

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

**Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade
para a cultura do tomate em solo franco-argiloso**

Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em ciências. Área de Concentração:
Irrigação e Drenagem

**Piracicaba
2010**

Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros
Engenheiro Agrônomo

**Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade
para a cultura do tomate em solo franco-argiloso**

Orientador:
Prof. Dr. **SERGIO NASCIMENTO DUARTE**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em ciências. Área de Concentração:
Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2010

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

Medeiros, Pedro Róbinson Fernandes de

Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade para a cultura do tomate em solo franco-argiloso / Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros. - - Piracicaba, 2010.

85 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Estufas 2. Fertilizantes 3. Fertirrigação 4. Física do solo 5. Salinidade do solo
Tomate I. Título

CDD 635.642
M488m

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

Aos meus pais, Geraldo e Maria Bráulia, símbolos de vida, responsabilidade e humildade, cujo o amor me estimula a cada dia.

HOMENAGEM

À minha filha Ana Teresa Mariz de Medeiros e a minha esposa Tássia Monize de Medeiros pelo carinho oferecido. E aos meus irmãos, Paulo Roberto e Péricles Natanael, pela amizade e companheirismo.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

- À Deus, por ter me dado a vida, a esperança, a inspiração e a vontade de seguir em frente;
- Ao meu orientador, Sergio nascimento Duarte, por ser pai, irmão, amigo; pelos ensinamentos, apoio e sugestões;
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão do recurso financeiro total necessários para realização do projeto de pesquisa;
- Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI);
- Ao Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade oferecida para desenvolvimento deste trabalho;
- Aos Professores Décio E. Cruciani, José A. Frizzone, José F. de Medeiros, Marcos V. Folegatti, Rubens D. Coelho, Sergio N. Duarte, Tarlei A. Botrel, Iran J. da Silva, Jarbas H. Miranda pelos ensinamentos, amizade e estímulo;
- Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas, Antônio, Gilmar, Hélio, Luiz, Davilmar, Sandra e Beatriz, pela amizade e auxílio durante o curso;
- A Raimundo Felix (sogro), Laudeci Medeiros (sogra), Bruna (cunhada), Sergio (cunhado) e Ana Vitória (sobrinha), pela amizade e carinho concedido;
- A minha cunhada Ana Carolina pela paciência na hospedagem, das viagens de retorno a minha terrinha;
- A todos os meus amigos, que não vou citar nomes pra não correr o risco de esquecer ninguém, afinal de contas foi quatro anos de pós-graduação.

E a todos aqueles que, direto ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

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

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Manejo da fertirrigação.....	21
2.2 Ambiente protegido.....	23
2.3 Salinidade do solo.....	25
2.4 A cultura do tomate.....	27
2.5 Solução do solo.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Localização e descrição experimental.....	33
3.2 Construção da curva de salinização artificial.....	33
3.3 Construção da curva de retenção de água no solo.....	35
3.4 Experimento em campo.....	36
3.4.1 Descrição da estrutura experimental.....	36
3.4.2 - Tratamentos e delineamento estatístico.....	36
3.4.3 - Salinização do solo.....	37
3.4.4 - Plantio e condução das plantas.....	38
3.4.5 - Manejo da irrigação.....	39
3.4.6 – Manejo da adubação.....	39
3.4.7 - Extração da solução do solo.....	40
3.4.8 – Determinação do nitrato (NO ₃ ⁻).....	41
3.4.9 – Análises realizadas.....	41
3.4.10 – Análise estatística.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 - Curva de salinização artificial do solo.....	43
4.2 – Experimento em campo.....	44
4.2.1 - Salinização artificial do solo.....	44
4.2.2 – Dados climáticos.....	44
4.2.3 – Monitoramento da salinidade do solo.....	46
4.2.4 – Umidade do solo e manejo da irrigação.....	47
4.2.5 – Nutrição das plantas.....	51
4.2.5.1 – Acúmulo de massa seca.....	54
4.2.6 – Produção e componentes de produção.....	56
4.2.7 – Desenvolvimento vegetativo.....	61

4.2.8 – Avaliação de °Brix e pH dos frutos.....	66
4.2.9 – Avaliação dos teores de Nitrato (NO_3^-) e pH da solução do solo.....	69
5 CONCLUSÕES.....	77
REFERÊNCIAS	79

RESUMO

Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade para a cultura do tomate em solo franco-argiloso

Em condições de ambiente protegido, o controle da salinidade e o manejo da fertirrigação se confundem, pois os sais fertilizantes utilizados na maioria das vezes são as principais causas de salinização. Com o monitoramento periódico da solução do solo, pode-se determinar a condutividade elétrica e a concentração de íons específicos essenciais a nutrição das plantas. Dentre as técnicas de extração da solução do solo, o extrator de cápsula porosa destaca-se pela praticidade em campo, baixo custo, fácil manejo e boa precisão. O objetivo desta pesquisa foi calibrar e avaliar o uso de extratores de cápsula porosa, para o monitoramento da solução do solo, visando auxiliar no manejo da fertirrigação e no controle da salinização, como também, estudar o efeito de diferentes níveis de salinidade, obtidos com base em curvas artificiais de salinização do solo, sobre a cultura do tomate utilizando a cultivar Débora Plus. As plantas foram submetidas aos seguintes tratamentos: seis níveis iniciais de salinidade do solo induzida por sais fertilizantes (S1 = 1,0; S2 = 2,0; S3 = 3,0; S4 = 4,0; S5 = 5,0 e S6 = 6,0 dS m⁻¹) e dois tipos de manejo de fertirrigação, o tradicional (M1) e um manejo de fertirrigação com controle do nível de salinidade do solo durante todo o ciclo da cultura (M2); visando observar se o manejo M2 é capaz de manter a salinidade do solo a níveis desejados. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos casualizados completos com quatro repetições, ficando os fatores estudados arrançados no esquema fatorial 6 x 2, totalizando 48 parcelas por estufa. Este estudo foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, Piracicaba, SP. Observou-se que os extratores de cápsula porosa possibilitaram monitorar a concentração de íons na solução do solo, bem como direcionar o manejo de fertirrigação M2, com a manutenção da salinidade em níveis desejados, a partir do controle da condutividade elétrica da solução do solo. Os níveis de salinidade do solo provenientes do acúmulo de sais fertilizantes afetou diretamente as variáveis consumo hídrico, produção e o desenvolvimento vegetativo das plantas, o pH e o °Brix dos frutos e o pH e a concentração de nitrato (NO₃⁻) da solução do solo. Pode-se verificar que a manutenção da condutividade elétrica da solução do solo pelo manejo M2 em um determinado nível ótimo de salinidade, realmente promove incremento da produção quando contrastada com o manejo tradicional de fertirrigação M1, em ambiente protegido com solo franco-argiloso.

Palavras-chave: *Lycopersicon Esculentum* mill; Extratores de Solução do solo; Condutividade Elétrica; Fertilizantes Químicos

ABSTRACT

Management of fertirrigation in a protected environment for the control of salinity for the tomato crop in sandy-clayey soil

In protected environment conditions, the control of salinity and the fertirrigation management mingle themselves, because most of times the fertilizer salts are the main responsible for the salinization. With the periodical monitoring of the soil solution, the electrical conductivity and the concentration of specific ions can be determined. Among the techniques of extraction of the soil solution the porous cup extractor stands for its practicality in the field, low cost, easy-handling, and good precision. The aim of the research was to calibrate and evaluate the use of porous cup extractors, for the soil solution monitoring in order to aid the management of fertirrigation and the control of the salinization, as well as, study the effect of different levels of salinity, obtained based on artificial curves of soil salinization, on the tomato crop using Débora Plus. The plants were subjected to the following treatments: six initial levels of soil salinity induced by fertilizer salts (S1 = 1,0; S2 = 2,0; S3 = 3,0; S4 = 4,0; S5 = 5,0 E S6 = 6,0 dS m⁻¹). and two types of fertirrigation management, the traditional (M1) and a fertirrigation management with the control of the level of soil salinity throughout the crop cycle (M2); in order to observe if the management M2 is able to maintain the salinity of the soil to desired levels. The Statistic design adopted was the randomized complete block with four repetitions, leaving the studied factors arranged in the factorial scheme 6 x 2, total 48 plots for each protected environment. This study was carried area in the experimental at the Biosistemas Engineering Department at ESALQ/USP, Piracicaba, SP. It has been observed that porous cup extractor could monitor the concentration of ions in the soil solution, as well as how to direct the fertirrigation management M2, with the maintenance of the salinity in desired levels. The levels of soil salinity from the accumulation of fertilizer salts affected directly the variables: water consumption, production and the vegetative development of the plants, the pH and the °Brix of the fruit and the pH and the nitrate concentration (NO₃⁻) of the soil solution. It can be seen that the electrical conductivity maintenance in an excellent level of salinity really promotes the increase of productivity when it contrasts with the traditional fertirrigation management M1, in a protected environment with sandy-clayey soil.

