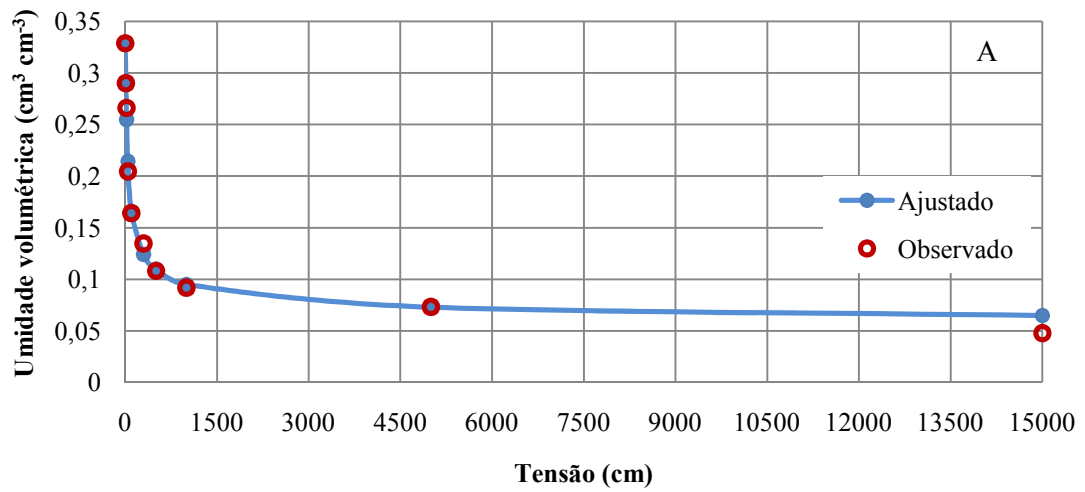
q = densidade de fluxo de água, mm dia⁻¹;

$\Delta\psi t$ = gradiente do potencial total, m;

ΔZ = altura de cada camada de solo, m.

As amostras de solo foram retiradas com um amostrador de solo indeformado nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, e 60-75 cm do solo com três repetições para cada profundidade amostrada. As umidades do solo, na base de massa, foram obtidas de acordo com os potenciais matriciais de 0; -0,01; -0,2; -0,4; -1; -3; -5; -10; -50 e -150 MPa para as profundidades. A plotagem das tensões com as respectivas umidades resulta na curva característica de umidade do solo (EMBRAPA, 1997) apresentadas na Figura 5 para o solo em estudo.

As amostras saturadas foram colocadas em placas de cerâmica previamente saturadas e submetidas a uma determinada pressão, até atingir a drenagem máxima da água contida nos seus poros, correspondente a tensão aplicada. Determinou-se por gravimetria, a umidade da amostra. Os dados obtidos foram ajustados para os modelos de van Guenuchten (1980) descrito na Equação 24, utilizando o software Soil Water Retention Curve (WSRC).



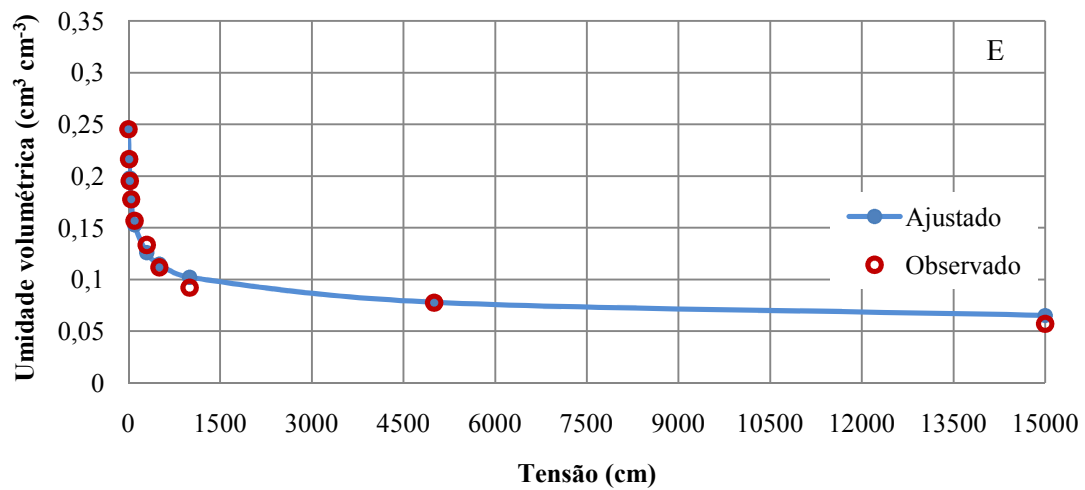
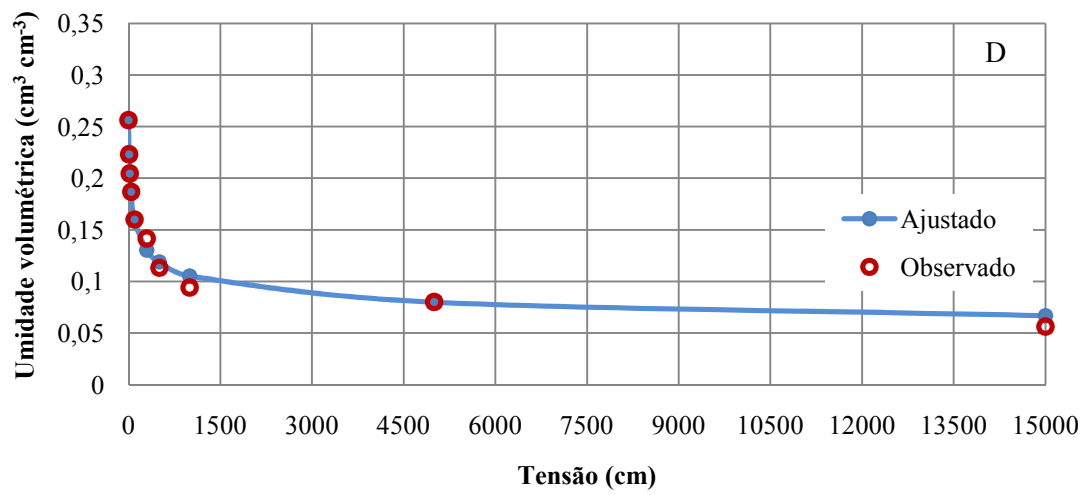
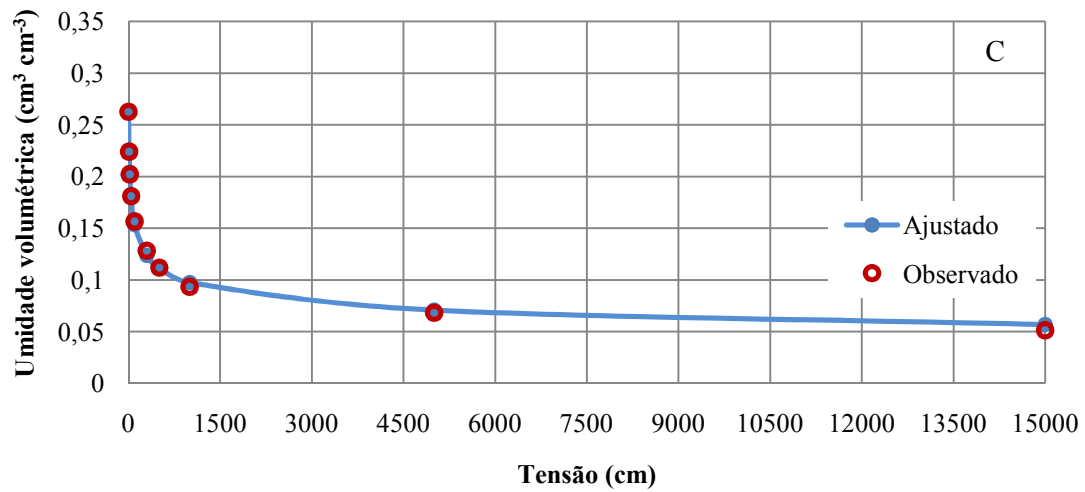


Figura 5. Curva característica do solo na camada de 0-15cm (A); 15-30cm (B); 30-45cm (C); 45-60cm (D); 60-75cm (E).

A Tabela 5 mostra os parâmetros (α ; θ_r ; θ_s ; m ; n) ajustados pelo modelo de van Guenuchten (1980) e a condutividade hidráulica do solo não-saturado para as profundidades amostradas da área experimental.

Tabela 5. Parâmetros ajustados da curva de retenção de umidade do solo e condutividade hidráulica do solo não saturado determinado pelo Permeômetro de Guelph

Prof. (cm)	Parâmetros ajustados pelo modelo de Van Guenuchten					
	α (cm ⁻¹)	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	m	n	K_o (cm s ⁻¹)
15	0,0766	0,051	0,329	0,2984	1,4254	0,00351
30	0,1221	0,031	0,287	0,2215	1,2845	0,00113
45	0,1448	0,0001	0,263	1,1993	0,1662	0,00119
60	0,1200	0,015	0,256	0,1703	1,2053	0,00555
75	0,1246	0,015	0,246	0,1680	1,2019	0,00258

3.14 Determinação da umidade e armazenamento de água no solo

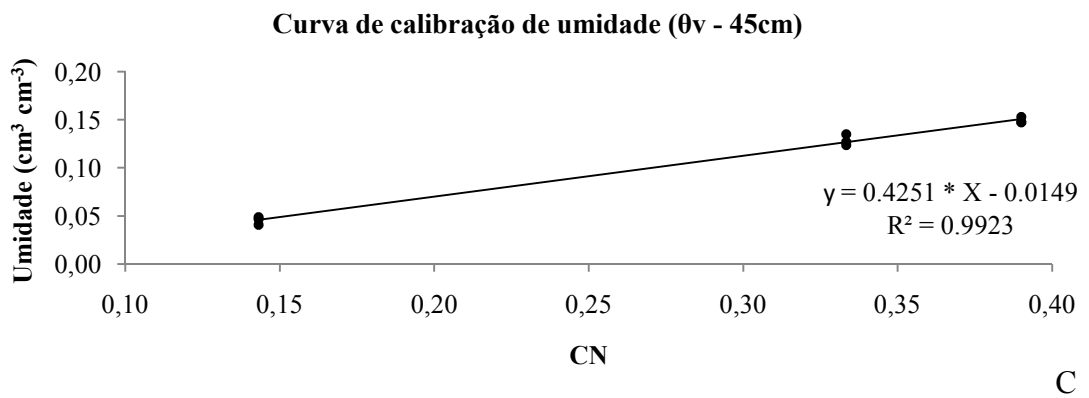
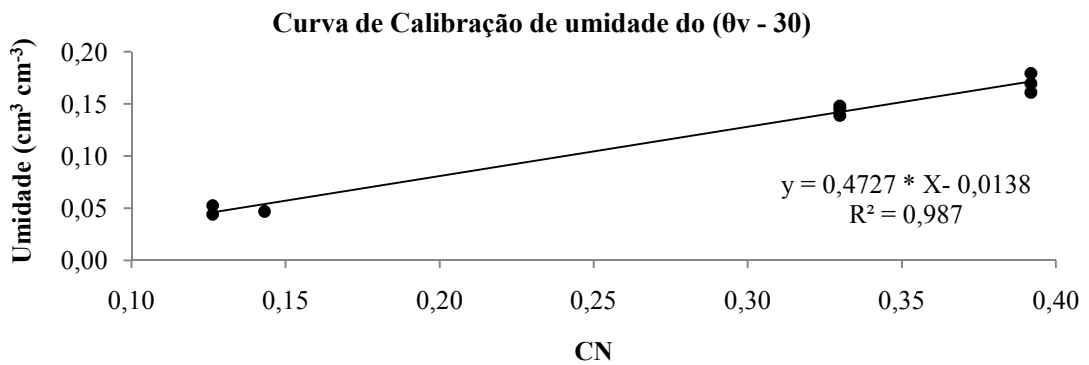
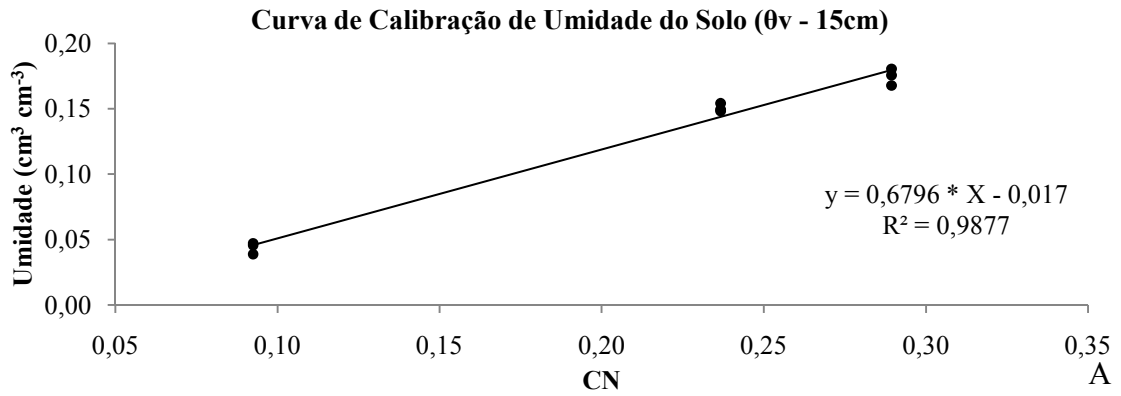
Para o monitoramento da umidade do solo foi utilizada uma Sonda de Nêutrons 503 DR hydroprobe moisture gauge, de fabricação da CPN International Inc., obtendo-se diretamente os perfis de umidade do solo, que é dado em forma de contagem normalizada de nêutrons.

A sonda penetrou no solo através dos 48 tubos de acesso de PVC instalado na unidade experimental, a fim de que fossem executadas as leituras nas profundidades desejadas: 0-15; 15-30; 30-45; 45-60 e 60-75 cm de profundidade.

Na calibração da sonda de nêutrons foram instalados três tubos de acessos para simular três faixas de umidade: o primeiro tubo simulando o solo seco; o segundo umedecido e o terceiro tubo umedecido e coberto com plástico para dificultar a evaporação, sendo as leituras no segundo e terceiro tubos feitas no dia seguinte do umedecimento. Foram coletadas 45 amostras de solo para determinação da umidade.