Keywords: *Lycopersicon Esculentum* mill; Extractors of Soil Solution; Electrical Conductivity; Chemical Fertilizers

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Curva característica de retenção de água do solo	36
Figura 2.-Croqui da área experimental localizado dentro da estufa.....	37
Figura 3.-Relação entre a CEes esperada e a CEes obtida após a adição dos fertilizantes.....	43
Figura 4 - Curva de salinização artificial, relacionando a concentração dos sais fertilizantes aplicados via água de irrigação e a CEes.....	44
Figura 5 - Valores médios de CE medidos no extrato de solução do solo, para os diferentes níveis de salinidade.....	44
Figura 6.-Variação das temperaturas máxima, mínima e média do ar no interior de ambiente protegido para todo o ciclo da cultura do tomate.....	45
Figura 7 - Variação da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido para todo o ciclo da cultura.....	46
Figura 8. - Valores de condutividade elétrica do solo para os tipos de manejo de fertirrigação M1 (A) e M2 (B).....	47
Figura 9. -Diagrama de dispersão e equação de ajuste para o consumo hídrico da cultura do tomate em função dos níveis de salinidade do solo	49
Figura 10. -Representação de relações entre a condutividade elétrica do extrato de saturação corrigida e a umidade do solo em 35 DAT (1a fase da cultura), 77 DAT (2a fase da cultura) e 126 DAT (3a fase da cultura).....	50
Figura 11. - Consumo total de nutrientes utilizados durante o ciclo do tomateiro, em função dos níveis de salinidade do solo e do manejo de fertirrigação.....	54
Figura 12. - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para massa seca da folha e do caule em função dos níveis de salinidade do solo.....	55
Figura 13. - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para produção total (PRODT), produção comercial (PRODC) e número de frutos comerciais (NUMC) em função da salinidade do solo e do tipo de manejo de fertirrigação M1 (A, C e E) e M2 (B, D e F).....	58
Figura 14. - Rendimento relativo calculado com as médias da produtividade total (Mg ha ⁻¹), em função da salinidade do solo.....	60

- Figura 15. -Diagrama de dispersão e equação de ajuste para altura de plantas em função da salinidade do solo (A) e em função do tipo de manejo de fertirrigação M1 (B) e M2 (C).....62
- Figura 16. -Diagrama de dispersão e equação de ajuste para diâmetro de caule em função da salinidade do solo.....64
- Figura 17. - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para numero de folhas das plantas em função da salinidade do solo (A) e em função do tipo de manejo de fertirrigação M1 (B) e M2 (C).....64
- Figura 18. - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para oBrix da polpa dos frutos em função da salinidade do solo com o manejo de fertirrigação M1 (A) e M2 (B) e para o pH da polpa dos frutos em função da salinidade do solo (C).....67
- Figura 19. - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para o NO₃⁻ em função da salinidade do solo com o manejo de fertirrigação M1 (A e E) e M2 (B e F) e para o pH em função da salinidade do solo com o manejo de fertirrigação M1 (C e G) e M2 (D e H)70
- Figura 20. - Relações entre o íon nitrato da seiva da planta, o íon nitrato da solução do solo e o pH da solução do solo para 122 DAT (A, B e C) e 129 DAT (C, D e E).....72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.- Sais fertilizantes utilizados nos manejos de fertirrigação (M1 e M2), com as respectivas proporções que foram aplicadas sobre as concentrações obtidas nas curvas de salinização, visando atingir os níveis desejados de salinidade do solo.....	34
Tabela 2. - Caracterização química do solo.....	34
Tabela 3. - Características físicas do solo.....	34
Tabela 4.- Resumo da análise da variância para a variável consumo hídrico (L) submetido a diferentes níveis de salinidade do solo e tipos de manejo de fertirrigação.....	48
Tabela 5.- Valores médios da variável consumo hídrico (L) entre o tipo de manejo de fertirrigação e os níveis de salinidade do solo.....	49
Tabela 6 - Quantidades de nutrientes (g planta-1) para manutenção nutricional em função do estágio de desenvolvimento do tomateiro (Alvarenga, 2004) utilizadas no manejo de fertirrigação M1.....	51
Tabela 7 - Quantidades de nutrientes (g planta-1) aplicados em cada estágio de desenvolvimento do tomateiro, segundo os níveis de salinidade do solo, para o manejo de fertirrigação M2.....	52
Tabela 8.-Resumo da análise da variância para a variável massa seca das folhas (MSFOLHA (g planta-1)) e do caule (MSCAULE (g planta-1)), segundo os fatores níveis de salinidade do solo e manejo de fertirrigação.....	54
Tabela 9.- Massa seca total da parte aérea (folha + caule) (g planta-1) da cultura do tomate, em função aos níveis de salinidade do solo e do tipo de manejo de fertirrigação.....	56
Tabela 10.-.Valores médios das variáveis massa seca da folha e do caule entre tipo de manejo de fertirrigação e os níveis de salinidade do solo.....	56
Tabela 11.-.Resumo da análise da variância para as variáveis produção total (PRODT (Mg ha-1)), produção comercial (PRODC (Mg ha-1)) e número de frutos comerciais (NUMC), segundo os fatores níveis de salinidade do solo e manejo de fertirrigação.....	57

Tabela 12.-.Valores médios das variáveis produção total (PRODT (Mg ha-1)), produção comercial (PRODC (Mg ha-1)) e número de frutos comerciais (NUMC), para o manejo de fertirrigação e os níveis de salinidade do solo.....	59
Tabela 13.-.Valores médios (%) relativos à perda de produção, para a produção total (PRODT) e a comercial (PRODC), em função do manejo de fertirrigação e dos níveis de salinidade do solo.....	60
Tabela 14.-.Resumo da análise da variância para as variáveis altura de planta (A), diâmetro de caule (D) e número de folhas (NF), analisadas em três diferentes épocas (1, 2 e 3) de desenvolvimento, submetida a salinidade do solo e manejo de fertirrigação.....	61
Tabela 15.-.Valores médios da variável altura de planta entre tipo de manejo de fertirrigação e os níveis de salinidade do solo nos 42 DAT (A2) e 63 DAT (A3).....	63
Tabela 16.-.Valores médios da variável número de folhas entre tipo de manejo de fertirrigação e níveis de salinidade do solo nos 63 DAT (NF3).....	65
Tabela 17.-.Resumo da análise da variância para as análises oBrix (%) e pH da polpa dos frutos de tomate submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e tipos de manejo de fertirrigação.....	66
Tabela 18.-.Valores médios da variável pH da polpa dos frutos entre tipo de manejo de fertirrigação e níveis de salinidade do solo.....	68
Tabela 19.-.Resumo da análise da variância para as análises pH e NO ₃ ⁻ (ppm) da solução do solo, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e tipos de manejo de fertirrigação.....	68
Tabela 20.-.Valores médios das variáveis pH e NO ₃ ⁻ (ppm) da solução do solo entre tipo de manejo de fertirrigação e níveis de salinidade do solo.....	71

1 INTRODUÇÃO

A aplicação do conhecimento e do desenvolvimento científico na sustentabilidade da agricultura pode promover uma maior conservação dos recursos naturais e da produtividade das áreas exploradas; reduzindo drasticamente o impacto da produção em larga escala no ambiente, com um mínimo de influência dos elementos artificiais.

A quantidade de água de boa qualidade existente na natureza é finita e sua disponibilidade vem diminuindo gradativamente, em razão do crescimento populacional, da expansão das fronteiras agrícolas e da degradação do meio ambiente. Por ser um recurso indispensável à vida, é imprescindível a discussão das relações entre o homem e a água, uma vez que a sobrevivência das gerações futuras depende diretamente das decisões que estão sendo tomadas.

A degradação dos solos a partir da modificação das suas características físicas, químicas e biológicas, pode ser por esgotamento, erosão, salinização, compactação e desertificação. A utilização dos solos para o fornecimento de produtos agrícolas, por exemplo, não pode ser do mesmo tipo para todas as regiões brasileiras, devendo-se para cada uma, um conjunto de fatores que devem ser devidamente analisados, para melhor alocação dos recursos. O recurso natural solo é finito e sua degradação pode ser irreversível.

O desenvolvimento da agricultura moderna, juntamente com a sustentabilidade, em torno das áreas agrícolas, pode ser a chave capaz de garantir uma melhor condição de vida, para as populações que vivem do campo e em suas redondezas. Promovendo uma recuperação das terras degradadas e provar que o rendimento por área plantada pode ser o mesmo ou ficar bem próximo do atual através das práticas “normais” de cultivo.

Apesar de todos os apelos discutidos e apresentados por diversos meios de comunicação e comunidades científicas, o homem ainda continua usando os recursos naturais de forma inescrupulosa, para a obtenção de elevadas produções a partir de aplicações excessivas de produtos químicos ao solo e a água, devendo tal ação gerar resíduos ao ponto de se tornarem tóxicos as plantas e até mesmo aos homens.

Já é realidade que resíduos químicos provenientes de inseticidas e fertilizantes, podem contaminar os solos e as águas de diversas formas, principalmente por serem altamente móveis e

tóxicos, sendo objeto de diversas pesquisas científicas nacionais e internacionais que comprovam os possíveis danos a fauna e a flora.

O estudo de riscos de salinização em áreas irrigadas é imprescindível para o sucesso da agricultura como empreendimento, para isso, o manejo da água nas áreas irrigadas, associada ao manejo do solo e das culturas é fundamental para manter a atividade da agricultura irrigada por várias gerações.

Extensas áreas são cultivadas intensivamente por empresas multinacionais para a produção de frutas tropicais, com o objetivo de fornecer produto aos mercados nacionais e internacionais, a partir de aplicações excessivas de adubos químicos, procurando garantir elevadas produções e conseqüentemente elevados lucros, tornando os solos totalmente estéreis e facilmente propícios a processos de desertificação; o processo de esterilização dos solos ocorre basicamente por toxidez por causa do excesso de sais causando salinização.

A salinidade do solo oriunda do uso indevido de sais fertilizantes é preocupante principalmente pelo fato de serem altamente solúveis e facilmente transportados pela água. Estes sais podem causar uma salinidade bem mais severa, principalmente se combinarmos os fatores, tipo, concentração e suas interações na relação água-solo-planta.

O manejo inadequado da fertirrigação pode tornar o solo salino, causa atualmente frequente em muitas regiões, por causa basicamente da existência do resíduo dos sais adicionados ao solo junto com a água de irrigação, que deposita nos colóides do solo com um elevado potencial para aumentar a concentração, depois de sucessivas aplicações, chegando ao ponto de reduzir o rendimento das culturas.

Ainda em relação à problemática do manejo inadequado da fertirrigação, este se torna mais relevante quando se trata de cultivos em áreas com solos de elevado percentual de argila na sua composição, que conseqüentemente podem ter elevada capacidade de retenção de íons.

Porém o problema de salinidade pode ser minimizado, a partir de técnicas que asseguram a investigação da concentração dos sais, como por exemplo, o uso de extratores de cápsula porosa, equipamento que permite monitorar a salinidade do solo a partir da extração da solução do solo, de fácil manejo e baixo custo, bastante utilizado em pesquisas científicas. Estudos com este equipamento se fazem necessário, com o intuito de aumentar e garantir, a sua eficiência para a cultura do tomate, avaliando a resposta aos diferentes tipos de manejo, sendo necessário calibração nas diferentes situações e culturas.

Esta pesquisa teve os seguintes objetivos: estudar os efeitos de diferentes níveis de salinidade em solo franco-argiloso, causados por excesso de fertilizantes, sobre as variáveis fenológicas e de produção do tomate, em estufa; calibrar e avaliar o uso de cápsulas porosas, funcionando como extratores de solução do solo, no auxílio ao manejo da fertirrigação, visando o controle da salinização do solo; averiguar se a manutenção da condutividade elétrica em um determinado nível promove incremento da produção quando contrastada com o manejo tradicional da fertirrigação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manejo da fertirrigação

A prática de aplicar soluções fertilizantes via água de irrigação é chamada de fertirrigação, tendo o seu início na Califórnia em 1930, em sistemas de irrigação por aspersão em pomares (COSTA E BRITO, 1988). A fertirrigação tem sido usada já algum tempo na aplicação de alguns produtos químicos, que apesar do freqüente uso carece muito de conhecimentos técnicos, tais como tipo de injetor mais apropriado a ser usado no sistema de irrigação, dosagens a aplicar que vai depender do consumo hídrico da cultura, tempo de aplicação do fertilizante no tempo de irrigação, uniformidade de distribuição da solução na área da parcela de irrigação.

A técnica da fertirrigação é uma das formas mais eficiente de aplicação de fertilizantes, pois é a que mais se aproxima do ritmo de absorção de água e nutrientes pela planta. Esta técnica, quando utilizada adequadamente, contribui para o aumento da produtividade das culturas, melhora a eficiência do uso de fertilizantes devido à redução das perdas por lixiviação e controle da concentração de nutrientes do solo. Dessa forma, a fertirrigação se associa basicamente com os sistemas de irrigação de alta freqüência (DOMINGUEZ VIVANCOS, 1993).

A adoção da fertirrigação integrada ao cultivo protegido resulta em redução da mão-de-obra, melhor distribuição e localização do fertilizante, ajuste aos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e possibilidade de automação (FERNANDES E TESTEZLAF, 2003).

Fontes et. al. (2000), analisando o efeito da fertirrigação com potássio sobre o tamanho, composição mineral e qualidade dos frutos do tomateiro, concluíram que os conteúdos de matéria seca e os teores de fósforo, enxofre e magnésio dos frutos não foram afetados pelas diferentes doses de potássio.

Os sistemas de irrigação localizada são os mais indicados quando se utiliza a fertirrigação, principalmente o gotejamento, pois estes sistemas aplicam água e nutrientes na quantidade e posição adequadas em todo o campo com maior eficiência de distribuição. A aplicação de fertilizantes via água de irrigação é vantajosa, quando se usa sistemas de irrigação de alta freqüência, pois possibilita a aplicação da quantidade exata de fertilizante que o vegetal demanda para o seu ciclo vegetativo.

Os sais fertilizantes mais adequados para serem utilizados na fertirrigação, devem ter as seguintes qualidades: completa dissolução na água de irrigação, inexistência de incompatibilidade quando no processo de mistura e baixo potencial salino.

Questionamentos e discussões são analisados em relação às quantidades de sais fertilizantes utilizados na fertirrigação serem as mesmas tanto em campo aberto quanto em ambiente protegido. Villas Boas et. al. (2000), citam que no cultivo de pimentão em ambiente protegido com fertirrigação, por não se ter definido ainda as doses dos adubos reais necessárias nessa forma de cultivo, é comum se verificar crescimento excessivo das plantas com caules grossos, folhas largas e internódios longos, com reflexos negativos na produtividade.

O principal problema do manejo inadequado dos sais fertilizantes, além de proporcionar elevadas perdas considerando-o como produto comercial de elevada participação nos custos de produção, é o poder de salinizar os solos rapidamente principalmente se utilizarmos a técnica do ambiente protegido muito empregado no cultivo de hortaliças, pelo motivo desta técnica não dispor da água da chuva pra ajudar a lixiviar parte dos sais depositados.

As altas concentrações de fertilizantes na água de irrigação, associada às taxas de transpiração, elevam os níveis de sais no meio radicular e promovem desequilíbrio na absorção de água e soluto pelas plantas (Van Ieperin, 1996).

O manejo inadequado dos sais fertilizantes pode aumentar e/ou diminuir a concentração de sais na solução do solo. Com o aumento e posterior acumulação no solo, as raízes apresentam maior dificuldade de absorver água e conseqüentemente nutrientes. Cada cultura possui determinado grau de sensibilidade a diferentes concentrações de sais solúveis na solução do solo, o tomateiro inicia-se com um murchamento foliar, nos períodos mais quentes do dia, mesmo o solo estando úmido, em seguida ocorre queimadura do ápice e bordos das folhas e finalmente morte da planta (ALVARENGA, 2004).

Mas todos estes danos da salinidade podem ser prevenidos, se for adotado um eficiente manejo de controle e monitoramento da fertirrigação. Considerando que os níveis ótimos de concentração dos sais na solução do solo podem reduzir a sua aplicação com o aumento da eficiência de consumo pelas plantas e manter a salinidade do solo em um nível aceitável em relação à tolerância da cultura explorada.

Segundo Burgueño (1996), ao se estabelecer o monitoramento periódico, a aplicação de sais fertilizantes pode ser controlada de forma a manter a concentração da solução do solo

variando numa faixa de salinidade (CE) considerada adequada para a cultura, não sendo, portanto, necessário se aplicar lâminas de lavagem de manutenção, evitando, assim, desperdícios com água e sais fertilizantes.

2.2 Ambiente protegido

A plasticultura, termo atualmente utilizado entre os produtores hortícolas de todo o mundo, tem um amplo significado na literatura que engloba uma série de práticas culturais, tendo como principais o ambiente protegido e a utilização do mulching.

O ambiente protegido é uma estrutura que pode ser construída a partir de vários materiais, como por exemplo, concreto, ferro galvanizado, alumínio ou em madeira, e em diferentes modelos, cobertos com películas de polietileno transparente, sendo o mais comum o polietileno de baixa densidade (PEBD) por causa do preço bastante acessível.

Segundo Fontes (2005), alguns tópicos devem ser levados em consideração no momento do planeamento de adoção da técnica, como por exemplo, intensidade do vento, intensidade das chuvas, temperaturas máximas e mínimas prevalentes, modo de condução da cultura, luminosidade (irradiância), retorno económica das culturas, etc.

Em relação às práticas agrícolas da agricultura convencional, praticamente todas podem ser realizadas neste tipo de ambiente, podendo citar operações de preparo de solo (aração, calagem, gradagem); tratos culturais (amontoa, tutoramento, amarrão, desbrota, poda, raleio de frutos, poda de folhas); cobertura do solo; adubação; irrigação (imprescindível); controle de plantas invasoras e tratamentos fitossanitários.

Uma das técnicas da agricultura moderna muito utilizada para viabilizar o cultivo fora de época, diminuir custos e aumentar a produtividade, é o cultivo protegido que, juntamente com as novas tecnologias aplicadas à área de irrigação, como a fertirrigação, tem propiciado bons resultados (FACTOR et al., 2008).

No Brasil, sua introdução ocorreu no final da década de 70, com trabalhos pioneiros, nos quais se utilizou o plástico em estruturas com a finalidade de proteção contra as adversidades climáticas (GOTO, 1997). Atualmente é utilizada principalmente na produção de produtos de elevado retorno económico e que necessitam de ambientes isentos das adversidades climáticas, tais produtos seriam frutas (morango), hortaliças (tomate) e flores.

Em países como o Brasil, a introdução desta técnica incrementou ainda mais o sucesso da agricultura que já era bom por ser um país que dispõem de solo e clima, porém existem regiões pelo mundo que esta técnica poderá fazer a diferença entre a fome e a disponibilidade de alimentos; regiões de severas adversidades climáticas com pequenas porções de solos agricultáveis e pouco recurso hídrico disponível, a partir de incentivos governamentais garantindo para as populações produtos de elevadas qualidade e quantidade, principalmente com um reduzido consumo de água. O ambiente protegido entra como uma forma de controlar as intempéries do tempo, qualificar o solo e controlar o consumo de água (KLAR, 1988).

E apesar da veracidade da afirmativa que o ambiente protegido aumentar a temperatura em seu interior, é possível utilização em regiões de elevadas temperaturas diurnas, a partir do sucesso de técnicas de climatização e alocação.

Vários trabalhos vêm sendo apresentados, comprovando o aumento na produção de algumas culturas em função de alterações micrometeorológicas promovidas pelo uso de estufa com cobertura plástica (HELDWEIN et al., 2004).

O efeito do ambiente protegido sobre a temperatura do ar está relacionado com o balanço de energia. A radiação solar que penetra para o interior do ambiente protegido é parcialmente absorvida pelo solo, plantas e objetos, sendo parte convertida em energia térmica (radiação de ondas longas) que vai para o espaço e, ao atingir algum material (a cobertura plástica), fica retida neste ambiente, propiciando uma elevação da temperatura do ar. Este fenômeno é conhecido como efeito estufa (TAPIA, 1981).

Junior Jadoski et al. (2006), estudando a distribuição da evaporação no interior de um ambiente protegido, conclui que é possível estimar a evaporação interna do ambiente através de medições em um tanque Classe “A” instalado fora do ambiente protegido e que a temperatura do ar interna ao ambiente protegido também pode ser estimada através de temperaturas do ar externas.

Entretanto, a pesquisa científica no Brasil sobre o cultivo em ambiente protegido ainda é incipiente. E com a expansão da atividade, vários problemas surgidos têm sido relatados por agricultores e técnicos envolvidos com esta atividade agrícola. O manejo pouco eficiente dos fatores de produção, aliado ao desconhecimento da fisiologia dos vegetais em ambientes protegidos, pode resultar em acúmulo de sais no solo a partir do uso inadequado do manejo de fertirrigação.