A calibração foi realizada por regressão linear simples (Figura 6) da “Contagem Normalizada”, com a umidade determinada em laboratório. A contagem normalizada (CN) representa a razão entre o número de contagens no solo (C_{solo}) e o mesmo número de contagens, obtido num mesmo intervalo de tempo, em um moderador padrão (C_{barril}). Esta contagem é realizada em barril com água, de acordo com Blackburn (2002) expresso pela Equação 28.

$$CN = \frac{C_{\text{solo}}}{C_{\text{barril}}} \quad (28)$$



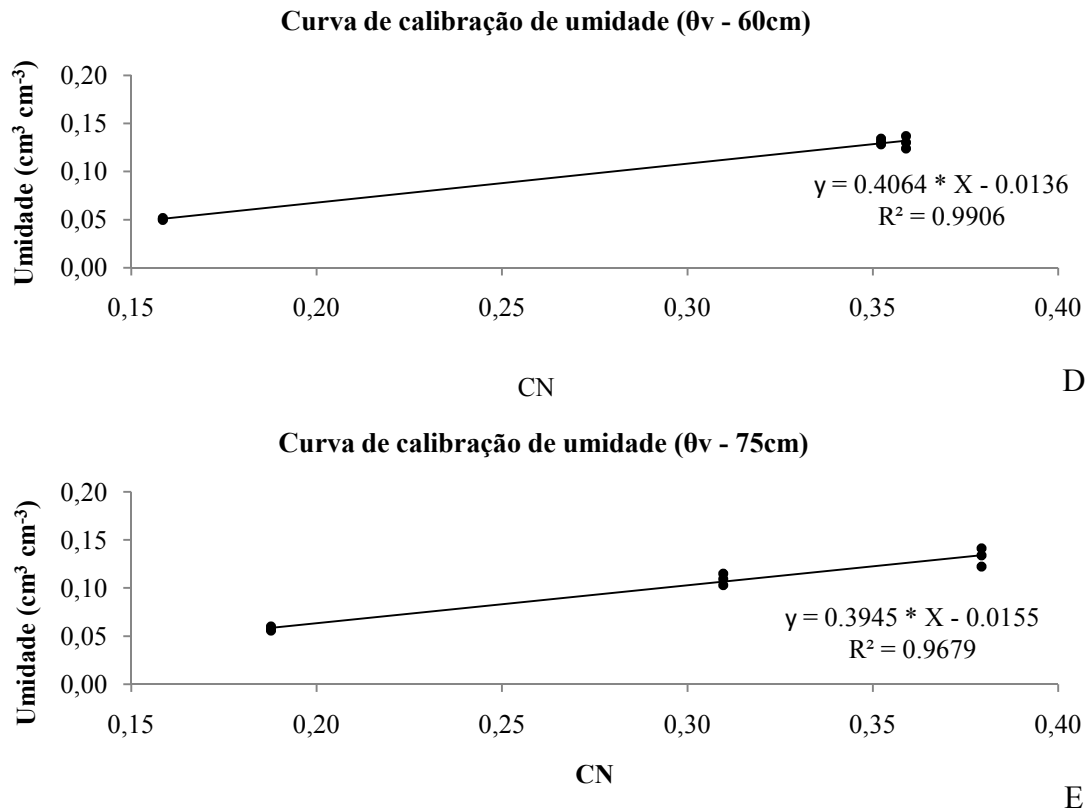


Figura 6. Curvas de calibração de umidade obtidas com a sonda de nêutrons com suas respectivas equações de regressão e coeficiente de determinação R^2 a 15cm de profundidade (A); a 30cm (B); a 45cm (C); 60cm (D); 75cm (E).

3.15 Extração da solução do solo

As quantidades de potássio lixiviadas abaixo da região radicular foram estimadas a partir de determinações feitas na solução do solo, a qual foi extraída nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm da superfície do solo com o auxílio de extratores de cápsula porosa (Silva, 2002) instalados nas parcelas próximos aos tubos de acesso. Foram realizadas sete coletas da solução do solo aos 20, 31, 49, 69, 90, 107, 112 dias após transplante (DAT). Foi promovida uma tensão de aproximadamente 80 kPa por meio de uma bomba de vácuo manual nos extratores seis horas após o término da irrigação. Neste momento foi verificada a umidade do solo, por meio da sonda de nêutrons e a solução foram coletadas 18 horas após a aplicação do vácuo.

Foram determinadas as concentrações de potássio (K^+), sódio (Na^+) e condutividade elétrica (CE_{es}) na solução do solo utilizando-se medidor de íon específico Horiba para leituras

de K^+ e posteriormente em laboratório por fotômetro de chama nas leituras de K^+ e Na^+ e condutivimetro de bancada para as leituras de CE_{es} .

Para o monitoramento do lençol freático foi instalado 1 piezômetro numa profundidade de 2,10 m, afim de quantificar as concentrações de K^+ , Na^+ e CE_{es} para avaliar o risco de contaminação do lençol freático devido ao efeito das lâminas de irrigação e doses de potássio para toda área em estudo.

3.16 Comparação entre os valores de potássio determinados em laboratório e em testes rápidos

Para avaliação do método do teste rápido em relação ao determinado por fotômetro de chama, utilizaram-se de 392 amostras de extratores com seus teores médios nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm de todos os tratamentos, ou seja, uma ampla faixa de concentração do íons K^+ na solução do solo.

Na Figura 7, verificou-se através de uma correlação simples que o método do teste rápido apresentou um coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8417$) em relação com os valores determinados por fotometria. Todavia a rapidez e a praticidade nas determinações permitem-nos avaliar com certa precisão a concentração de potássio na solução do solo em situ.

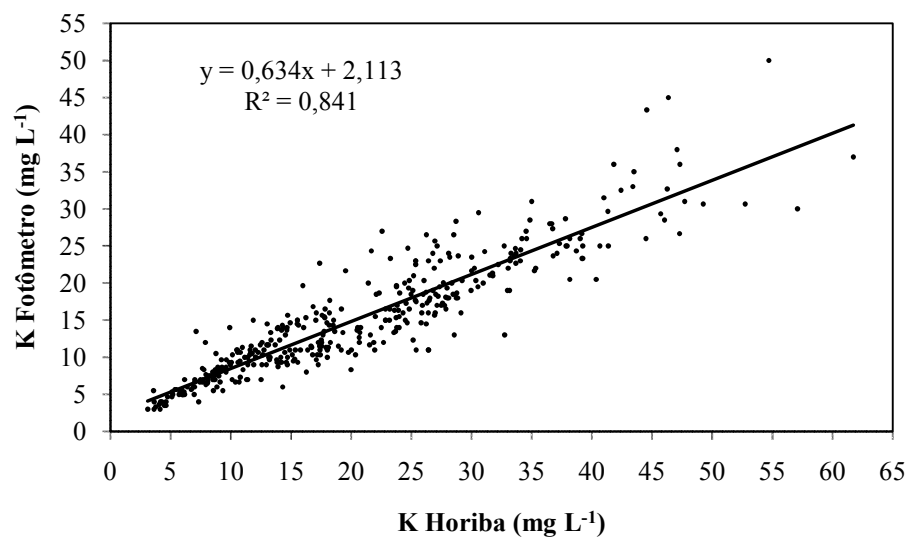


Figura 7. Correlação entre os valores de potássio em laboratório e em teste rápido.

3.17 Monitoramento do potássio no sistema solo-planta

O monitoramento de nutrientes no sistema foi quantificado pela Equação 29.

$$VN_{K^+} = S1_{K^+} + A_{K^+} - L_{K^+} - P_{K^+} - E_{K^+} \quad (29)$$

em que,

VN_{K^+} = variação do nutriente K^+ ;

$S1_{K^+}$ = quantidade do nutriente K^+ armazenada no solo na profundidade efetiva das raízes;

A_{K^+} = quantidade do nutriente K^+ aplicada pela adubação;

L_{K^+} , P_{K^+} e E_{K^+} são as quantidades do nutriente K^+ perdidas por lixiviação (L), presente na planta no final do ciclo de cultivo (P) e exportada pela produção e pelas podas de ramos (E), respectivamente. O balanço foi determinado nos tratamentos de lâmina de irrigação L1, L2, L3, L4 e doses de potássio K1, K2, K3 e K4, ou seja, nos 16 tratamentos.

A quantidade lixiviada do elemento K^+ foi determinada pela Equação 30.

$$L_{K^+} = D * C_{K^+60} * 10 \quad (30)$$

em que,

L_{K^+} = quantidade do elemento K^+ perdida pela lixiviação, $kg\ ha^{-1}$;

D = lâmina de água drenada na última camada do perfil do solo (75 cm), mm

C_{K^+60} = concentração média do elemento K^+ na solução do solo na profundidade de 60 cm, $kg\ m^{-3}$.

Esta equação só é válida para dias em que o fluxo de água no solo (q) for menor que zero, indicando que naquele dia ocorreu drenagem. Para dias em que (q) for igual ou maior que zero, será assumido que não houve lixiviação, ou seja, $L_{K^+} = 0$.

Para se determinar a quantidade de nutrientes presente em cada camada de solo, foi realizadas duas amostragens de solo, sendo uma no início e outra ao final do período experimental (denominadas $S1_{K^+}$ e $S2_{K^+}$, respectivamente), nas profundidades de 0-15, 15-30

e 30-45 e 45-60 cm e a quantidade de cada nutriente em cada camada será calculada pela Equação 31.

$$Q_{K+Z} = C_{K+Z} * V_s \quad (31)$$

em que

Q_{K+Z} = quantidade do nutriente K^+ armazenada na camada Z, $kg\ ha^{-1}$;

C_{K+Z} = concentração do nutriente K^+ na camada Z, $kg\ m^{-3}$;

V_s = volume de solo em um hectare, $1500\ m^3$.

3.18 Parâmetros avaliados na cultura

3.18.1 Altura das plantas

Foram realizadas medidas de altura de plantas ao longo do ciclo em todas as plantas efetivas por tratamento, com o auxílio de uma trena graduada em centímetros e tomando como referência superior o ápice do ramo mais alto e como referência inferior a superfície do solo.

3.18.2 Diâmetro de colo

Foram realizadas medições do diâmetro do colo de todas as plantas efetivas por tratamento, tendo como referência 1 cm de altura em relação à superfície do solo, com o auxílio de um paquímetro e escala de leitura em milímetros.

3.18.3 Rendimentos e componentes de produção

Após o início do período produtivo, com a primeira colheita realizada aos 68 DAT, no total foram feitas 6 colheitas determinando-se o número de frutos por planta, produção por planta, dimensões dos frutos (largura e comprimento) e peso médio dos frutos em todas as colheitas. O diâmetro foi determinado na terça parte superior do fruto com uso de paquímetro.

3.18.4 Massa seca dos frutos

Foi realizada por ocasião da primeira e última colheita, utilizando-se vários frutos por planta. Os frutos foram secados em estufa ventilada e com temperatura de 65°C, até atingirem peso constante.

3.18.5 Massa verde e seca da parte aérea da planta e raiz

No final do ciclo produtivo foi determinada separadamente para a parte aérea (folhas + caule) e raiz a massa verde e seca. Ao final do ciclo retiraram-se todas as plantas efetivas dos 16 tratamentos separando a parte aérea da raiz e imediatamente as mesmas foram colocadas em sacos plásticos, com a finalidade de evitar perdas por transpiração, em seguida determinou-se a biomassa verde total de cada planta. As partes foram colocadas em estufa ventilada, a uma temperatura de 65° C e após alcançado o equilíbrio determinou-se a massa seca da parte aérea e raiz.

3.19 Avaliação do potássio e sódio na planta

A avaliação do potássio e do sódio foi realizada a partir da determinação das concentrações nos tecidos foliares e frutos do pimentão. Para esta análise, as plantas aos 115 DAT foram coletadas, pesadas e divididas em três partes: raiz, parte aérea (caule + folha) e fruto. Para determinar as concentrações dos nutrientes no tecido foliar, triturou-se, após secagem dos mesmos em estufa a 65°C por 72 horas, todas as partes de cada planta amostrada.

Após serem trituradas, prepararam-se os extratos por digestão nitro-perclórico para a determinação dos elementos, segundo metodologia descrita por Bezerra Neto & Barreto (2004). Os elementos potássio e sódio foram determinados nos tecidos da raiz, parte aérea e fruto por fotometria de chama. Sendo as leituras dos elementos potássio e sódio determinado na raiz, parte aérea e fruto feito por fotômetro de chamas.

3.20 Coletas das amostras de solo e determinação do potássio e sódio trocável do solo

Após ter retirado todas as plantas efetivas para análises, realizou-se também a coleta de amostras de solo em todas as 64 parcelas nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm de profundidade para a determinação das quantidades de potássio e sódio trocável ao final do cultivo.

Para a determinação do potássio e sódio trocável utilizou-se o extrator de Mehlich 1 (EMBRAPA 1999) que é uma solução de ácido sulfúrico e ácido clorídrico diluídos.

Foram adicionados 10 cm³ de terra fina seca ao ar (TFSA) e 100 cm³ do extrator em um erlemeyer, após ter deixado em repouso por 20 minutos, foi feita a agitação por 5 minutos em uma mesa agitadora horizontal e deixou por mais de 12 horas decantando para obter um sobrenadante limpo.

Retirou-se uma alíquota de 20 ml do sobrenadante e as respectivas leituras foram realizadas por fotômetro de chamas.

3.21 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS-2008. As variáveis foram avaliadas pelo teste F, sendo as variáveis com efeitos significativos por esse teste submetido à análise de regressão linear e quadrática do 2º grau, visando ajustar modelos de comportamento. Os modelos foram selecionados com base na significância do modelo de regressão analisado pelo teste F a 5% de probabilidade, e no maior valor do coeficiente de determinação (PIMENTEL GOMES, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da concentração do potássio e condutividade elétrica do lençol freático

Na Figura 8 pode-se observar que os teores de potássio (K^+) e condutividade elétrica (CE) ao longo do tempo foram reduzindo as suas magnitudes. Na primeira coleta realizada no dia 15 de maio de 2009 (aos 90 dias após transplante) pode-se verificar valores da ordem $28,4 \text{ mg L}^{-1}$ para o K^+ e $0,76 \text{ dS m}^{-1}$ para CE, isto pode ser caracterizado pela lixiviação dos sais presentes nas camadas superiores do solo e aplicados como fertilizantes nas práticas agrícolas e o próprio processo de intemperismo do solo liberando o elemento potássio para a solução do solo.

No final do cultivo verificou-se uma leve redução da concentração K^+ e uma grande redução da CE para $26,3 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,21 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Em culturas irrigadas, adubações contínuas ou inadequadas com fertilizantes de elevado índice salino, como o KCl, induzem a problemas de salinidade na zona radicular, bem como ao favorecimento à eutrofização dos mananciais e águas subterrâneas com o cloro do KCl, o que exige cautela e atenção especiais no manejo de adubos por meio da adubação convencional e fertirrigação.

Dentre os ions lixiviados, o nitrato e o cloreto são os que ocorrem com maior frequência, havendo uma predominância do primeiro. Os íons nitrato e cloreto não são adsorvidos pelos componentes das frações do solo, razão pela qual se deslocam facilmente na solução do solo, podendo ser absorvidos pelas raízes e translocados às folhas, onde se acumulam pela transpiração, ou serem lixiviados aos mananciais subterrâneos (AYRES & WESTCOST, 1991).

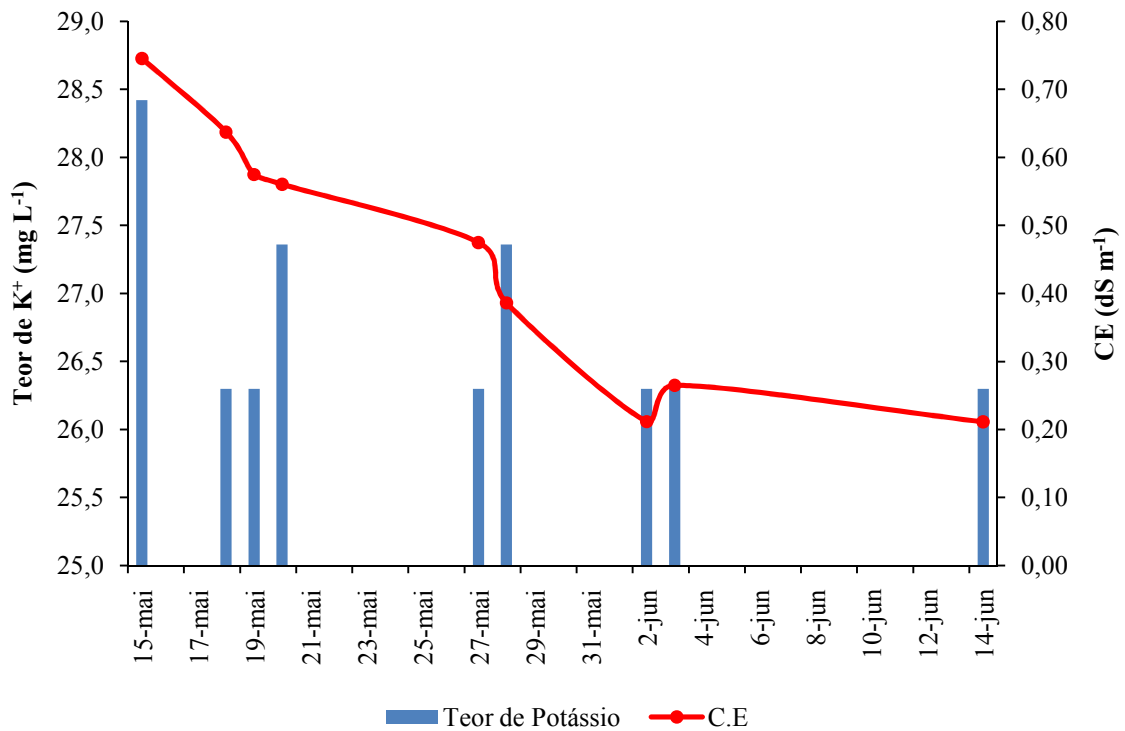


Figura 8. Valores de condutividade elétrica (CE) e teores de potássio (K^+) na água do lençol freático em função do tempo de cultivo de pimentão em Neossolo Regolítico Eutrófico.

4.2 Análise da variação da condutividade elétrica da solução do solo (CEes)

Nas Figura 9, 10, 11 e 12 observa-se, respectivamente as médias da condutividade elétrica (CE) para as medidas feitas ao longo do ciclo de cultivo do pimentão, realizadas aos 20, 31, 49, 69, 90, 107 e 112 dias após transplante (DAT), totalizando 7 coletas para todos os 16 tratamentos. Entretanto, pode-se caracterizar dois cenários: o primeiro cenário definido como período seco até aos 49 DAT e segundo como período chuvoso dos 69 DAT até 112 DAT.

No primeiro cenário, pode-se verificar que as chuvas ocorridas não influenciaram diretamente na manutenção da salinidade do solo, fazendo com que as lâminas de irrigação em função das dosagens aplicadas de cloreto de potássio (KCl) mantivessem os níveis de salinidade (CE) variando com os tratamentos aplicados. Pode-se observar que para as maiores dosagens de K^+ aplicadas elevou a condutividade elétrica da solução do solo acima de 1 dS m^{-1} .

No segundo cenário as chuvas ocorridas contribuíram com as lâminas de irrigação na diminuição da CE ao longo deste período. Sendo assim, observou-se uma elevação do efeito salino na profundidade de 60 cm nos tratamentos L3D2, L3D3 e L4D1. No final do ciclo verificou-se que a CE da solução do solo nas camadas de solo de 0 a 30 cm ficaram abaixo de 1 dS m^{-1} . Valor inferior ao indicado por Ayers & Westcot (1991), que afirmam que a cultura do pimentão é moderadamente sensível. Mais especificamente Maas & Hoffman (1977) apresentam a tolerância a salinidade para diversos cultivos, em diferentes climas e diferentes variedades, e concluíram que, para a cultura do pimentão, a salinidade limiar é igual a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e o decréscimo no rendimento relativo para cada unidade de incremento na condutividade elétrica no extrato de saturação que excede à limiar é igual a 14%, ou seja, nas condições iniciais do cultivo a salinidade estava abaixo da salinidade limiar para a cultura em estudo.

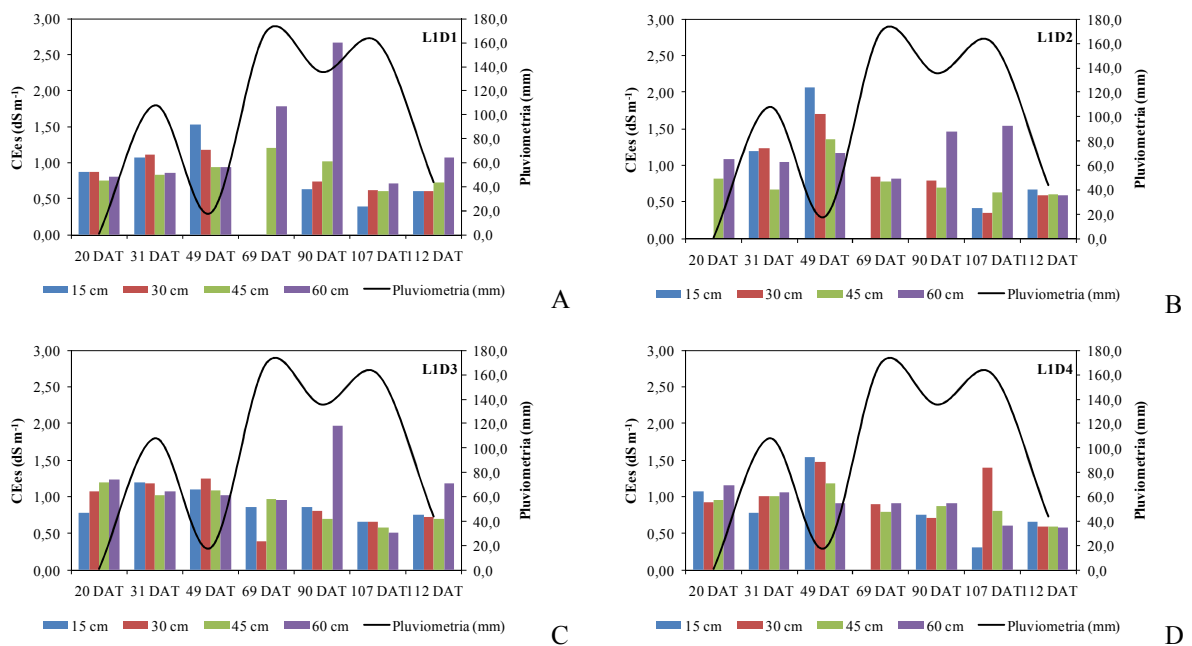


Figura 9. Avaliação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L1D1 (A); L1D2 (B); L1D3 (C); L1D4 (D).

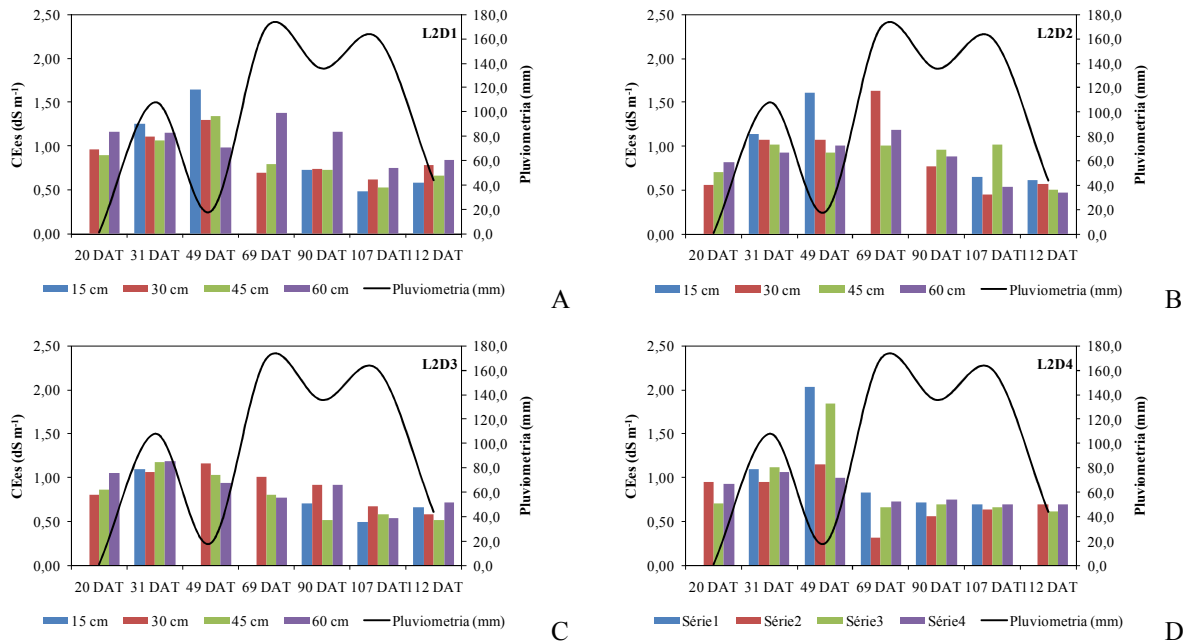


Figura 10. Avaliação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L2D1 (A); L2D2 (B); L2D3 (C); L2D4 (D).

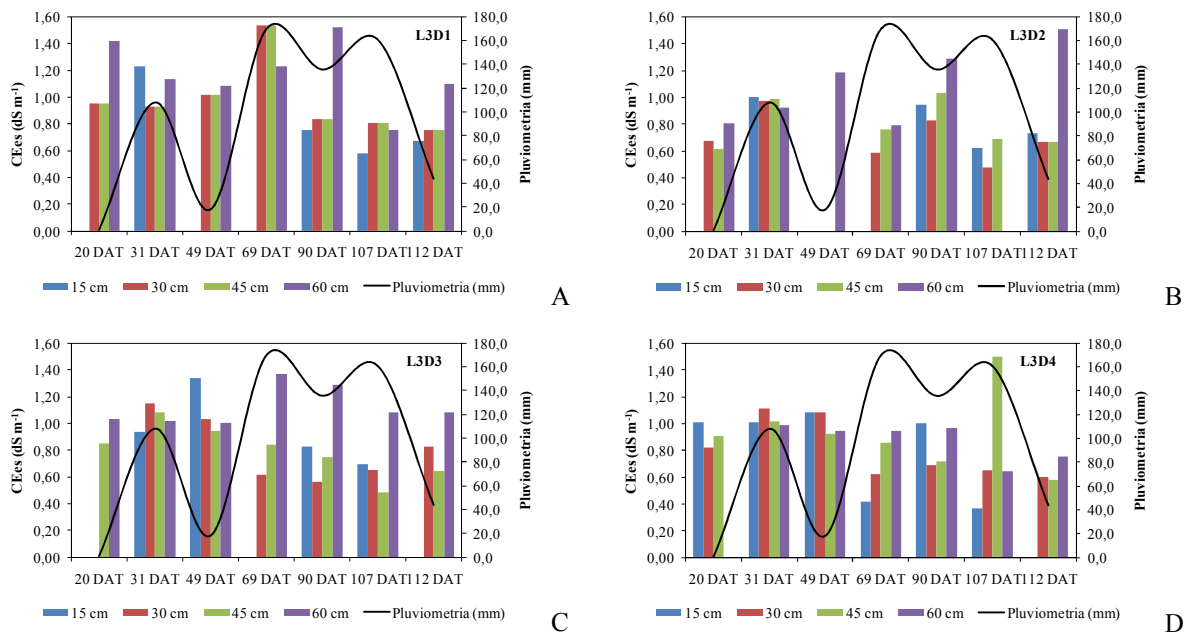


Figura 11. Avaliação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L3D1 (A); L3D2 (B); L3D3 (C); L3D4 (D).

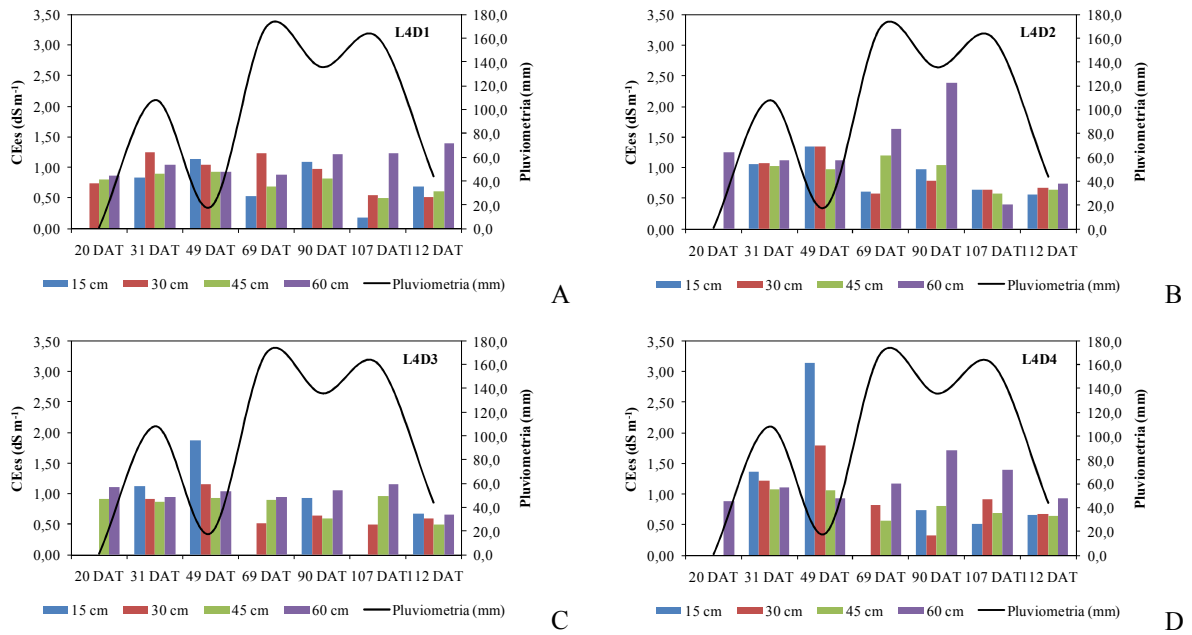


Figura 12. Avaliação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L4D1 (A); L4D2 (B); L4D3 (C); L4D4 (D).

4.3 Análise da variação da concentração de potássio na solução do solo

O teor de potássio na solução do solo pode variar desde 1 a 50 mg L⁻¹, ou mais, em solos fertilizados. Nas Figura 13, 14, 15 e 16, pode-se, avaliar as concentrações de potássio (K) ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para todos os tratamentos.

Verificou-se valores superiores aos mencionados da ordem de 87,80 mg L⁻¹ do teor de K na solução do solo para o tratamento L3D1 na profundidade de 30 cm (Figura 15A). No final do ciclo verificou que a concentração de K baixou para níveis abaixo de 5 mg L⁻¹ em média, este fato é facilmente verificado pela ação das chuvas que ocorreram no segundo cenário com maior intensidade neste período, favorecendo a mobilidade vertical do K promovido pelo fluxo massa decorrente da percolação da água no perfil do solo.