Recomendações existentes de adubação para o campo devem servir apenas como referenciais havendo, porém, necessidade de obtenção de informações específicas para o sistema de cultivo protegido (GOMES et al., 1999). A produtividade obtida para a cultura do pepino em ambiente protegido é maior que em condição de campo (GALVANI et al., 2000).

Valores de evapotranspiração máxima e do coeficiente de cultura (K_c) para as condições do campo, como os determinados para tomateiro (LIMA et al., 1994), melancia (MIRANDA et al., 2004) ou aqueles indicados por Doorenbos e Pruitt (1976) para diferentes hortaliças, não podem ser utilizados diretamente para o ambiente parcialmente modificado de uma estufa plástica.

Segundo Silva et al. (2004), estudando valores de K_c em ambiente protegido, concluiu que em relação às recomendações da FAO ($K_{cMax} = 1,2$), observou-se um menor valor de K_c máximo no experimento conduzido ($K_{cMax} = 1,0$), o que mostra a importância de estudos locais na determinação da evapotranspiração e de coeficientes de cultivo, também em ambiente protegido.

Existindo também resultados que confrontam técnicas nos diferentes ambientes de produção. Cunha et al. (2002), trabalhando com pimentão concluíram que o cultivo protegido foi mais eficiente na conversão da radiação líquida disponível em matéria seca total e na produtividade de frutos, além de menores perdas de energia, mostrando-se também mais eficiente no uso da água em relação ao cultivo em campo.

Em condições protegidas as plantas de pimentão têm maior crescimento vegetativo em relação ao campo aberto, principalmente em virtude da aplicação de quantidades elevadas de nitrogênio (SILVA et al., 1999b), pois as condições de cultivo em ambientes protegidos são diferentes daquelas em campo a céu aberto, sobretudo com relação a perdas de nutrientes por erosão e lixiviação.

2.3 Salinidade do solo

Historicamente a salinização das áreas de produção agrícola resulta na substituição de culturas mais sensíveis por outras tolerantes, o que juntamente com as técnicas adequadas de manejo, têm possibilitado aos agricultores não apenas a utilização dessas áreas com problemas, mas também a obtenção de produções economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis.

A ação da salinidade do solo, que pode ir além de uma simples diminuição no potencial hídrico do solo até uma injúria celular causada por um estresse oxidativo na planta. O estresse

salino, induzido por manejo, é um fator progressivo de distúrbios fisiológicos nas plantas que afeta, em última instância a produção.

A salinidade altera a nutrição mineral das culturas, reduzindo a atividade dos íons em solução e alterando os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta. A interação entre salinidade e nutrição mineral torna-se mais complexa em virtude das diferenças na concentração e na composição iônica dos meios salinos.

Neste sentido, os sais solúveis da solução do solo, podem de uma maneira geral, afetar as plantas em todos seus estádios de desenvolvimento, sendo que em algumas culturas mais sensíveis isto pode variar dos primeiros estádios para os últimos (MAAS E HOFFMAN, 1977). Segundo Nery et al. (2009), as variáveis de crescimento são as que melhor expressa os efeitos da salinidade sobre as culturas.

A salinidade afeta em muitos aspectos o metabolismo das plantas, provocando mudanças anatômicas e morfológicas nas mesmas, como por exemplo, a cultura do maracujazeiro-amarelo, uma olerícola considerada sensível aos efeitos da salinidade (AYERS E WESTCOT, 1999), inclusive com efeitos diferenciados entre os de natureza direta ou indireta ao crescimento em altura, desenvolvimento radicular, floração, frutificação e qualidade de frutos.

A salinidade do solo provocada por sais fertilizantes tem um elevado potencial de agressividade sobre as plantas, por serem altamente solúveis, em elevadas concentrações tanto no solo como na planta e serem facilmente carreados para as áreas de maior consumo. Grandes esforços vêm sendo realizados por profissionais de várias áreas do conhecimento, no sentido de se avaliar, monitorar e manejar o efeito dos sais.

Este tipo de salinidade deve ter um manejo de forma diferenciada a fim de se evitar o desperdício de fertilizantes, a partir do monitoramento dos íons e da condutividade elétrica da solução do solo, sempre buscando um ponto ótimo de tolerância para as plantas, com o uso de equipamentos que determinem com precisão e rapidez para melhor eficiência da técnica. Solos afetados por sais podem ser explorados economicamente, desde que se adote um manejo adequado do sistema solo-água-planta (RHOADES et al.,1992).

A técnica do extrator de cápsula porosa é bastante eficiente para aferir e monitorar a salinidade a partir da solução do solo, por ser uma alternativa capaz de solucionar o problema de forma eficaz e a um baixo custo, principalmente se associado a determinações rápidas em campo; a solução pode ser extraída sem a destruição da unidade experimental, permitindo a continuidade

do estudo por longo período na mesma área e a condutividade elétrica do extrato pode ser corrigida pelo método padrão da pasta saturada em diferentes umidades do solo.

Segundo Silva et. al. (2000), o conhecimento da composição química da solução do solo, bem como da salinidade é importante para verificar a disponibilidade de nutrientes, determinar o potencial osmótico e até a presença de íons tóxicos, ao longo do ciclo de uma cultura.

Independente da origem do problema de salinidade, a tolerância de varias culturas a salinidade é convencionalmente expressa (MAAS E HOFFMAN, 1977) em termos de rendimento relativo (Y), o valor de salinidade limiar (SL), que é a salinidade máxima tolerada pela cultura sem reduzir o rendimento potencial da cultura, e decréscimos percentuais de produção (b) por unidade de aumento da salinidade acima da salinidade limiar, onde a salinidade do solo é expressa em termos de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), em dS m^{-1} .

Este uso da CEes para expressar o efeito da salinidade na produção implica no fato de que as plantas respondem primariamente ao potencial osmótico da solução do solo.

Grupos de tolerância relativa	Salinidade limiar (SL) (dS m^{-1})
Sensíveis	< 1,3
Moderadamente sensíveis	1,3 – 3,0
Moderadamente tolerantes	3,0 – 6,0
Tolerantes	6,0 – 10,0
Não adequado para a maioria das culturas	> 10,0

2.4 A cultura do tomate

O tomateiro tem como centro de origem a região andina, desde o Equador, passando pela Colômbia, Peru, Bolívia, até ao norte do Chile. Nessa área, crescem espontaneamente diversas espécies do gênero *Lycopersicon*. Quanto à sua domesticação, parece não haver dúvidas de que ocorreu no México. Na época da chegada dos espanhóis à América, o tomate já estava integrado à cultura asteca, sendo cultivado e consumido em uma ampla variedade de formas; era conhecido como “tomatl”, da língua natural do México naquela época, dando origem ao nome tomate (ALVARENGA, 2004).

No Brasil, evidências induzem a suposição de que a introdução do tomate ocorreu pela imigração européia, principalmente a portuguesa e a italiana, há mais de um século, iniciando-se

também atividades de melhoramento. O avanço da genética e o melhor conhecimento da herança de caracteres de interesse agrônômico têm proporcionado aos fitomelhoristas a oportunidade de desenvolver cultivares na forma de híbridos F1 com as mais variadas características, atualmente as mais plantadas em todo Brasil.

Uma fruta da classe das Dicotiledoneae, Ordem das Tubiflorae, Família das Solanaceae, Gênero dos *Lycopersicon* e Subgênero das *Eulycopersicon* e *Eriopersicon*. A Planta é arbustiva e perene, podendo se desenvolver de várias formas, com crescimento determinado ou indeterminado.

A versatilidade do seu uso contribuiu para a sua importância no mundo. É consumida crua, processada na forma de suco, molho, pasta e desidratado. Embora 95% seja água, o fruto é boa fonte de ácido fólico, vitamina C e potássio. Dos fitonutrientes, os mais abundantes são os carotenóides, sendo o licopeno (anti-oxidante) o mais destacado, seguido do carotenóides (pró-vitamina A) (FONTES, 2005).

O tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) é uma das hortaliças mais significativas cultivadas no Brasil (LUZ et al., 2007) por se tratar de uma das principais culturas exploradas em estufa plástica, resultando em frutos de excelente qualidade comercial garantindo, assim, um lucro maior.

O tomate de mesa é uma hortaliça de larga adaptação climática. Os fatores que influenciam na produção e desenvolvimento são principalmente a temperatura, a umidade do solo, a umidade atmosférica, o fotoperíodo e em casos mais severos a salinidade do solo.

Segundo Oliveira et al. (2007), os sais na água de irrigação reduzem, de forma significativa, a altura de plantas, área foliar, produção da biomassa seca da parte aérea, produção de frutos e a evapotranspiração da cultura do tomate.

Segundo a FNP CONSULTORIA E AGROINFORMATIVOS (2009), referindo-se ao ano de 2008, a produção de tomate para o sudeste foi de 1.558.099 Mg, representando 41% da produção no Brasil. Em relação a área colhida de tomate para o sudeste, esta foi de 23.081 ha, representando 38% da área plantada no Brasil. E finalizando, com o custo de produção de tomate em estufa, tem-se que para a região do sudeste foi de 7.812 R\$/350 m² /ano.

A produtividade e a qualidade estão diretamente relacionadas às condições edafoclimáticas de cada região, fazendo-se necessário, portanto, o domínio das condições edáficas e do conhecimento das necessidades hídricas das plantas nos seus diferentes estágios de crescimento.

Algumas tecnologias se adequaram a cultura do tomate, proporcionando a cultura estabilidade e aumento quantitativo e qualitativo na sua produção, como por exemplo, o uso da tecnologia da irrigação principalmente por gotejamento e da fertirrigação pelo intermédio de parcelamento das doses de nutrientes para cada fase da cultura.

A irrigação, uma prática atualmente indispensável à cultura do tomate, devido basicamente por ser altamente exigente em água, com consumo acima da média, procurando sempre evitar oscilações do teor de umidade do solo, evitando assim rachadura nos frutos, podridão apical, ocorrência de frutos ocos, queda de flores, além da redução no estabelecimento dos frutos, sendo tais efeitos de oscilações mais severos se a cultura estiver instalada em um ambiente relativamente salino.