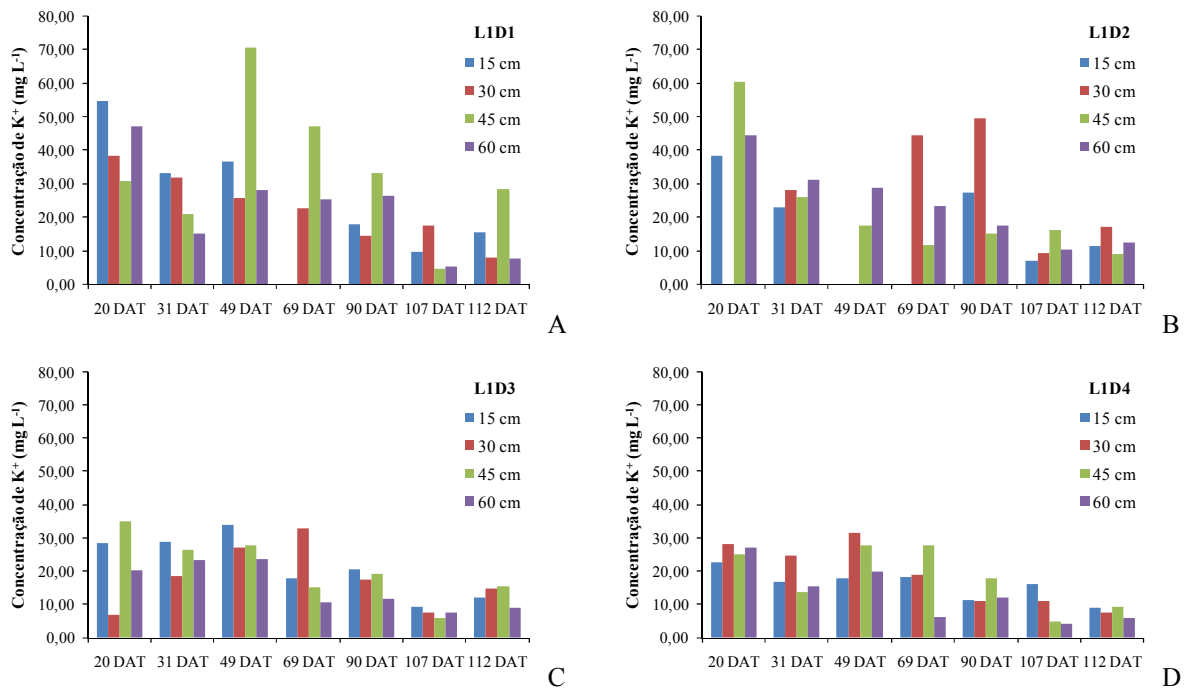


Figura 13. Avaliação da concentração de potássio ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L1D1 (A); L1D2 (B); L1D3 (C); L1D4 (D).

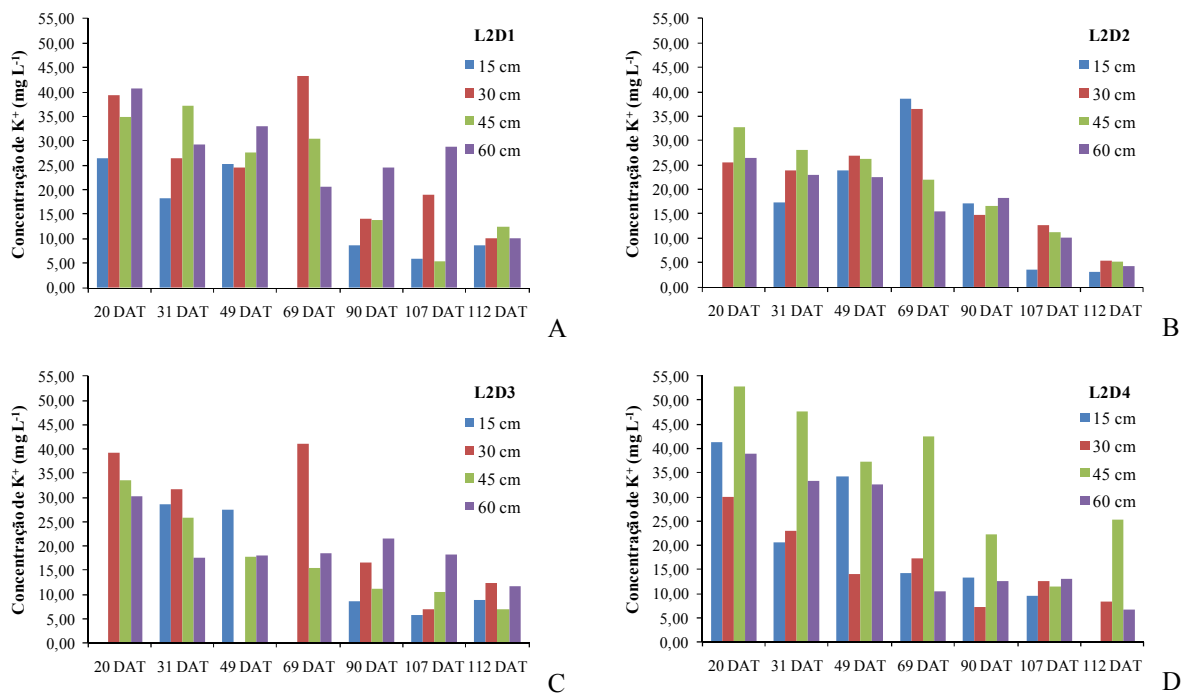


Figura 14. Avaliação da concentração de potássio ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L2D1 (A); L2D2 (B); L2D3 (C); L2D4 (D).

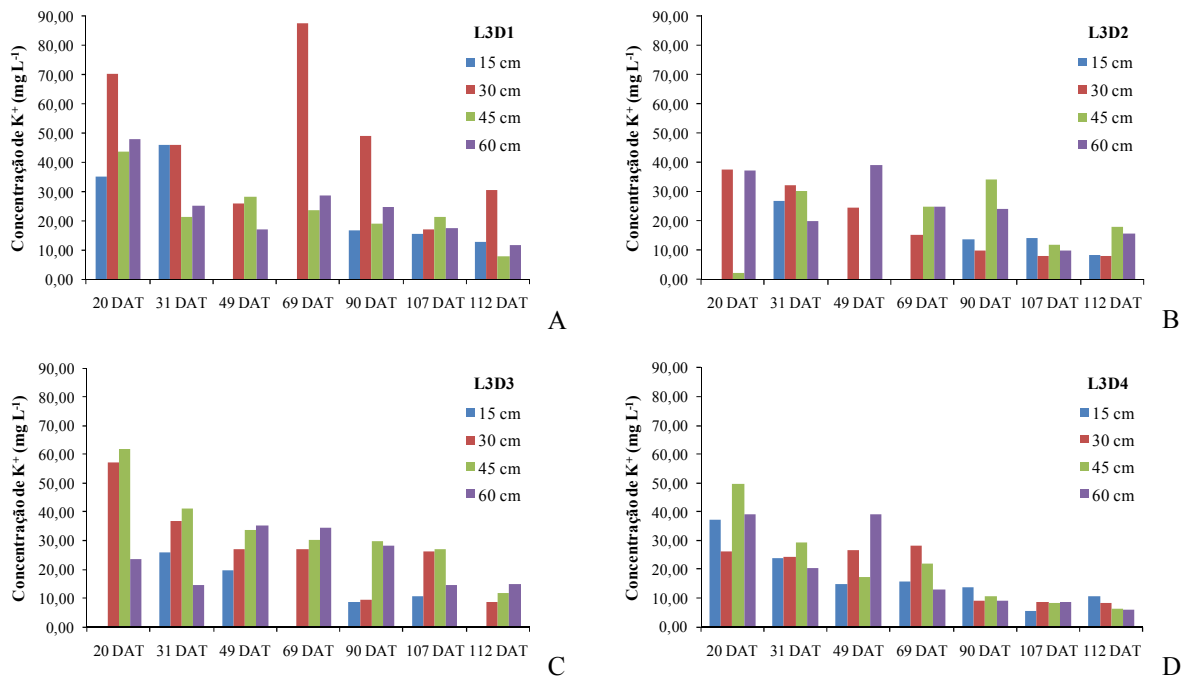


Figura 15. Avaliação da concentração de potássio ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L3D1 (A); L3D2 (B); L3D3 (C); L3D4 (D).

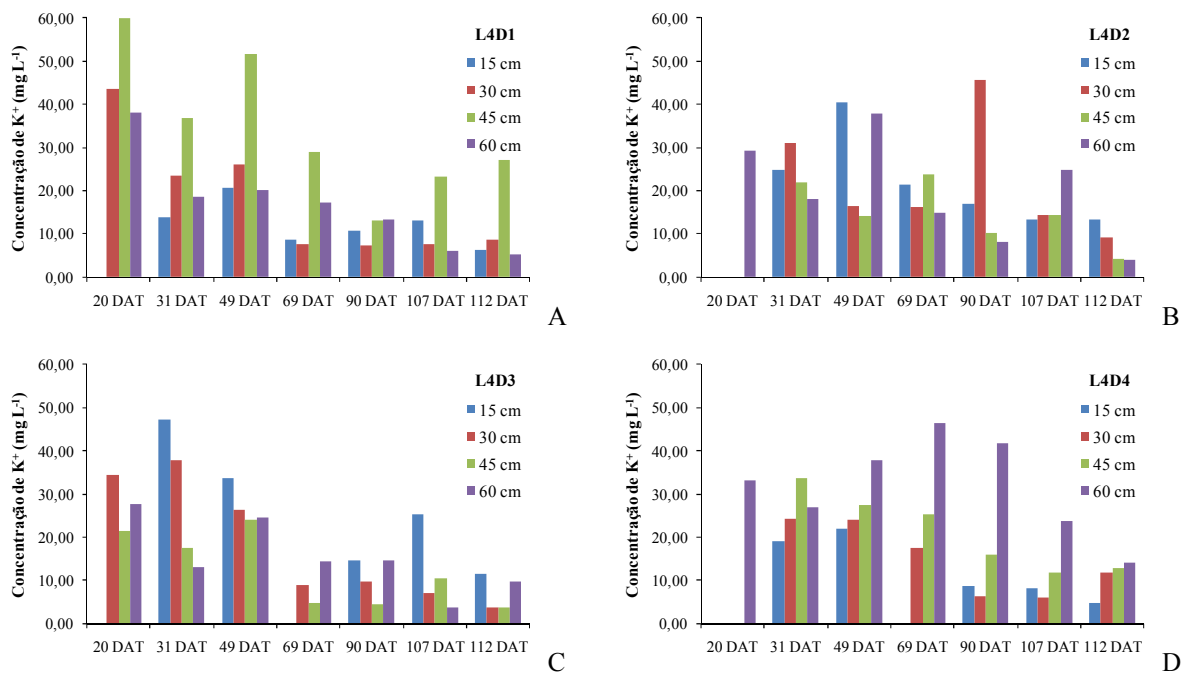


Figura 16. Avaliação da concentração de potássio ao longo do ciclo de cultivo do pimentão para os tratamentos L4D1 (A); L4D2 (B); L4D3 (C); L4D4 (D).

4.4 Parâmetros avaliados na cultura

4.4.1 Altura de planta

De acordo com a análise de variância (Tabela 6) aplicada aos dados de altura das plantas do pimentão obtidos ao longo do ciclo de cultivo, observou-se que houve efeito significativo da lâmina de irrigação sobre esta variável em todos os períodos estudados. Por outro lado, para a mesma variável, as doses de potássio só promoveram efeito significativo nos períodos de 54 e 63 dias após o transplante (DAT), mostrando a importância do potássio na fase de crescimento da planta. A interação entre os fatores só foi observada para o período de 115 DAT.

Tabela 6. Resultado da análise de variância para a altura das plantas (AP) do pimentão ao longo do ciclo de cultivo

Fonte de variação	GL	AP 54 DAT	AP 63 DAT	AP 94 DAT	AP 102 DAT	AP 115 DAT
----- Pr > F -----						
Lâmina	3	0,0377	0,0049	0,0001	0,0007	0,0003
Resíduo A	12	0,0254	0,7384	0,9470	0,9674	0,7104
Dose	3	0,0016	0,0443	0,3596	0,5195	0,1230
Lâmina*Dose	9	0,0959	0,5454	0,3729	0,6185	0,0296
Resíduo B	36					
Total	63					

A análise de regressão aplicada aos dados de altura das plantas nos períodos que sofreram efeito significativo das lâminas de irrigação e das doses de potássio mostrou que dentro do fator lâmina de irrigação a variável altura das plantas, ajustou-se a modelos lineares e quadráticos, sendo este último o modelo que melhor ajustou os dados da variável em estudo (Figura 17, 18 e 19). Encontrando-se o ponto de máxima das regressões quadráticas verifica-se que as maiores alturas de plantas ocorreram com aplicações de lâminas de irrigação correspondentes a 104, 103 e 104% da evapotranspiração da cultura (ET_c) para os 94, 102 e 115 DAT, respectivamente.

Dentro do fator dose de potássio a variável acima citada não apresentou ajustes aceitáveis para o modelo linear e quadrático testados, portanto não pode-se verificar efeito significativo para os modelos testados no fator doses de potássio. As alturas de plantas

observadas ao final do ciclo da cultura foram em média 54 cm, ficando próximo da média encontrada por Santos et al. (2003) para situação de campo (61 cm) e abaixo para o cultivo do pimentão em ambiente protegido (122 cm) aos 115 DAT.

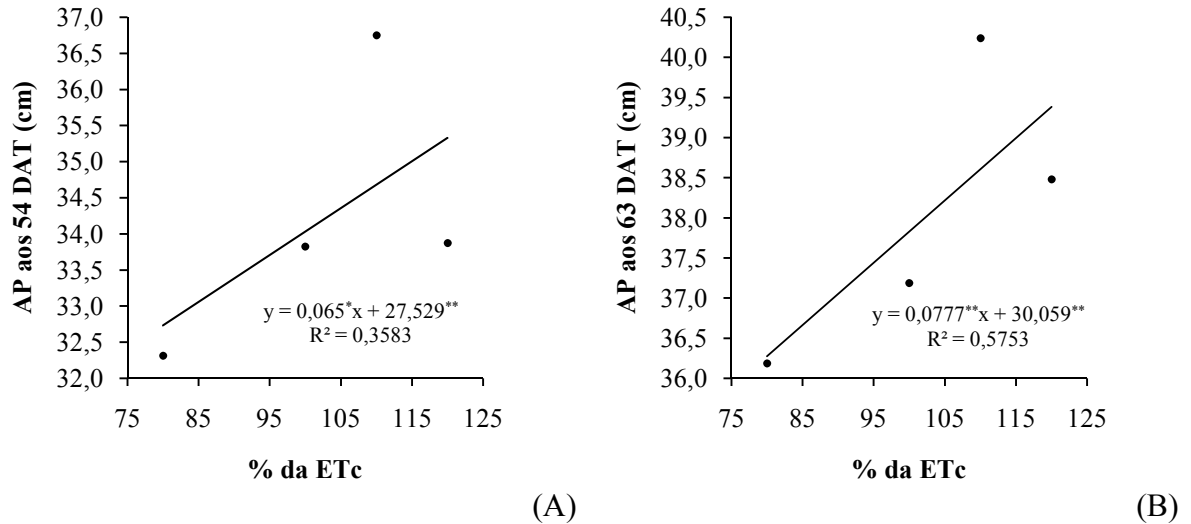


Figura 17. Altura das plantas de pimentão aos 54 DAT (A) e aos 63 DAT (B) em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).