Atualmente bastante difundida entre os horticultores de tomate de mesa, o uso da casa de vegetação ou ambiente protegido integrado no sistema de produção, chega a fazer parte dos custos iniciais de instalação da cultura, quando do objetivo de se produzir com qualidade e segurança, buscando produtos de alto valor de venda ou difícil de ser obtido em campo em períodos sazonais da cultura.

Segundo Sá et al. (2005), para obter maiores produtividades de frutos totais e comerciais e menor incidência de frutos com podridão apical na cultura do tomateiro em ambiente protegido, as irrigações devem ser realizadas quando as tensões de água no solo a 0,10 m de profundidade, estiverem em torno de 80 kPa. Segundo Branco et al. (2007), o CO₂ dissolvido na água de irrigação aumenta a produção de frutos comerciais na cultura do tomate.

2.5 Solução do solo

Segundo BRADY (1983), a solução do solo é excessivamente mutável, variando tanto no volume existente, quanto na proporção e quantidade de seus componentes solúveis, dependendo aí do tipo de solo e das condições de umidade.

A solução solo é a porção aquosa do solo que contém materiais dissolvidos provenientes dos processos químicos e bioquímicos do solo. Este meio transporta espécies químicas para as partículas do solo, mantendo um contato íntimo entre os solutos e as partículas do solo. Além de fornecer água para crescimento das plantas, é um meio essencial para a troca de nutrientes entre as raízes e o solo.

O material mineral dissolvido no solo está presente na forma de íons, como por exemplo, os cátions H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , e normalmente em quantidades menores de Fe^{2+} , Mn^{2+} , e Al^{3+} . Os últimos três cátions podem estar presentes parcialmente hidrolisados como $FeOH^+$, ou complexados através de substâncias ligantes de húmicos orgânicos.

O método do extrator de cápsula porosa é bastante utilizado para extração da solução do solo. Segundo Dias (2004) é possível, com auxílio dos extratores de solução por cápsulas porosas, monitorar a concentração total de íons na solução do solo e manter a salinidade em nível desejado, controlando a condutividade elétrica da solução extraída. Segundo Silva (2002), com o uso destes extratores é possível determinar a concentração de nitrato e potássio com excelente precisão na solução do solo.

O volume e a qualidade da solução do solo obtida com os extratores de cápsulas porosa tem sido tema de questionamento, principalmente com relação à intensidade do vácuo e o tempo em que a solução do solo entra em equilíbrio (BLANCO, 2004).

O conhecimento da composição da solução do solo pode ser de extrema importância, podendo principalmente aumentar a eficiência de disponibilidades dos nutrientes e auxiliar em programas de manejo de fertirrigação. A composição química da solução de solo varia em função do material de origem, pH, teor de matéria orgânica, adição de produtos químicos, das condições de oxidação-redução, do manejo do solo e também do clima (MEURER; ANGHINONI, 2004).

Porém na maioria dos casos, o monitoramento da solução do solo se baseia somente em quantificação da condutividade elétrica. Segundo Lima (2009), com o aumento da concentração iônica da solução aplicada ao solo, ocorre um aumento na condutividade elétrica da solução obtida. Segundo Silva (2002), o monitoramento a partir da condutividade elétrica da solução do solo permite evitar possíveis processos de salinização e deficiências nutricionais.

Mas que tais análises podem ser ampliadas, a partir do uso de testes rápidos para aferição do conhecimento do estado químico da solução do solo (JIMÉNEZ et al., 2006). O uso de testes rápidos na determinação da concentração de nitrato e potássio, na solução do solo permitem solucionar desequilíbrios nutricionais a partir de monitoramento ao longo do ciclo da cultura, auxiliando assim no manejo de fertirrigação de forma eficiente (SILVA, 2002).

Aplicações sucessivas de sais fertilizantes ao solo a partir da fertirrigação, modificam as concentrações dos íons na solução do solo e conseqüentemente nas plantas. Blanco et al. (2008), estudando diferentes doses de N e K no tomateiro sob estresse salino, concluiu que a

concentração de NO_3^- na solução do solo aumentou proporcionalmente às doses de N para todas as amostragens, enquanto a concentração de K só aumentou a partir da quarta coleta da solução do solo, fato atribuído à fixação do K no complexo de troca do solo.

Hoagland et al. (1920), demonstraram que a concentração química da solução do solo poderia ser elevada pela adição de sais solúveis e que os elementos adicionados seriam os mesmos a apresentar aumento na concentração.

A maioria dos ecossistemas naturais e agrários apresenta um ganho expressivo da produtividade após a incorporação do nitrogênio inorgânico na solução do solo, o que demonstra a importância desse elemento para as plantas (MALAVOLTA 1981). As principais fontes de N disponíveis na solução do solo para as plantas são o nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+).

As raízes das plantas absorvem a solução do solo juntamente com íons dissolvidos, constituindo-se em parâmetro produtivo direto para a cultura; é fundamental sabê-la como base para o manejo da fertirrigação (LAO et al., 2004).

Alem dos íons, outra determinação importante é o pH da solução do solo, por ser um importante indicador das condições químicas, por possuir capacidade de interferir na disposição de vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal, favorecendo ou não suas liberações.

Segundo BRADY (1983), o pH quando em condições muito ácidas, isto é abaixo de 4,5, pode resultar em dissolução de alguns elementos como ferro, alumínio e manganês, em proporções tais que, podem tornar-se tóxicos, dificultando o desenvolvimento de algumas plantas. Quando o pH se encontra muito elevado, isto é acima de 8,0 o ferro, o manganês e o zinco se tornam menos assimiláveis ao vegetal, também interferindo em seu desempenho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição experimental

O trabalho foi realizado em laboratório e em estufa, no Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP. Inicialmente, foram realizados testes preliminares que possibilitaram a construção de curvas de salinização artificiais do solo, visando direcionar o processo de salinização. Posteriormente, foi conduzido o experimento em campo, com o intuito de estudar os efeitos de diferentes níveis iniciais de salinidade do solo ($S1 = 1,0$; $S2 = 2,0$; $S3 = 3,0$; $S4 = 4,0$; $S5 = 5,0$ e $S6 = 6,0$ $dS\ m^{-1}$), por meio da aplicação de sais fertilizantes, e de dois tipos de manejo de fertirrigação ($M1 =$ tradicional e $M2 =$ com controle da condutividade elétrica da solução do solo), no crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do tomate, cultivada em estufa e em solo franco-argiloso.

3.2 Construção da curva de salinização artificial

Esta etapa constou de ensaios que visaram obter curvas que relacionassem condutividade elétrica em função da concentração de sais fertilizantes. A proporção, bem como os tipos de sais, estão expostos na Tabela 1. Como relação inicial entre a condutividade elétrica da solução (CE_s) e os totais de sais dissolvidos, nas proporções desejadas de fertilizantes, utilizou-se a equação de Richards (1954) ($C = CE_s k$), sendo k igual a 640; C representa a concentração dos sais fertilizantes ($mg\ L^{-1}$) e CE_s a condutividade elétrica da solução ($dS\ m^{-1}$).

Utilizaram-se diferentes soluções de concentrações conhecidas e preparadas a partir da diluição, em balões de 100 mL, de um padrão de $6.400\ mg\ L^{-1}$, totalizando 21 soluções. A concentração dessas soluções variaram de 0 até $6.400\ mg\ L^{-1}$, com intervalos de $320\ mg\ L^{-1}$, o que corresponde, respectivamente, às salinidades teóricas variando de 0 até $10\ dS\ m^{-1}$, com intervalos de $0,5\ dS\ m^{-1}$. A amostra em branco ($0\ mg\ L^{-1}$), correspondeu à condutividade elétrica da água de abastecimento da ESALQ sem a adição de fertilizantes.

A partir da condutividade elétrica das 21 soluções, originou-se uma segunda equação que relaciona a concentração dos sais fertilizantes utilizados com a condutividade elétrica, sendo esta equação utilizada para calcular novas concentrações e, conseqüentemente, outras soluções que iriam ser aplicadas no solo para obtenção de níveis de salinidade desejados.

Foram coletadas amostras de solo, que foram peneiradas, secas ao ar e acondicionadas em vasos de 50 L, tendo em sua base perfurada uma camada de 2 cm de brita zero e manta geotextil,

resultando em uma camada de solo de 200 mm. O material de solo utilizado foi oriundo de um perfil classificado como Litossolo, textura franco-argiloso. As propriedades químicas e físicas desse solo foram analisadas, conforme a metodologia da Embrapa (1997) (Tabela 2 e 3).

Tabela 1 - Sais fertilizantes utilizados nos manejos de fertirrigação (M1 e M2), com as respectivas proporções que foram aplicadas sobre as concentrações obtidas nas curvas de salinização, visando atingir os níveis desejados de salinidade do solo

FERTILIZANTES	Solubilidade (g L ⁻¹ a 20°C)	Índice Salino (1,0 g/l a 25°C)	Proporção (%)
Nitrato de Cálcio	1.200	82,25	42
Nitrato de Potássio	327,58	99,47	32
Fosfato Monoamônico	361,29	68,06	3
Fosfato Monopotássico	238,53	55,6	11
Sulfato de Potássio	123,8	112,94	4
Sulfato de Magnésio	500	91,45	8

Tabela 2 - Caracterização química do solo

Ph	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	S.B.	CTC	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³						(%)
5,1	27	6	6,9	29	11	28	46,9	74,9	63

A umidade do solo acondicionado nos vasos foi elevada até a máxima capacidade de retenção, a partir de soluções oriundas da segunda correlação entre C e CEs, com o objetivo de obter seis níveis de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}: 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 dS m⁻¹), com 3 repetições.

Tabela 3 - Características físicas do solo

Granulometria (%)			Textura	Densidade (g cm ⁻³)	
Argila	silte	Areia	Franco	global	partículas
41,23	13,68	45,09	Argilosa	1,25	2,35

Após três dias da adição das soluções salinas, foram retiradas amostras de solo dos vasos na camada de 0 a 20 cm, para confecção de pastas saturadas (método padrão para determinação da condutividade elétrica da solução do solo), conforme metodologia proposta por Richards (1954). A curva de salinização foi então construída, obtendo-se uma terceira equação por meio de um

diagrama de dispersão, onde foram plotados os valores de CE_{es} encontrados versus as quantidades de sais aplicadas.