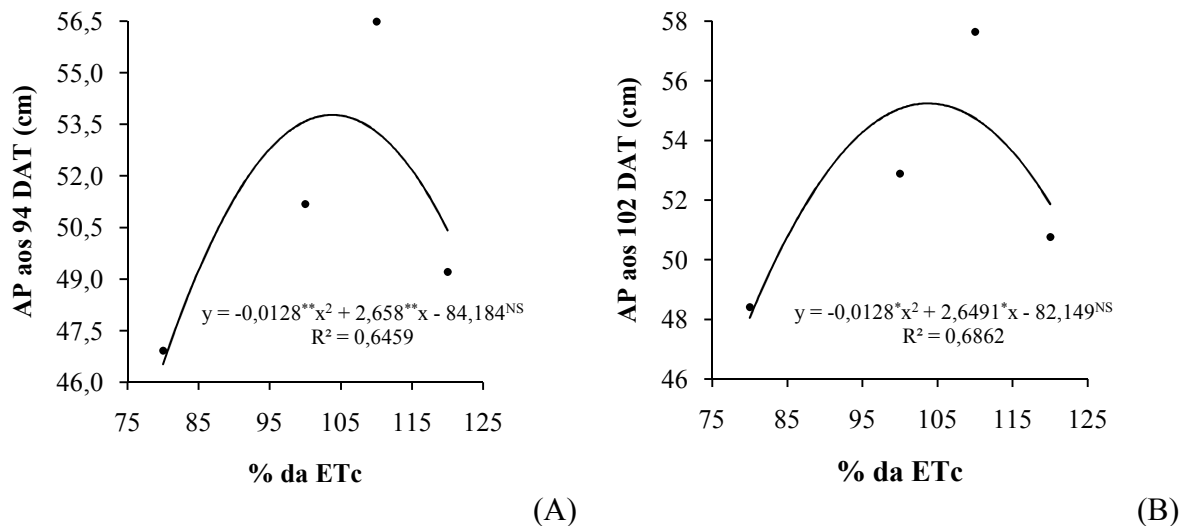
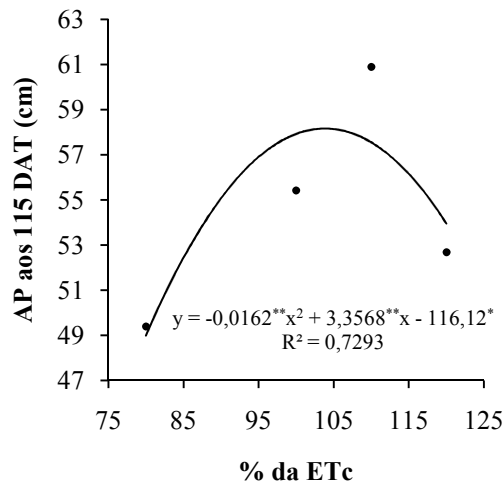


Figura 18. Altura das plantas de pimentão aos 94 DAT (A) e aos 102 DAT (B) em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).



(A)

Figura 19. Altura das plantas de pimentão aos 115 DAT (A) em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).

4.4.2 Diâmetro de colo

Para a variável diâmetro de colo (DC) (Tabela 7) observou-se que ocorreu efeito de lâmina de irrigação para todas as determinações, entretanto, para dose de potássio observou-se efeito significativo aos 63 e 115 DAT, não ocorrendo significância para interação entre os tratamentos.

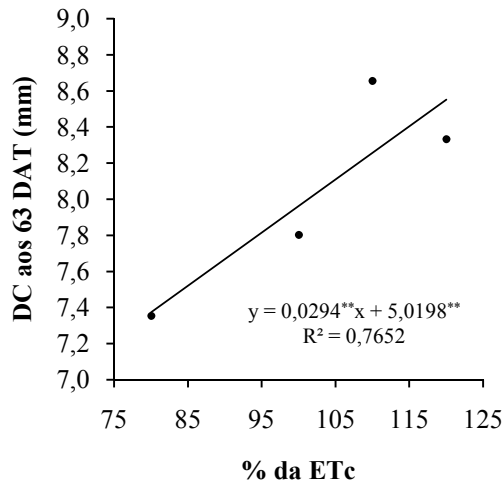
Tabela 7. Resultado da análise de variância para o diâmetro de colo (DC) das plantas do pimentão ao longo do ciclo de cultivo em dias após o transplante (DAT)

Fonte de variação	GL	DC 63 DAT	DC 94 DAT	DC 102 DAT	DC 115 DAT
		-----Pr > F-----			
Lâmina	3	0,0377	0,0090	0,0060	0,0019
Resíduo A	12	0,0254	0,5462	0,2254	0,4804
Dose	3	0,0016	0,0552	0,1641	0,0411
Lâmina*Dose	9	0,0959	0,2243	0,5744	0,0818
Resíduo B	36				
Total	63				

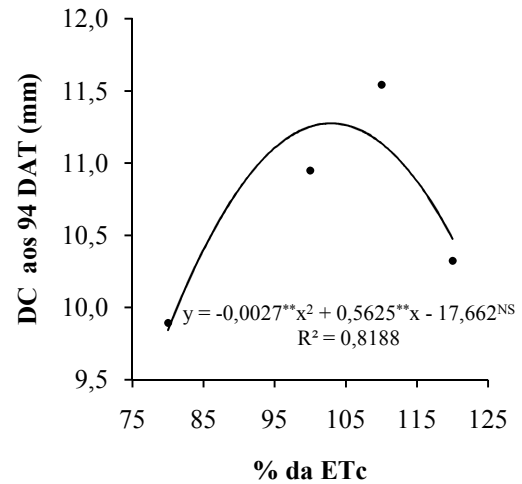
A análise de regressão aplicada aos dados de diâmetro de colo das plantas do pimentão nos períodos que sofreram efeito significativo das lâminas de irrigação e das doses de potássio mostrou que dentro do fator lâmina de irrigação a variável diâmetro de colo das plantas,

ajustou-se a modelos linear e quadráticos (Figura 20 e 21). Os maiores valores para diâmetro de colo (DC) foram de 8,6 mm (63 DAT), 11,6 mm (94 DAT), 12,8 mm (102 DAT) e 11,5 mm (115 DAT) para lâminas de 120, 104, 106 e 106% da ET_c , respectivamente.

O diâmetro de colo apesar de diferir significativamente em função das doses de potássio não apresentaram significância para os modelos de regressão testados.

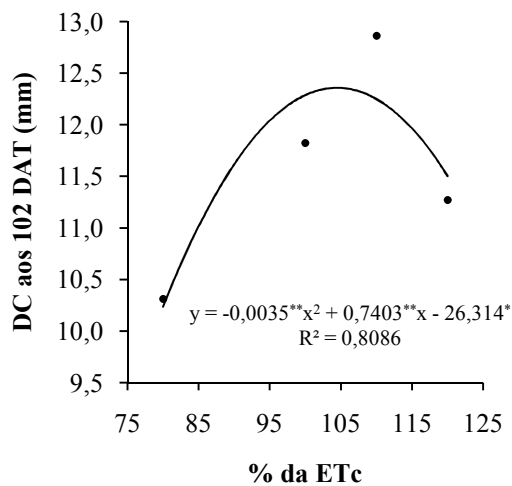


(A)

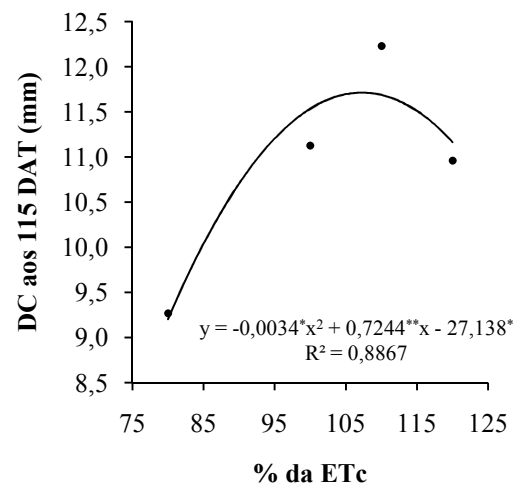


(B)

Figura 20. Diâmetro de colo aos 63 DAT (A) e aos 94 DAT (B) das plantas em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).



(A)



(B)

Figura 21. Diâmetro de colo aos 102 DAT (A) e aos 115 DAT (B) das plantas em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).

4.4.3 Massa da matéria de plantas e fruto e componentes de produção

Na Tabela 8 pode-se verificar que a variável massa da matéria fresca e seca de frutos (MFF e MSF), massa da matéria fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA), massa da matéria fresca e seca da raiz (MFR e MSR) diferiram significativamente pelo teste de F a 5% em função das lâminas de irrigação e doses de potássio aplicadas. A interação entre os fatores só foi observada para a variável massa da matéria fresca e seca de frutos (MFF e MSF), massa da matéria fresca e seca da raiz (MFR e MSR), comprimento do fruto (CF).

Tabela 8. Resultado da análise de variância para as variáveis de rendimento da cultura do pimentão

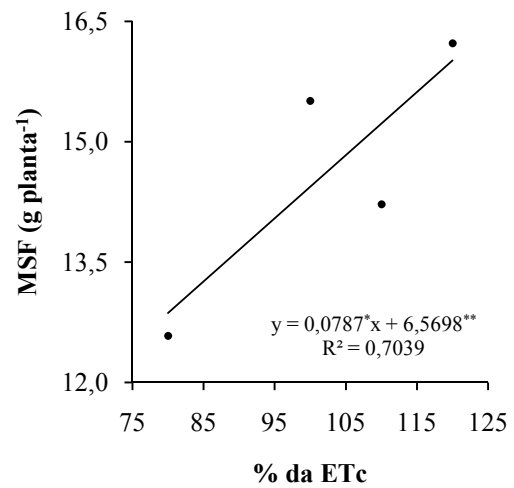
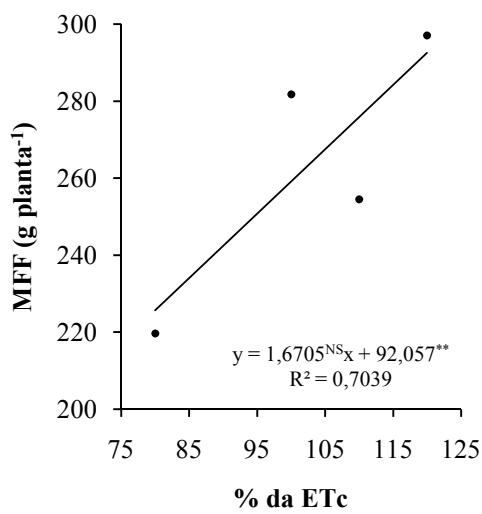
Fonte de variação	GL	MFF	MSF	NF	MFPA	MSPA	MFR	MSR	CF	DF
----- Pr > F -----										
Lâmina	3	0,0010	0,0010	0,0538	0,0020	0,0014	0,0023	0,0001	0,5756	0,5087
Resíduo A	12	0,5867	0,5873	0,8184	0,7377	0,7252	0,6620	0,7822	0,3534	0,4449
Dose	3	0,0001	0,0001	0,1008	0,0100	0,0267	0,0365	0,0095	0,1313	0,9872
Lâmina*Dose	9	0,0059	0,0059	0,5939	0,1230	0,2244	0,0434	0,0013	0,0461	0,3875
Resíduo B	36									
Total	63									

Legenda: MFF: massa da matéria fresca de frutos, MSF: massa da matéria seca de frutos, NF: número de frutos por planta, MFPA: massa da matéria fresca da parte aérea, MSPA: massa da matéria seca da parte aérea, MFR: massa da matéria fresca da raiz; MSR: massa da matéria seca da raiz, CF: comprimento de fruto, DF: diâmetro de fruto.

A MFF e MSF sofreram influência das lâminas de irrigação aplicadas apresentando ajuste para modelo linear de regressão (Figura 22), com valores máximos de 292,5 e 16,0 g planta⁻¹, respectivamente, para lâminas de 120 % da evapotranspiração da cultura (ET_c).

A MFPA, MSPA, MFR e MSR sofreram influência das lâminas de irrigação aplicadas apresentando ajuste para modelo quadrático de regressão (Figura 23 e 24), com valores máximos de 142,64; 23,92; 22,38 e 3,63 g planta⁻¹, para lâminas de 103, 104, 101 e 103% da evapotranspiração da cultura (ET_c), respectivamente, mostrando que tanto lâminas em déficit quanto em excesso reduzem o bom desenvolvimento dos componentes avaliados.

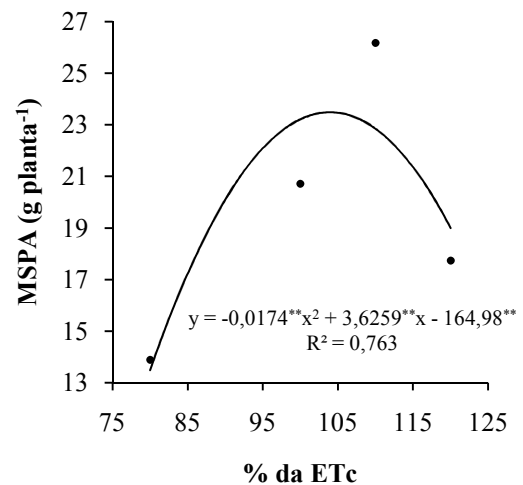
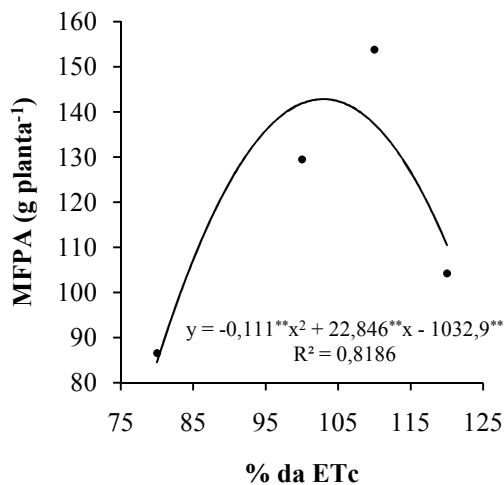
A MFF, MSF, MFPA, MSPA, MFR, MSR apesar de diferir significativamente em função das doses de potássio não apresentaram significância para os modelos de regressão testados.



(A)

(B)

Figura 22. Massa de matéria fresca do fruto (MFF) (A) e massa de matéria seca do fruto (MS) (B) das plantas em função da lâmina de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).



(A)

(B)

Figura 23. Massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) (A) e massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) (B) das plantas em função da lâmina de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).

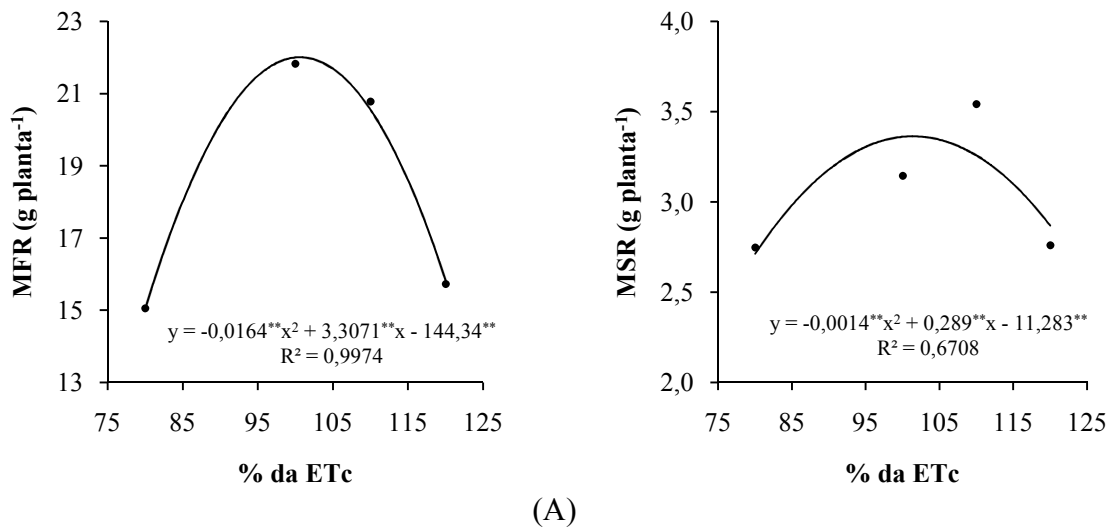


Figura 24. Massa de matéria fresca da raiz (MFR) (A) e massa de matéria seca da raiz (MSR) (B) das plantas em função da lâmina de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).

4.4.4 Teor de potássio e sódio na planta

Os teores de potássio (K) foram verificados na raiz, na planta (folha + caule) e nos frutos com a finalidade de verificar a exploração deste nutriente no cultivo e compor o balanço nutricional. Entretanto, foram observados elevados teores de sódio (Na) na planta e frutos, o que permitiu verificar uma possível interferência do Na no aspecto nutricional da cultura, pois além de competir pelo mesmo sítio ativo de absorção, pode inibir o sistema enzimático ativado pelo potássio (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

As lâminas de irrigação aplicadas em função da evapotranspiração da cultura não possibilitaram efeito significativos sobre a maioria das variáveis estudadas, sendo significativa apenas para o teor de sódio (Na) na parte aérea e no fruto (Tabela 9).

Tabela 9. Resultado da análise de variância para o teor de potássio (K) e sódio (Na) nas diferentes partes da planta do pimentão

Fonte de variação	GL	KR	NaR	KPA	NaPA	KF	NaF
-----Pr > F-----							
Lâmina	3	0,5815	0,1890	0,8197	0,0258	0,3219	0,0330
Resíduo A	12	0,0095	0,4323	0,8468	0,5470	0,9196	0,9745
Dose	3	0,0357	0,7349	0,4850	0,9534	0,3421	0,9501
Lâmina*Dose	9	0,0143	0,6277	0,2935	0,7445	0,8472	0,4161
Resíduo B	36						
Total	63						

Legenda: KR: potássio na raiz, NaR: sódio na raiz, KPA: potássio na parte aérea, NaPA: sódio na parte aérea, KF: potássio no fruto, NaF: sódio no fruto.

A análise de regressão para a variável teor de sódio (Na) na parte aérea (Figura 25) apresentou um ajuste quadrático de regressão em função das lâminas aplicadas. O maior teor de Na na parte aérea, correspondendo a $0,62 \text{ g kg}^{-1}$, ocorreu para uma lâmina aplicada de 104% da evapotranspiração da cultura (ET_c), com o incremento acima de 104% da ET_c verifica-se diminuição no teor de sódio. Provavelmente tal redução deve-se a redução da concentração do sódio no solo devido ao processo de lixiviação decorrente. Segundo Ayers & Westcot (1991) lâminas superiores a ET_c , denominadas de fração de lixiviação, é uma técnica utilizada para manutenção de sais em níveis estabilizados e o aumento do valor dessa fração permite estabilizar a concentração eletrolítica da solução do solo a níveis mais baixos.

Observando-se a Tabela 9 verificou-se efeito das doses de potássio apenas para a variável teor de potássio na raiz (KR), apresentando ainda significância na interação com as lâminas de irrigação. Todavia, na análise de regressão, o ajuste das observações a linha de tendência não foi significativo para os modelos estudados de regressão. O valor médio de potássio na raiz foi de $25,04 \text{ g kg}^{-1}$, superior ao valor verificado por Marcussi (2005), que foi em média de $19,0 \text{ g kg}^{-1}$ aos 115 DAT.

O KR apesar de diferir significativamente em função das doses de potássio não apresentaram significância para os modelos de regressão testados.

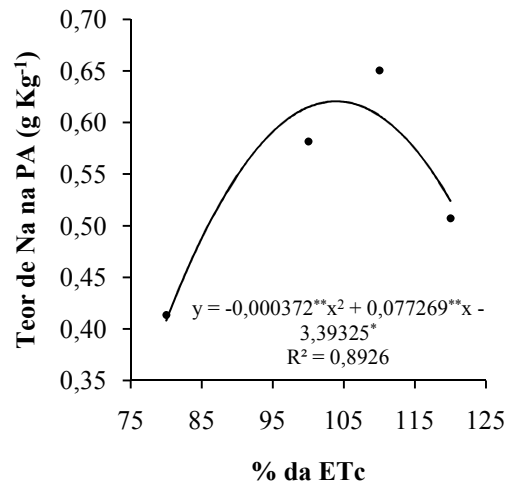


Figura 25. Teor de sódio (Na) na parte aérea das plantas em função das lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).

4.5 Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico do solo (BHS) foi estimado para uma profundidade de 30 cm, portanto, o balanço iniciou no dia 5 de março de 2009 (20 dias após transplante - DAT) até 4 de junho de 2009 (110 DAT). Assim, dentro deste período caracterizaram-se dois cenários: seco (06/03 a 30/03 de 2009) e chuvoso (01/04 a 04/06 de 2009). No período seco houve um evento pluviométrico da ordem de 6 mm, enquanto, para o período chuvoso houve vários eventos pluviométricos, totalizando uma precipitação da ordem de 486 mm.

Nas Figura 26, 27, 28 e 29, pode-se observar valores de evapotranspiração estimadas pelo método do balanço hídrico do solo (BHS). Pode-se verificar na Figura 28A um valor máximo de evapotranspiração (ET) de -18,93 mm para um intervalo de 4 dias aplicado aos tratamentos de lâminas de 110 % da evapotranspiração da cultura (ET_c) e um valor mínimo de -2,56 mm aplicado aos tratamentos de lâminas de 80% da ET_c (Figura 26A) para o período seco.

No período chuvoso foi verificado um valor máximo de -145,36 mm de ET para um intervalo de 20 dias (Figura 29B) e mínimo de -1,55 mm de ET para 1 dia (Figura 26B), aplicado aos tratamentos de lâminas de 120% e 80% da ET_c, respectivamente.

Os valores de evapotranspiração no período chuvoso foram superestimados em consequência de uma subestimativa da drenagem interna e principalmente de não ter sido

contabilizado para o balanço o escoamento superficial, pois a área experimental possuía uma pequena declividade que favorecia ao escoamento durante os eventos de precipitação intensa.

A subestimativa dos valores da drenagem com conseqüente superestimativa da evapotranspiração no período chuvoso, também pode ser explicada, uma vez que para o período chuvoso ocorreram muitas lacunas nas medições do conteúdo de água do solo, não sendo possível se fazer uma estimativa muito precisa da drenagem. De acordo com Reichardt et al. (1979) a maior dificuldade na elaboração de estimativas de termos de balanço hídrico se encontra na estimativa do termo de drenagem, obtido a partir da equação de Darcy. Existem sérias dificuldades na aplicação da equação de Darcy, em razão de erros cometidos na estimativa do gradiente de potencial e, sobretudo, na escolha do valor da condutividade hidráulica; além disso, a determinação dos fluxos de drenagem profunda, utilizando-se perfis de umidade e de potencial total de água do solo, mostra-se confiável em períodos de déficit hídrico, ou seja, em períodos secos, porém é menos confiável nos períodos chuvosos, quando ocorrem aumentos no armazenamento de água no solo (ANDRADE et al., 1988), o que deve ter ocorrido nesta pesquisa.

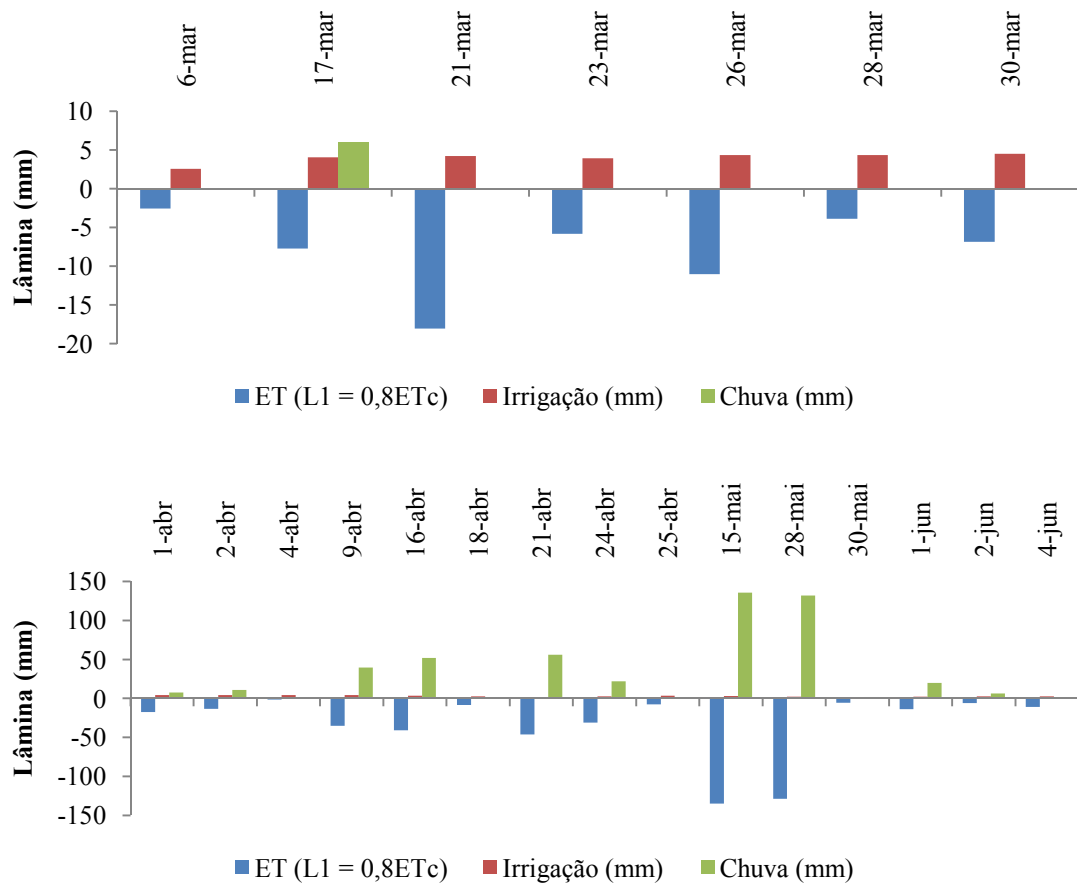


Figura 26. Balanço hídrico do solo para tratamento de lâminas de 80% da evapotranspiração da cultura para o período seco (A) e chuvoso (B).

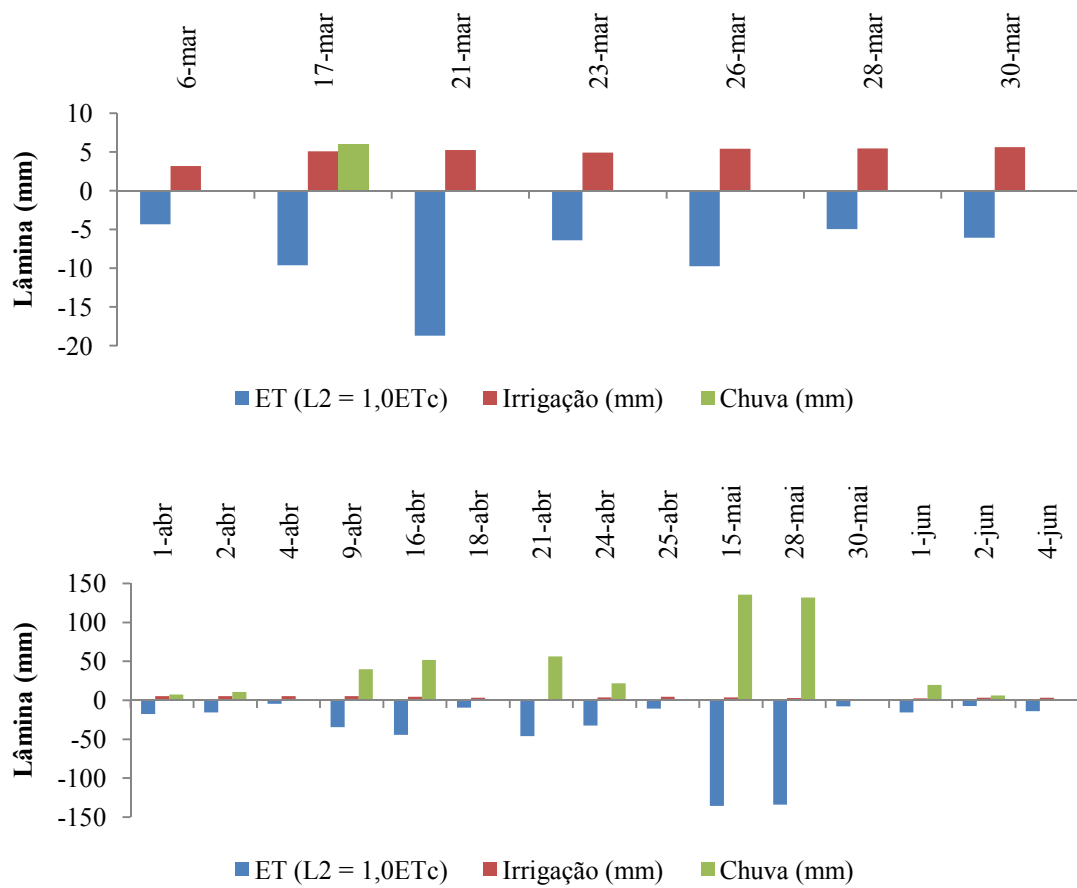


Figura 27. Balanço hídrico do solo para tratamento de lâminas de 100% da evapotranspiração da cultura para o período seco (A) e chuvoso (B).