O valor da concentração final de fertilizantes (C_f) aplicada ao solo, necessário para se obter os níveis de CE_{es} desejado, foi corrigida pela umidade de saturação utilizando a relação apresentada na equação (1):

$$C_f = \frac{U_s}{U_{cc}} C_i \quad (1)$$

em que:

C_f - concentração final de fertilizantes na solução salina, $mg L^{-1}$;

C_i - concentração de adubos, com base na curva de salinização construída na etapa anterior, $mg L^{-1}$;

U_s - umidade da pasta saturada, $g g^{-1}$; e

U_{cc} - umidade do solo na máxima capacidade de retenção, $g g^{-1}$.

3.3 - Construção da curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo foi construída para tensões de até 70 kPa (Figura 1), utilizando-se vasos plásticos preenchidos com o solo utilizado no projeto, a partir de um controle feito por gravimetria. Utilizaram-se tensiômetros em 5 vasos (repetições); o solo foi saturado de baixa para cima, por imersão em água e, posteriormente, seco por drenagem livre de 48h, atingindo a capacidade de campo; o solo foi isolado da atmosfera por um plástico, com a finalidade de evitar a evaporação.

Após as 48h, o plástico foi retirado, e durante o processo de secagem, foram realizadas leituras tensiométricas e de pesagem, utilizando uma balança digital de capacidade máxima de 50 kg. Foram coletadas amostras de solo para determinação da umidade, no início e no final das pesagens, possibilitando assim a obtenção da umidade do solo durante todo o período secamento.

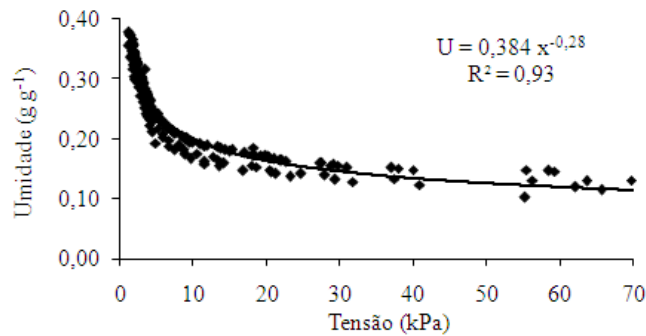


Figura 1 - Curva característica de retenção de água do solo

3.4 – Experimento em campo

3.4.1 - Descrição da estrutura experimental

O experimento foi conduzido em estufa plástica (reformada), com cobertura em arco, medindo 6,40 m de largura e 22,5 m de comprimento, sendo as paredes laterais e frontais confeccionadas com telas anti-afídeos e rodapé de 0,30 m em concreto armado. As plantas foram acondicionadas em vasos de 25 L, contendo o solo já descrito, seco ao ar e peneirado, atingindo densidade global de cerca de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$.

3.4.2 - Tratamentos e delineamento estatístico

Os tratamentos ministrados à cultura do tomate, foram compostos pela combinação de dois fatores: salinidade inicial do solo com seis níveis ($S_1 = 1,0 \text{ dS m}^{-1}$; $S_2 = 2,0 \text{ dS m}^{-1}$; $S_3 = 3,0 \text{ dS m}^{-1}$; $S_4 = 4,0 \text{ dS m}^{-1}$; $S_5 = 5,0 \text{ dS m}^{-1}$ e $S_6 = 6,0 \text{ dS m}^{-1}$) e dois tipos de manejo de fertirrigação ($M_1 =$ tradicional e $M_2 =$ com controle da condutividade elétrica da solução do solo). O delineamento estatístico adotado foi o de blocos casualizados completos, com quatro repetições, ficando os fatores estudados arranjados no esquema fatorial 6×2 .

Os 12 tratamentos propostos foram dispostos em 48 parcelas, ou seja, 48 vasos de 25 L espaçados de 0,5 m entre plantas e 1,2 m entre linhas. Foi implantadas duas linhas de plantio, cada uma junto as tela lateral da estufa, e também uma no início e outra depois das 48 parcelas, as quais funcionaram como bordadura (Figura 2).

Os diferentes níveis de salinidade inicial do solo visaram simular processos de salinização por sais fertilizantes em ambiente protegido, possivelmente encontrados quando detectado o problema por agricultores. O estudo com estes níveis possibilita verificar os efeitos da salinização na redução do crescimento, desenvolvimento, produção e qualidade de frutos, além de permitir

avaliar a eficiência do extrator de solução, quando associado ao segundo tipo de manejo de fertirrigação (M2), para o controle da salinização do solo.

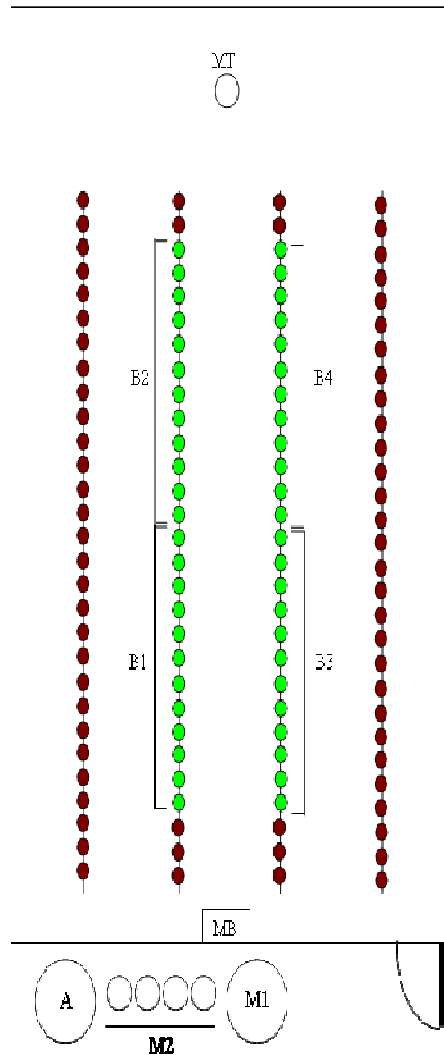


Figura 2. - Croqui da área experimental localizado dentro da estufa

Os manejos de fertirrigação propostos, quais sejam, o tradicional, preestabelecido com base na marcha de absorção de nutrientes pela cultura (M1) e recomendado por Alvarenga (2004), e o preventivo, baseado no controle da condutividade elétrica da solução do solo (M2), permitiram contrastar seus efeitos sobre o comportamento dos nutrientes, quanto a sua disponibilidade e potencial de salinização do solo.

3.4.3 - Salinização do solo

A salinização inicial do solo foi efetuada por meio da aplicação de solução salina para todos os níveis, independente do tipo de manejo de fertirrigação, com a quantidade de sais (fertilizantes), determinada pela curva de salinização artificial. A quantidade de água foi a necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo (CC). Após a adição da solução, foram retiradas amostras de solo para aferir a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes). Durante todo o ciclo da cultura, os valores de CEes foram periodicamente avaliados e corrigidos para o manejo M2, utilizando uma fórmula de mistura de soluções (Equação 3); no caso do manejo M1, a avaliação da CEes objetivou apenas o acompanhamento da evolução da salinidade.

$$CE_c = \frac{(V_{cc} CE_{esd}) - (V_a CE_a)}{V_r} \quad (3)$$

em que:

CE_c - Condutividade elétrica da solução de correção para se atingir a CEes, $dS\ m^{-1}$.

V_{cc} - Volume de água armazenado no solo na capacidade de campo, L;

CE_{esd} - Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo desejada, $dS\ m^{-1}$;

V_a - Volume atual de água armazenado no solo, L;

CE_a - Condutividade elétrica atual da solução do solo, $dS\ m^{-1}$; e

V_r - Volume de água no solo necessário para se atingir a capacidade de campo, L.

3.4.4 - Plantio e condução das plantas

A cultivar de tomate utilizada foi a Débora Plus, do grupo Santa Cruz, escolhida mediante pesquisa entre os agricultores do Estado de São Paulo que utilizam o cultivo protegido como ambiente de produção, tendo assim o propósito de resolver possíveis problemas existentes entre os agricultores.

O solo foi seco ao ar e peneirado em malha de 2 mm, acondicionado em vasos plásticos de 25 L, os quais eram perfurados e providos de um sistema de drenagem na parte inferior, com 3 cm de brita nº 1 e manta geotextil.

Foram utilizadas em um único momento, duas estufas, sendo as mudas preparadas em bandejas de isopor com 168 células, utilizando-se uma semente por célula. O transplante ocorreu 18 dias após a semeadura, quando as mudas se encontraram com 4 folhas definitivas, com uma muda por vaso. No interior da estufa, foram instalados mourões de madeira e concreto que auxiliaram no tutoramento vertical, com arames número 14 esticados na horizontal a 0,30 e 2,00 m de altura.

Após o plantio e com o desenvolvimento da cultura, realizou-se a eliminação dos brotos laterais com o intuito de manter somente um ramo principal até mais ou menos 2,00 m de altura, que foi despontado paralisando assim o crescimento vertical.

Semanalmente foi realizado controle fitossanitário preventivo, utilizando produtos e doses adequadas ao nível da infestação e certificação junto ao ministério da agricultura, como também, a eliminação de plantas que apresentaram sintomas característicos de doenças ou pragas, com o objetivo de manter o stand sempre livre de possíveis infestações.

As colheitas foram realizadas a partir da observação e existência de frutos maduros; que eram coletados em sacos de papel e levados ao laboratório para análises. Durante o ciclo, foram aplicadas, via foliar, doses de micronutrientes e cálcio, com pulverizações semanais.

Todas as práticas descritas foram realizadas com o objetivo de caracterizar de melhor forma possível o efeito da salinidade do solo causada por excesso de fertilizantes sobre a cultura do tomate, cultivado em ambiente protegido e em solo franco-argiloso.