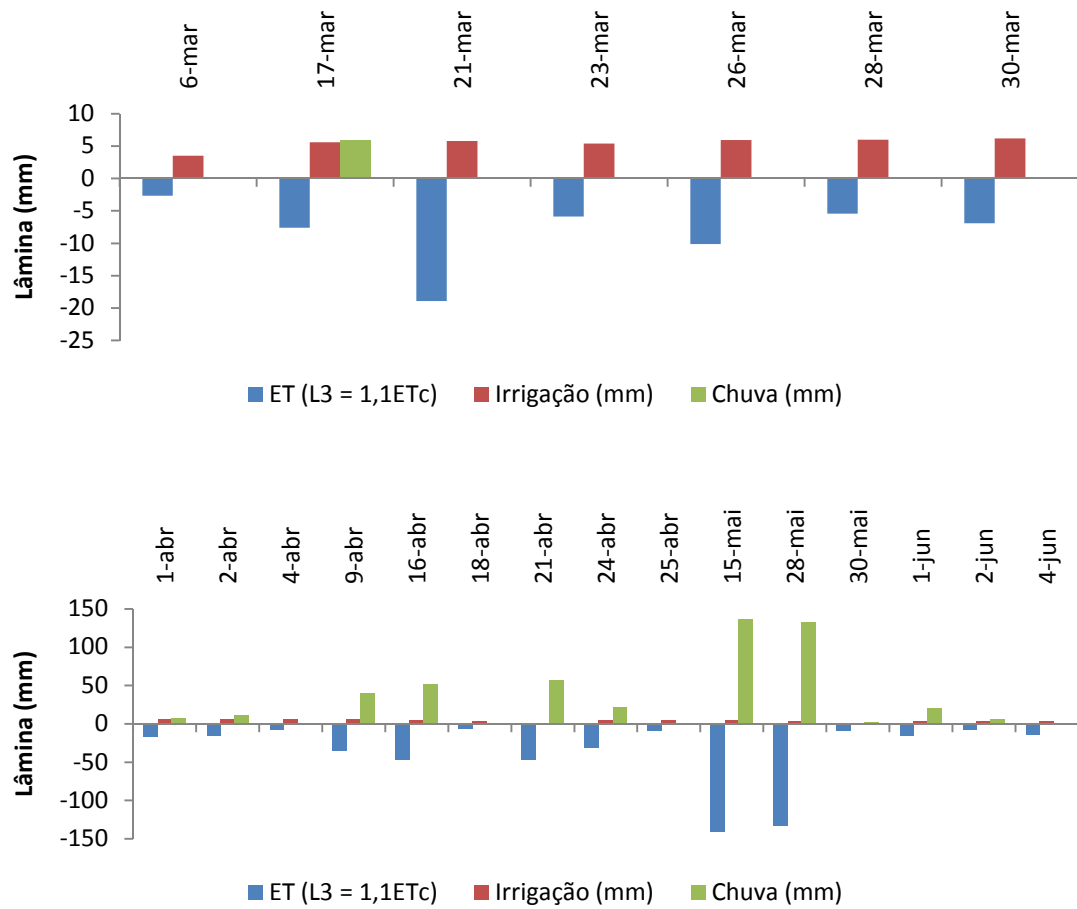


Figura 28. Balanço hídrico do solo para tratamento de lâminas de 110% da evapotranspiração da cultura para o período seco (A) e chuvoso (B).

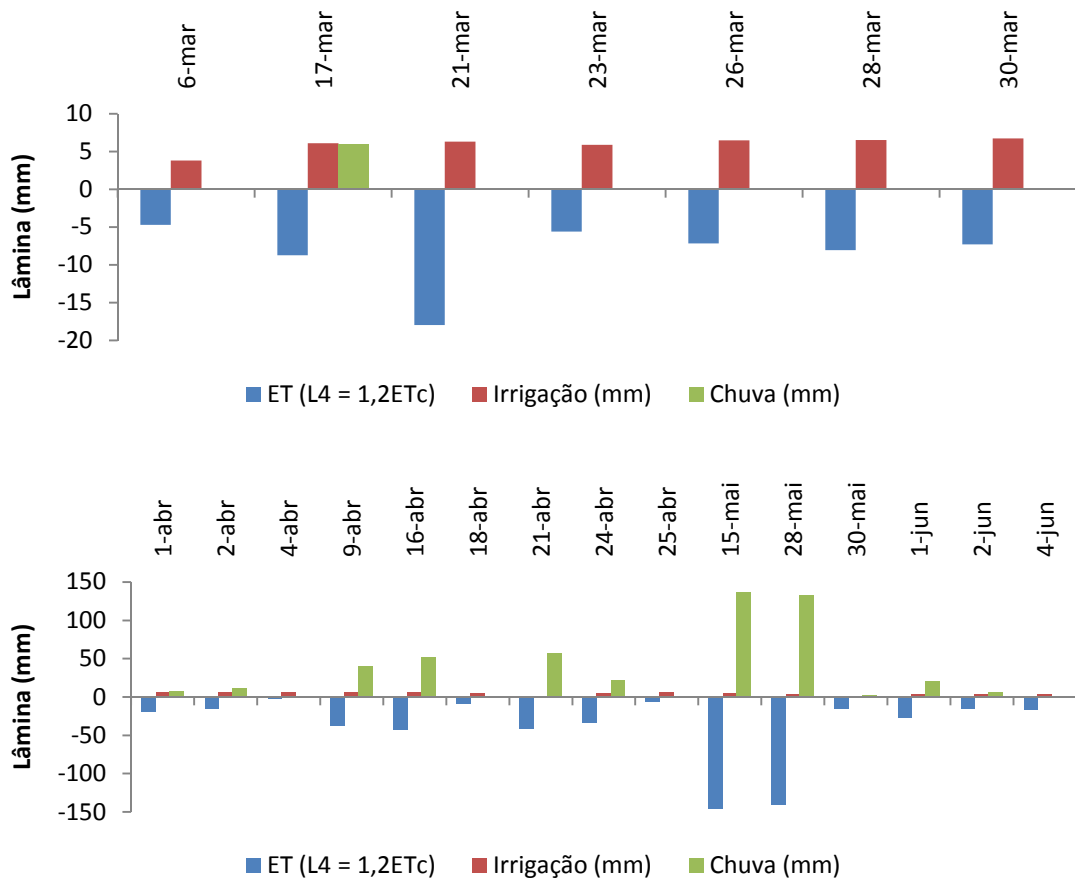


Figura 29. Balanço hídrico do solo para tratamento de lâminas de 120% da evapotranspiração da cultura para o período seco (A) e chuvoso (B).

4.6 Balanço de potássio no sistema solo-planta

Na Figura 30 pode-se verificar que o modelo superestimou os valores de potássio trocável para todos os tratamentos, em comparação aos valores obtidos nas amostragens de solo (S2k) feitas em cada parcela submetida ao tratamento, considerando a camada de solo de 0-60 cm.

Os valores de concentração de potássio apresentados no balanço mostram em todos os tratamentos que as concentrações de potássio existente no solo ao início do ciclo são muito superiores aos valores dos componentes de entrada e saída do balanço (Tabela 10), correspondendo a aproximadamente 65 vezes as doses aplicadas na fertilização. A quantidade de potássio perdida por lixiviação variou com os tratamentos, todavia, em média, a quantidade lixiviada foi 10 vezes superiores a quantidade de potássio extraída pela cultura, sendo o

tratamento L3D4 o que apresentou o maior valor de quantidade de potássio explotada, com $45,4 \text{ kg ha}^{-1}$.

Pode-se verificar na Tabela 10 valores de variação do nutriente K^+ (VNk) estimados pelo modelo superior aos valores encontrados no S1k nos tratamentos L1D2, L2D2, L4D2 e L4D4, isto ocorreu, visto que, a adição de potássio na fertilização foi superior a retirada deste pelo pimentão e pela lixiviação, os valores de extração de potássio pela planta e frutos foram bastante inferiores aos encontrados por Fernandes (1971) com $87,3 \text{ Kg ha}^{-1}$.

Outro fator que contribuiu para superestimativa dos valores de potássio (K), esta intrinsecamente relacionada ao tipo de solo estudado (Neossolo Regolítico Eutrófico), pois este tipo de solo possui uma elevada disponibilidade de K durante o processo de intemperismo.

Para o sucesso da simulação e resolução das equações que permitem predizer o deslocamento de solutos no solo, é necessária uma determinação realista dos parâmetros de transporte que influenciam na relação solo-soluto. Os parâmetros mais importantes que devem ser determinados para esse fim, são a velocidade da água no poro, os coeficientes de difusão e dispersão e o fator de retardamento, sendo esse último definido por VALOCCHI (1984) como sendo a relação entre a velocidade do soluto reativo e a velocidade média da água no poro. O coeficiente de difusão-dispersão é um parâmetro físico que considera a difusão iônica e a dispersão mecânica na solução do solo (GENUCHTEN & WIERENGA, 1986).

Portanto, devido ao grande número de variáveis que envolvem o transporte de solutos no solo, a utilização de modelos de simulação torna-se desejável pela rapidez, precisão e por permitir que grande número de fatores e efeitos sejam contabilizados (MIRANDA, 2001).

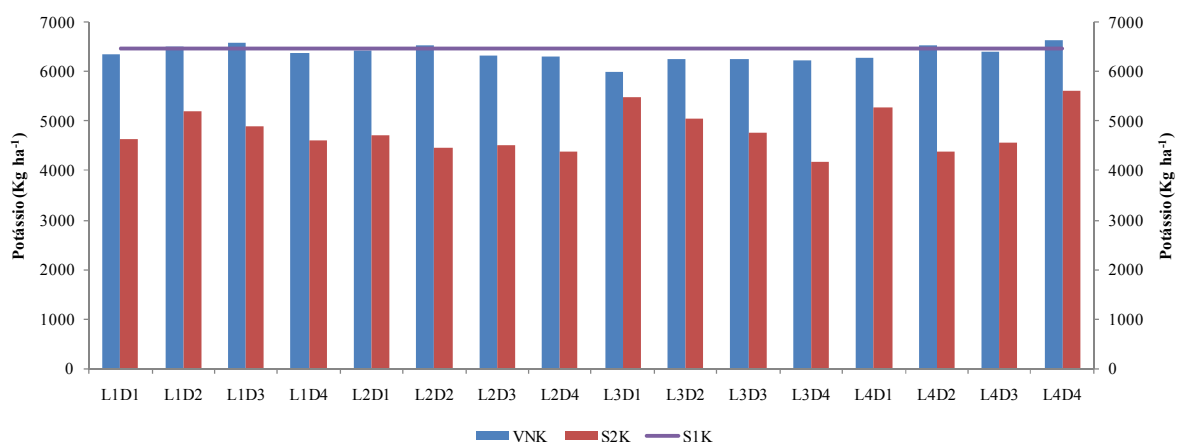


Figura 30. Análise da variação do nutriente potássio (VNK) para todos os tratamentos.

Tabela 10. Balanço de potássio no sistema solo-planta para lâminas (L) e doses de potássio (D)

Tratamento	L1D1	L1D2	L1D3	L1D4	L2D1	L2D2	L2D3	L2D4
	(K ⁺ em Kg ha ⁻¹)							
S1k	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3
Ak	80,0	100,0	150,0	200,0	80,0	100,0	150,0	200,0
Lk	165,8	35,6	31,9	257,7	95,5	3,9	275,4	345,9
Pk	14,2	13,8	8,6	13,0	29,2	29,2	13,6	10,2
Ek	6,2	7,8	8,2	11,0	7,2	8,2	8,0	7,2
VNK	6362,1	6511,2	6569,6	6386,6	6416,4	6527,1	6321,3	6305,0
S2k	4641,2	5191,5	4903,1	4620,2	4704,2	4464,8	4509,6	4380,8
Tratamento	L3D1	L3D2	L3D3	L3D4	L4D1	L4D2	L4D3	L4D4
	(K ⁺ em Kg ha ⁻¹)							
S1k	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3	6468,3
Ak	80,0	100,0	150,0	200,0	80,0	100,0	150,0	200,0
Lk	517,1	287,1	333,2	403,3	238,5	2,9	197,8	4,8
Pk	19,0	26,0	19,0	29,8	16,6	16,4	11,0	19,8
Ek	5,8	8,8	12,6	15,6	6,4	7,0	8,4	7,8
VNK	6006,4	6246,5	6253,5	6219,6	6286,8	6542,0	6401,1	6635,9
S2k	5485,5	5057,1	4754,6	4186,2	5271,3	4372,4	4557,2	5601,7

Legenda: S1K: teor de K⁺ no início do experimento, Ak: quantidade do nutriente K⁺ aplicado pela adubação, Lk: quantidade do elemento K⁺ perdido pela lixiviação, Pk: quantidade de nutrientes presentes na planta, Ek: quantidade de nutrientes exportada pela produção, VNk: variação do nutriente K⁺, S2k: teor de K⁺ no final do experimento.

5 CONCLUSÕES

De acordo com as observações realizadas no experimento de campo pode-se concluir que:

1. As lâminas de irrigação aplicada proporcionaram maiores alturas de plantas para o tratamento correspondente a 100% da evapotranspiração da cultura;
2. As doses de potássio não permitiram avaliar seu efeito sobre as variáveis de crescimento e relacionadas à produção;
3. O tratamento de lâmina de 110% da ETc e dose de 20,80 g planta⁻¹ de K₂O (L3D4) proporcionou os maiores valores de potássio explorados na planta e na produção da ordem de 29,8 e 15,6 kg ha⁻¹.
4. As concentrações de potássio na solução do solo determinadas pelo Ion Cardy Horiba correlacionaram muito bem com os valores determinados por fotometria de chamas, mostrando que sua utilização pode favorecer o manejo em condições de campo;
5. As chuvas ocorridas no período do cultivo promoveram a diminuição da concentração de potássio e condutividade elétrica na solução do solo;
6. O risco de contaminação de potássio foi verificado a partir da saída deste elemento da camada de solo de 0-60 cm, com quantidades bem superiores as quantidades aplicadas na fertilização.

6 REFERÊNCIAS

- ALLEM, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (Irrigation and Drainage, 56).
- ANDRADE, C.L.T.; SEDIYAMA, G.C.; COUTO, L.; SANS, L.M.A.; FERREIRA, P.A. **Balanço hídrico num Latossolo Vermelho-Escuro álico cultivado com milho com irrigação por aspersão**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1988. v.35, p. 89-104.
- ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIO, A. D.; SALCEDO, I. H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semiárido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 57-62, 2000.
- ARAÚJO, A. L. **Desempenho de Colunas Experimentais de Solo Irrigadas com Água Superficial poluída e Cultivadas com Alface** (*Lactuca sativa*, L.). 1999. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- ARENAS, M. T. L.; MEJIAS, R. J.; TORRES, F. M. Estimation of the evolution in time of the salts of the soil solution by means of suction cups (compact disc). In: **International symposium on water quantity and quality on greenhouse horticulture**, Almeria, 1996. Proceedings. Almeria: ICIA, ISHS, SECH.
- ASADI, M. E.; CLEMENTE, R. S.; GUPTA, A. D. Impacts of fertigation via sprinkler irrigation on nitrate leaching and corn yield in an acid-sulphate soil in Thailand. **Agricultural Water Management**, v. 52, n. 3, p. 197-213, 2002.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade de água na agricultura**. Tradução GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29).
- AZEVEDO, B. M.; HOLANDA FILHO, R. S. F.; SOUSA, V. F. Efeito da fertirrigação com nitrogênio e potássio sobre os teores de nutrientes em um solo cultivado com gravioleira. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, n. 2, p. 410-417, 2004.

BAKER, D. E. A new approach to soil testing: II ionic equilibria involving H, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, P and S. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 37, p. 537-541, 1973.

BEEVERS, H. Metabolic sinks. In: EASTIN, J. D.; HASKINS, F. A.; SULLINAV, C. Y.; VAN BAVEL, C. H. M. **Physiological aspects of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, 1969. chap. 8, p. 169-180

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7).

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

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos de Análises Químicas em Plantas**. Recife: UFRPE, 2004. 148 p.

BEZERRA, F. M. L.; MESQUITA, T. B. Evapotranspiração máxima e coeficientes da cultura do pimentão cultivado em lisímetros de drenagem. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 600-601, 2000.

BLACKBURN, D. M. **Efeito da drenagem subterrânea no balanço hidrossalino de um Neossolo flúvico irrigado em Pesqueira- PE**. 2002. Tese (Doutorado - Departamento de Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Relação entre a condutividade elétrica e concentração iônica na solução do solo e no extrato de saturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1, 2003, João Pessoa. **Anais**. João Pessoa: UFPB, 2003.

BLANCO, F. F.; SILVA, E. F. F.; FOLEGATTI, M. V. Determinação da condutividade elétrica e concentração de sódio no solo utilizando extratores de solução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: SBEA, 2000.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI. O Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 64-68, set./dez. 1999.

BURGUEÑO, H. **La fertirrigacion en cultivos hortícolas com acolchado plástico.** Culiacan: BURSAR, 1996. v.1, 45 p.

CARPENA, R. M.; RITTER, A.; SOCORRO, A. R. Nitrogen evolution and fate in a Canary Islands (Spain) sprinkler fertigated banana plot. **Agricultural Water Management**, v. 52, n. 2, p. 93-117, 2002.

CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B.; HENZ, G. P. **Germoplasm collection of Capsicum spp. maintained by Embrapa Hortaliças (CNPQ).** Capsicum and Eggplant Newsletter, Torino, v. 22, p.17-20, 2003.

CASALI, V. W. D.; COUTO, F. A. A. Origem e botânica de capsicum. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 113, p. 8-10, 1984.

CEASA-PE. Calendário de comercialização. Recife: **Central de Abastecimento Alimentar de Pernambuco**, 2008. Disponível em: <http://www.ceasape.org.br/calend_municipios.php>. Acesso em: 19 jan. 2010.

CHILD, A. A review of branching patterns in the Solanaceae. In: HAWKES, J. G.; LESTER, R. N.; SKELDING, A. D. **The biology and taxonomy of the Solanaceae.** London: Academic Press, 1979. p. 345-356.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling.** Berkeley: University of Califórnia, 1942. 124 p.

CISAGRO. **Projeto de irrigação da Fazenda Nossa Senhora do Rosário.** Pesqueira, 1990. 120 p.

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**, v. 23, n. 1, p. 187-194, 2003.

DALMAGO, G.A.; HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; TAZZO, I. F.; TRENTIN, G. Evapotranspiração máxima e coeficiente da cultura do pimentão em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 1, p. 33-41, 2003.

DARWISH, T.; ATALLAH, T.; EL KHATIB, M. Impact of irrigation and fertilization on NO₃ leaching and soil-ground water contamination in Lebanon. In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 17, Bangkok, 2002. Proceedings. Bangkok: WCSS, 2002. Paper n. 406.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v 27, n. 150, p. 155 – 162, 1980.

DJURHUUS, J.; JACOBSEN, O. H. Comparison of ceramic suction cups and KCl extraction for the determination of nitrate in soil. **European Journal of Soil Science**, v. 46, n. 3, p. 387-395, 1995.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução H. R. Gheyi, A. A. de Sousa, F. A. V. Damasceno e J. F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidlines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DUARTE, A. S. **Reuso de água residuária na irrigação da cultura do pimentão**. 2006. 187f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura, “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ELKHATIB, E. A.; HERN, J. L.; STALEY, T. E. A rapid centrifugation method for obtaining soil solution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 578-583, 1987.

ELOI, W. M. **Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre o cultivo do tomateiro (*lycopersicon esculentum* Mill) em ambiente protegido**. 2007, 110f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: **Ministério da Agricultura e do Abastecimento**, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 1. ed. Brasília, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

ENGLISH, M. J.; SOLOMON, K. H.; HOFFMAN, G. J. A paradigm shift in irrigation management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 128, n. 5, p. 267-277, 2002.

EPSTEIN, E., BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 392p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL-FAEPE, 1994. 227 p.

FERNANDES, P. D. **Estudo de nutrição mineral do pimentão (*Capsicum annuum* L.) cultivares Avelar e Ikeda: Absorção e deficiências de macronutrientes**. 1971. 85f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. p. 235-9.

FILGUEIRA, F. A. R. **Solanáceas: agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló**. Lavras: UFLA, 2003. 331 p.

FREITAS, J. A. D.; SOBRAL, L. F.; ROSSETTI, G. E. T. Desenvolvimento do coqueiro não em função de doses de N e K aplicadas via água de irrigação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., 2002, Rio de Janeiro. **Anais**. SBCS, 2002.

GARDNER, W. R. Some steady – state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. **Soil Science**, Baltimore, v. 85, p. 228-232, 1958.

GENUCHTEN, M. T. V.; WIERENGA, P. J. Solute dispersion coefficients and retardation factors. In: BLACK, C. A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p.1025-54. (American Society of Agronomy, 9)

GILLMAN, G. P. **A centrifuge method for obtaining soil solution**. Melbourne: CSIRO, Division Soil Report, 1976. 16 p.

GONÇALVES, A. D. M. A. **Efeito da temperatura no transporte dos íons potássio e nitrato no solo.** 2007. 82f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GROVER, B. L.; LAMBORN, R. E. Preparation of porous ceramic cups to be used for extraction of soil water having low solute concentrations. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 34, p. 706-708, 1970.

GUIMERA, J.; MARFÀ, O.; CANDELA, L. Nitrate leaching and strawberry production under drip irrigation management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 56, n. 2, p. 121-135, 1995.

JENSEN, M. E. **Consumptive of water and irrigation water requirements.** New York: ASCE, 1973. 215 p.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements.** New York: ASCE, 1990. 332p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation.** New York: Avibook, 1990. 649 p.

KENGNI, L.; VACHAUD, G.; THONY, J. L. Field measurements of water and nitrogen losses under irrigated maize. **Journal of Hydrology**, v. 162, p. 23-46, 1994.

KRUGEL, C.; DREYSPRING, C.; HEINZ, W. **A new suction apparatus for the complete separation of the soil solution from the soil itself.** Superphosphate, v. 8, p. 101-108, 1935.

LEMOES, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 3. ed. Campinas: 1996, 83 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** Piracicaba: P. L. Libardi, 2005. 335 p.

LIPMAN, C. B. A new method of extracting the soil solution. **Journal of Agricultural Science**, v. 3, p. 131-134. 1918.

LOCASCIO, S.; FISKELL, J. G. A.; GRAETZ, D.; HAUCK, R. Nitrogen accumulation by pepper as influenced by mulch and time of fertilizer application. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 110, n. 3, p. 325-328, 1985.

LOPES, S. J.; NETO, D. D.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, L. P.; BRUM, B.; COUTO, M. R. M. Ajuste de modelos para descrever a fitomassa seca da parte aérea na cultura do milho em função de graus-dia. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 73-80, 2005.

MAAS, E. V. Salt tolerance of plants: the handbook of plant science in agriculture. Boca Raton: ed. Christie B. R, 1984. 583 p

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance - Current Assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**. New York, v. 103, n. 2, p. 115-134, 1977.

MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. 2. ed. Piracicaba: Instituto Internacional de Pesquisa da Potassa, 1980. 91 p. (Boletim Técnico, 4)

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p. Funções, cap.3, p. 76-77.

MANTOVANI, E. C., RAMOS, M. M. Eficiência na aplicação da água. In: COSTA, E. F., VIEIRA, R. F., VIANA, P. A. Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994. p. 135 - 152.

MARCUSSI, F. F. N. Uso da fertirrigação e teores de macronutrientes em planta de pimentão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 23. p. 642-650. 2005.

MARSCHNER. H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraibapa, CE**. 2002. 103 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, F. A. C.; PEREIRA, A. R. Comparação entre evaporação em tanque classe A padrão e em mini-tanque, instalados em estufas e estação meteorológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1977, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBA, 1997. p. 228-230.

MEDEIROS, S. R. R. **Zoneamento agroclimático da flor tropical *Alpinia purpurata* no estado de Pernambuco.** 2007, 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management.** Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MILLER, H.; Mc.COLLUM, R.; CLAIMON, S. Relationship between growth of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 104, n. 6, p. 852-857, 1979.

MINAMI, K.; TESSARIOLI NETO, J. **Cursos agrozootécnicos: cultura do pimentão.** Piracicaba: ESALQ, 1994. 57 p.

MIRANDA, J. H.; GONÇALVES, A. C. A.; CARVALHO, D. F. **Água e solo.** In: MIRANDA, J. H., PIRES, R. C. M. **Irrigação.** Piracicaba: FUNEP, v. 1, p. 1-62. 2001.

MIRANDA, J. H. **Modelo para simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado.** 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 30–37, 2006.

MONTENEGRO, A. A. A. **Diagnóstico e controle da salinização em aluviões com pequena agricultura irrigada no semiárido nordestino.** CNPq - Programa Nordeste de Pesquisa e Pós-Graduação. Relatório final de Pesquisa. UFRPE, Recife-PE, 2001. 118p.

MORAES, J. F. V. Movimento de nutrientes em latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 85-97, 1991.

MORRISON, R. D.; LOWERY, B. Effect of cup properties, sampler geometry and vacuum on the sampling rate of porous cup samplers. **Soil Science**, v. 149, p. 308-316, 1990.

MOURA, A. O. B. **Avaliação do pH e da CE da água de irrigação submetida a diferentes doses e tipos de adubos.** 1994. 92f. Monografia. (Graduação em Agronomia). – Escola Superior de Agronomia de Mossoró, Mossoró.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water resources research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

NORVELL, W. A.; LINDSAY, W. L. Estimation of the concentration of Fe^{3+} and the $(Fe^{3+})(OH^-)_3$ ion product from equilibria of EDTA in soil. **Soil Science Society of America Journal**, n. 46, p. 710-715, 1982.

NUEZ, F.; GIL ORTEGA, R.; COSTA, J. **El cultivo de pimientos chiles y ajies.** Madrid: Artes Gráficas Cuesta, 1996. 607 p.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo, através de escoamento à superfície, com utilização de gramíneas: avaliação do processo quanto aos aspectos sanitários.** 1997. 232f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

PAKER, F. W. Methods of studying the concentration and composition of the soil solution. **Soil Science**, v. 12, p. 209-232, 1921.

PEÑA, I. **De la. Salinidad de los suelos agrícolas: su origen, clasificación, prevención y recuperación.** México: SARH, 1986. 131 p. (Boletim Técnico, 10).

PENMAN, H. L. Evaporation: Introduction survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**. v. 4, n. 1, p. 9- 29, 1956.

PEREIRA, A. R. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: ESALQ, 1992. 51 p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba, FEALQ, 1997. 183 p.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Curso de estatística experimental.** 14. ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 477 p.

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

PRUITT, W. O.; LAURENCE, F. J.; VON OETTINGEM, S. Water use by crops as affected by climate and plant factors. **California Agriculture**, Berkeley, v. 26, p. 10-14, 1972.

REDDY, S. J. Climatic classification: the semiarid tropics and its environment - a review. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, p.823-847, 1983.

REEVE, R. C.; DOERING, E. J. Sampling the soil solution for salinity appraisal. **Soil Science**, n. 99, p. 339-344, 1965.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; SAUNDERS, L. C. U.; CADIMAZ, A. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-5, 1979.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478p.

REIFSCHNEIDER, F. J. B.; RIBEIRO C. S. C. **Introdução e importância econômica**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2004. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/pimenta/index.htm>>. Acesso em: 19 jan. 2010.

REIFSCHNEIDER, F. J. B. **Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2000. 113 p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity conductivity pressure head relationships. **Ground Water**, Dublin. v. 6, p. 84 – 95, 1986.

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

RIBEIRO, M. R. **Caracterização e classificação de solos de referência do estado de Pernambuco**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1999. Relatório.

RICHARDS, L. A. (Ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

RICHARDS, L. A. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v. 51, n. 5, p. 377-386, 1941.

RIGA, P.; CHARPENTIER, S. Ionic-equilibrium time inside ceramic cups in unsaturated porous media. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 574 - 579, 1998.

RINCÓN, L.; SAEZ, J.; BALSALOBRE, E.; PELLICER, M. C. **Nutrición del pimiento grueso de invernadero**. HortoFruticultura, Lisboa, v. 5, p. 37-41, 1993.

ROSS, D. S.; BARTLETT, R. J. Effects of extraction methods and sample storage on properties of solutions obtained from forested spodosols. **Journal of Environmental Quality**, n. 19, p. 108-113, 1990.

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, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 23, p. 1015-1018, 1999.

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. 3. p. 250-264. 2003

SCALOPPI, E. J.; BRITO, R. A. Qualidade da água e do solo para irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 80-94, 1986.

SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorologia convencional e automática**. 1998. 97f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J.H., PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, v. 1, p. 63-120, 2001.

SILVA, E. F. F. **Manejo da Fertirrigação e Controle da Salinidade na Cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura, Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, E. F. F.; MIRANDA, J. H.; COELHO, R. D. Determinação da salinidade do solo utilizando extratores de cápsulas porosas e soluções diluídas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28 , Pelotas, 1999. **Anais**. Pelotas, 1999. Pelotas: SBEA, 1999.

SINGH, A. K.; CHAKRABORTY, D.; MISHRA, P. Nitrogen and potassium dynamics in fertigation systems. In: WOLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17, 2002, Bangkok. **Proceedings**. Bangkok: WCSS, 2002.

SOMOS, A. **The paprika**. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1984. 302 p.

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. **Physical chemistry of soil potassium**. In: MUNSON, R. Potassium in agriculture: Phosphate Potash; Phosphate Institute. Atlanta: American Society of Agronomy, 1985. p. 201-276.

SPOSITO, G. The future of an illusion: Ion activities in soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 531-536, 1984.

TAVARES, A. C. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade para a cultura do pimentão (*Capsicum annuum*) utilizando medidores de íons da solução do substrato**. 2005. 101F. Dissertação (Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TAVORA, J. E. M. **Reservas minerais de potássio e suas explorações**. Brasília. Potássio na agricultura Brasileira.; Instituto Internacional da Potassa, 1982. p. 37-50.

THOMPSON, H. C.; KELLY, W. C. **Vegetable crops**. New York: McGraw Hill Book, 1957. 611 p.

THORNTWAITE, G. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographycal Rev.**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94. 1948.

TIVELLI, S. W. **A cultura do pimentão**. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. (Org.). Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais. São Paulo: FUNEP, 1998. p. 225-256.

UHLAND, R. E. Physical Properties of Soil as Modified by Crops Management. **Soil Sci. Amer. Proc.**, Madison, Wisconsin (USA), v. 14, p. 361-366, 1949.

VALOCCHI, A. J. Describing the transport of ion-exchanging contaminants using an effective K_d approach. **Water Resources Research**, St. Louis, v. 20, n. 4, p. 499-503, 1984.

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

VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P.C.; CLEARY, R.W. **Engenharia hidrológica**, Rio de Janeiro, ABRH, 1989. Cap. 3, p. 145-97. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 2).

VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C. **Evapopluviômetro: novo sistema de medida da evaporação do tanque Classe A**. In: ANAIS do XI CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. v. 1, p. 2496-2502.

WOLT, J. D. **Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture**. New York : Wiley, 1994. 345 p.

WOLT, J. D.; RHODES, G. N.; GRAVEEL, J. G. Activity of imazaquin in soilsolution as affected by incorporated wheat (*Triticum aestivum*) straw. **Weed Science**, v. 37, p. 254-258, 1989.

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, n. 46, p. 24-38, 1991.