3.4.5 - Manejo da irrigação

Foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento, utilizando emissores do tipo autocompensante, com vazão nominal de 4 L.h^{-1} , os quais foram previamente avaliados em campo, sob condições normais de operação. Os gotejadores foram acoplados (on-line) às linhas de irrigação (tubos de polietileno 16 mm), com registros instalados que permitiam aplicar o volume de água diferenciado por tratamento, condição excelente para o manejo M2, evitando possíveis contaminações salinas.

O manejo de irrigação foi efetuado com base em dados de umidade do solo, obtidos com tensiômetros instalados a 0,15 m de profundidade, com o auxílio da curva característica de retenção de água no solo, dados da análise física do solo e da capacidade de contêiner dos vasos.

A quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação foi sempre a suficiente para elevar a umidade à capacidade de campo. Sendo aplicadas em cada irrigação, 12 diferentes lâminas de água, em função dos 12 tratamentos propostos.

3.4.6 – Manejo da adubação

A aplicação dos fertilizantes foi feita via água de irrigação, sendo os tratamentos diferenciados em função dos manejos de fertirrigação M1 e M2. O manejo M1 baseou-se na marcha de absorção da cultura proposta por Alvarenga (2004), com os seguintes valores totais para adubação de 1.000 plantas de tomateiro, via fertirrigação: N = 35 kg, P = 28 kg, K = 75 kg e Ca = 40 kg. Por meio da estimativa de consumo da água ao longo do ciclo, efetuou-se uma programação prévia da fertirrigação. A frequência da fertirrigação foi semanal, de acordo com o que foi sugerido pelo autor.

Para os tratamentos referentes ao manejo M2, inicialmente foi utilizada a mesma recomendação do manejo M1, entretanto, posteriormente não foi preestabelecida a frequência nem a quantidade dos fertilizantes a serem aplicados. A fertirrigação só foi realizada quando a condutividade elétrica na solução do solo encontrava-se, em média 10% abaixo dos níveis iniciais de salinidade do solo para cada tratamento. A quantidade de fertilizantes aplicada era aquela calculada para que a solução do solo se mantivesse no nível de CE inicial (1, 2, 3, 4, 5 ou 6 dS m⁻¹). Quando não era necessário aplicar fertilizantes, a irrigação era realizada apenas com água.

3.4.7 - Extração da solução do solo

O principal objetivo da avaliação periódica da solução do solo, era caracterizar a salinidade do solo, via aferição da condutividade elétrica em laboratório, permitindo assim a implementação do manejo de fertirrigação M2.

Para obtenção do extrato, era aplicado um vácuo de aproximadamente 80 kPa nos extratores de cápsula porosa 6h após o evento da irrigação, obtendo uma quantidade considerável de solução do solo, retirada após 24 horas do evento do vácuo, momento em que era verificada a umidade do solo. As cápsulas dos extratores foram instaladas a uma profundidade de 0,15 m da superfície do solo e a uma distância de 0,05 m da planta, em todos os tratamentos.

Os valores de condutividade elétrica, determinados mediante medição realizada na solução extraída, foram corrigidos para a umidade de saturação conforme equação (4).

$$C_{estimada\ cp} = \frac{C_{cp} U_{cp}}{U_s} \quad (4)$$

em que:

$C_{estimada\ cp}$ - condutividade elétrica ou concentração de íons no extrato de saturação, estimada a partir dos valores medidos na solução do solo obtida com extrator de cápsula, $dS\ m^{-1}$ ou $mmol_c\ L^{-1}$;

C_{cp} - condutividade elétrica ou concentração de íons na solução do solo, obtida com extrator de cápsula porosa, $dS\ m^{-1}$ ou $mmol_c\ L^{-1}$;

U_{cp} - umidade do solo, estimada via tensiometria, no momento da aplicação do vácuo, no extrator de cápsula porosa, $g\ g^{-1}$; e

U_s - umidade do solo na pasta saturada, $g\ g^{-1}$.

3.4.8 – Determinação do nitrato (NO_3^-)

Utilizando um potenciômetro com medições em milivoltz e com um eletrodo de íon-seletivo para nitrato (NO_3^-), é possível determinar as concentrações de tal íon, em soluções aquosas extraídas, e expressar o resultado em $mg\ L^{-1}$.

As aferições do nitrato da solução extraída do solo, ocorreram semanalmente junto com a aferição da condutividade elétrica e do pH do solo.

Também foi determinado o teor de nitrato das folhas do tomate na fase produtiva. As folhas eram retiradas de forma a garantir uma amostra representativa (duas folhas da parte inferior, duas da parte intermediária e duas da parte superior da planta); as folhas foram maceradas para obtenção do extrato da seiva.

3.4.9 – Análises realizadas

- Diâmetro do caule: medido a um centímetro de altura em relação à superfície do solo, com o auxílio de um paquímetro digital; semanalmente até os 80 DAT.

- Altura das plantas: medidas da superfície do solo até o ponteiro da planta, com frequência semanal, até a poda apical.

- Número de folhas: contagem do número de folhas, com frequência semanal, até a poda apical.
- Produção e componentes da produção: número de frutos por planta, produção comercial e total de frutos.
- Qualidade dos frutos: pH e °Brix; ambos obtidos a partir do extrato da polpa liquidificada.
- Produção de biomassa seca das plantas: medida no final do ciclo, para folhas e caule.

3.4.10 – Análise estatística

As variáveis foram analisadas estatisticamente pelo teste de F, desdobrando as análises sempre que a interação foi significativa. O fator quantitativo, relativo aos níveis iniciais de salinidade do solo, foi analisado estatisticamente por meio de regressão (linear ou quadrática), visando o ajuste de equações a fim de correlacionar a condutividade elétrica da solução do solo, com os fatores estudados. O fator manejo da fertirrigação foi analisado mediante teste de comparações de médias, em nível conveniente de probabilidade.

Fontes de variação	ESTATÍSTICA F Variável Resposta
- Salinidade (S)	
Linear	
Quadrática	
- Manejo (M)	
(S) x (M)	
CV (%)	
 Manejos (médias)	
M1	
M2	

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Curva de salinização artificial do solo

A partir dos dados iniciais, foi possível gerar uma equação, por regressão linear, simples que estimou as quantidades de fertilizantes necessárias a serem adicionadas, com a finalidade de obter uma condutividade elétrica desejada na solução. A equação encontrada foi do tipo $Y=ak + b$ com o valor de k (constante) igual a 1087 e o valor de b igual a 0,473, com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,98$, divergindo assim da equação original proposta por Richards (1954). O valor de b representa a condutividade elétrica da água do abastecimento. Segundo Dias (2004), a equação da curva de salinização artificial depende do tipo e das proporções dos sais.

Após confecção de soluções salinas e aplicação destas no solo, obteve-se os resultados entre CEes esperada e a CEes desejada (Figura 3), evidenciando que é necessário de 48 a 61% a mais de fertilizantes a ser aplicado, do menor para o maior nível de salinidade, respectivamente, para obtenção de níveis desejados de salinidade do solo. Segundo Medeiros (2007), utilizando solo arenoso, este aumento na quantidade de fertilizantes no maior nível foi de 30%. Este fato se deve, basicamente, a capacidade tampão do solo, que tem o poder de neutralizar possíveis sais presentes na solução do solo, podendo ocorrer em qualquer tipo de solo, principalmente em solos com alto percentual de argila.

De acordo com Richards (1954), o teor e o tipo de argila predominante no solo podem agir como interferentes na concentração de íons na solução e, conseqüentemente, no valor da CEes.

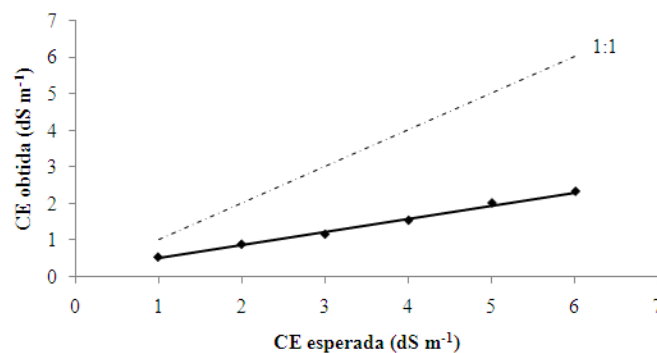


Figura 3 - Relação entre a CEes esperada e a CEes obtida após a adição dos fertilizantes

Na Figura 4, pode-se observar a curva de salinização artificial, em função das concentrações dos sais fertilizantes. Verifica-se boa correlação ($R^2 = 0,99$) entre a concentração

de sais e a CEes do solo, permitindo, assim, estimar a quantidade de sais a serem aplicados ao solo, com a finalidade de obter um nível de condutividade elétrica no extrato de saturação.

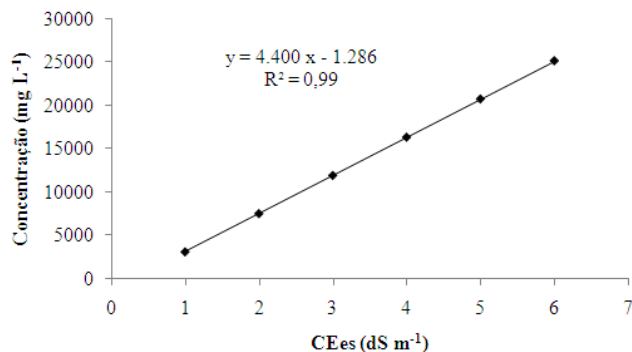


Figura 4 - Curva de salinização artificial, relacionando a concentração dos sais fertilizantes aplicados via água de irrigação e a CEes

4.2 Experimento em campo

4.2.1 Salinização artificial do solo

Realizou-se a salinização artificial do solo em cada parcela experimental, antes do plantio, com a aplicação de uma lâmina de água com fertilizantes (solução), tendo como base os resultados obtidos na curva de salinização, e com posterior aferição da condutividade elétrica da solução do solo, com o uso de extratores de cápsula porosa. Os valores de CEes (condutividade elétrica do extrato de saturação) obtidos ficaram bastantes próximos dos desejados (Figura 5).

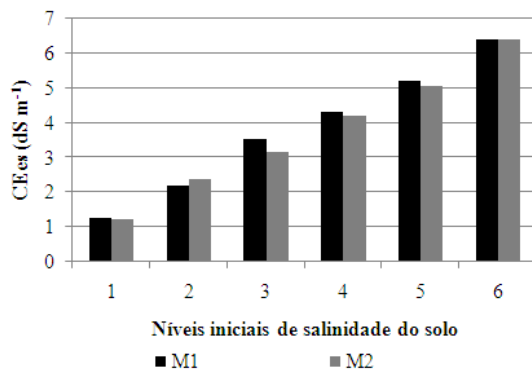


Figura 5 - Valores médios de CE medidos no extrato de solução do solo, para os diferentes níveis de salinidade

4.2.2 - Dados climáticos

O tomate é uma cultura de larga adaptação climática, podendo a temperatura variar entre 10°C a 35°C no ambiente. Mas, para casos mais críticos, acima dos 35°C, é possível ter danos no seu desenvolvimento e produção, como por exemplo, queda de flores, abortamento, queima de frutos, clorose das folhas, prejuízo na polinização e menor aproveitamento de nutrientes (ALVARENGA, 2004).

A Figura 6 apresenta o comportamento da temperatura no interior do ambiente protegido, durante o ciclo da cultura. Observou-se um percentual de 31% de temperaturas iguais e/ou acima dos 35°C para o período analisado, com média de 32,5°C em temperaturas máximas, 19,5°C em temperaturas mínimas e media geral de 24,7°C. E uma diferença de temperatura de 13°C entre diurna e noturna.

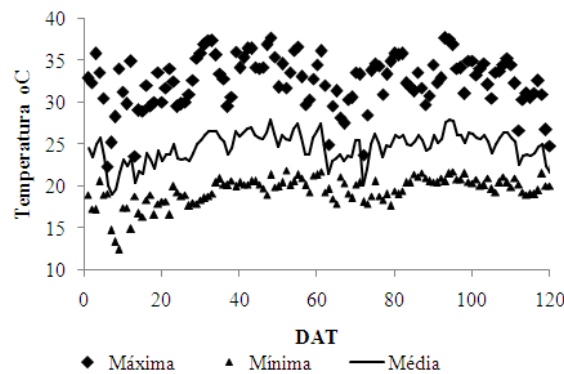


Figura 6 - Variação das temperaturas máxima, mínima e média do ar no interior de ambiente protegido para todo o ciclo da cultura do tomate

A Figura 7 apresenta a variação da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido, onde observa-se que 91 das 122 medições médias dos valores de umidade relativa do ar estão acima dos 70%.

O valor médio ideal de umidade relativa do ar deve ser de 50 a 70 %, considerada adequada para o desenvolvimento do tomateiro em ambiente protegido (LOPES; STRIPARI, 1998), pois nestas condições, ocorre redução dos problemas fitossanitários e aumento da produtividade (MAKISHIMA; CARRIJO, 1998). No geral, as médias foram de 94,9 e 52,5% de umidade relativa do ar, para a máxima e a mínima respectivamente.

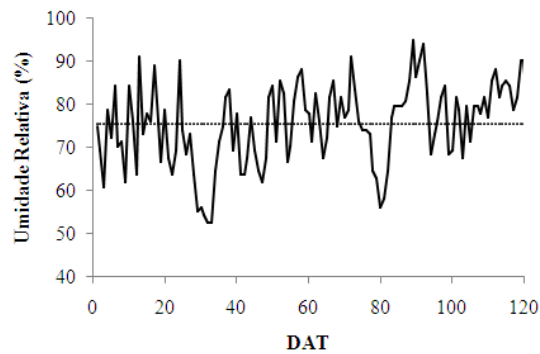


Figura 7 - Variação da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido para todo o ciclo da cultura

Quando se associa temperatura com a umidade relativa dentro do ambiente protegido, os danos sobre a cultura podem-se potencializar; baixa umidade relativa do ar e a ocorrência de altas temperaturas provocam aumento da taxa de transpiração, fechamento de estômatos, redução da taxa de polinização, abortamento de flores e, conseqüentemente, menor produção. Por outro lado, caso ocorra um vazamento no sistema de irrigação dentro do ambiente protegido, que aumente a umidade relativa do ar, o ataque de pragas e doenças podem ser severos.

4.2.3 - Monitoramento da salinidade do solo

O método de medição da condutividade elétrica a partir da solução do solo, obtida com extrator de cápsula porosa é bastante eficiente, devido a sua facilidade, versatilidade e praticidade. Pode ser facilmente utilizado a nível de campo, ajudando a prevenir possíveis processos de salinização ou manutenção de um nível ótimo de salinidade.

Com a utilização de extratores providos de cápsulas porosas usados na extração de solução, foi possível determinar a concentração de íons e condutividade elétrica com elevada precisão (LIMA, 2009).

Sob condições protegidas, o monitoramento da concentração de íons na solução do solo, nos quais a salinidade apresenta valores inferiores ao máximo tolerado pela cultura e superiores ao mínimo necessário para sua nutrição, torna-se uma boa opção, por ser mais econômica e menos agressiva ao meio ambiente, sendo recomendada para o controle dos efeitos da salinização (SILVA, 2002).

A Figura 8 apresenta os valores de condutividade elétrica da solução do solo, estimadas por meio da correção dos valores de CE da solução extraída para a umidade atual do solo. A Figura

8(A) representa o comportamento dos valores de CEes quando se pratica o manejo tradicional de fertirrigação para a cultura do tomate em solo franco-argiloso.

Observa-se uma tendência de equilíbrio, que se dá em razão do fato de que apenas parte dos sais fertilizantes, incorporados via água de irrigação, ficam no solo, pois uma parte é absorvida pelas plantas para atender as suas necessidades, ou ainda, torna-se insolúvel mediante a precipitação, quer por reações químicas ou por atingir limites de solubilidade na solução do solo (DIAS, 2004).

A Figura 8(B) representa o comportamento os valores de CEes quando se pratica o manejo de fertirrigação com controle da condutividade elétrica do solo utilizando solo franco-argiloso. A manutenção dos níveis iniciais de salinidade ocorreu devido ao monitoramento e correção da condutividade elétrica da solução do solo, durante todo o ciclo da cultura.

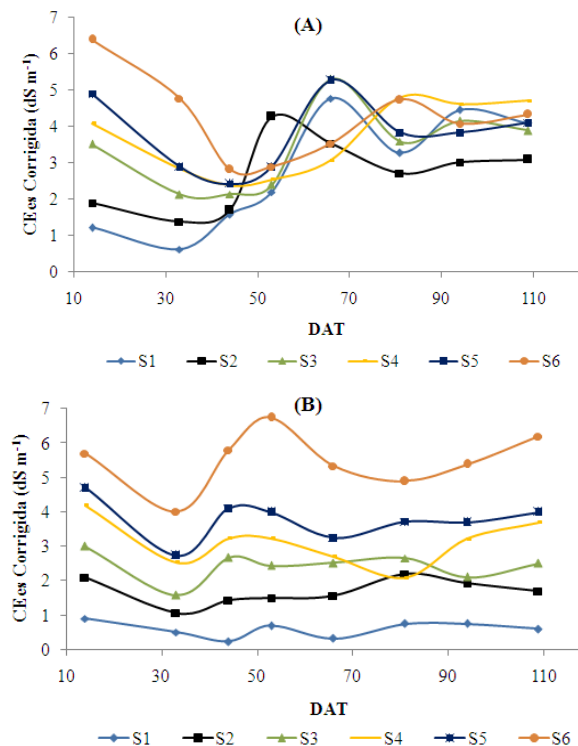


Figura 8 - Valores de condutividade elétrica do solo para os tipos de manejo de fertirrigação M1 (A) e M2 (B)

4.2.4 Umidade do solo e manejo da irrigação

A cultura do tomate é muito sensível à falta de água; geralmente o déficit hídrico prolongado e severo limita o crescimento e reduz a produtividade. A demanda máxima de água

ocorre durante o período de floração e crescimento dos frutos (início da segunda fase de desenvolvimento). A prática da irrigação é indispensável à cultura, sendo uma das hortaliças mais exigentes em água (ALVARENGA, 2004).

O consumo hídrico da cultura diferiu ao nível de 1 e 5% de probabilidade entre os níveis de salinidade do solo e na interação dos fatores, respectivamente. O tipo de manejo de fertirrigação não diferiu estatisticamente. Na quantificação da precisão do experimento, o coeficiente de variação (CV) foi de 15,28% sobre os dados coletados (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise da variância para a variável consumo hídrico (L) submetido a diferentes níveis de salinidade do solo e tipos de manejo de fertirrigação

Fontes de variação	ESTATÍSTICA F
	Consumo Hídrico
- Salinidade (S)	15,77 ^{**}
Linear	61,24 ^{**}
Quadrática	6,65 [*]
- Manejo (M)	4,05 ^{ns}
(S) x (M)	2,60 [*]
CV (%)	15,28
Manejos (médias)	
M1	126,26a
M2	115,52a

* e ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Na Figura 9, observa-se o ajuste estatístico para a variável consumo hídrico da cultura do tomate, submetido a diferentes níveis de salinidade do solo, provocados por sais fertilizantes. Com o incremento de uma unidade no nível de salinidade do solo, causado por sais fertilizantes, ocorre um decréscimo linear de 17% na variável analisada.

Entre os manejos de fertirrigação, obteve-se uma diferença de 8,5% na média geral, devido, possivelmente, a elevada capacidade de retenção de umidade do solo, principalmente quando associado aos sais fertilizantes. Evidencia-se, assim, que em solos salinos, a disponibilidade do recurso água poderá ser a mesma entre tipos de manejo de fertirrigação. Porém, entre níveis de salinidade do solo, o consumo de água será alterado em se tratando de níveis diferentes. No presente estudo, com o manejo de fertirrigação M2, tal diferença entre 1,0 e 6,0 dS m⁻¹ de salinidade do solo foi de 11,5% sobre o total consumido no geral; no manejo de fertirrigação M1, esta diferença foi de 5,0%.

O excesso de sais afeta as plantas, em razão do aumento de energia que as mesmas precisam gastar para absorver água do solo, e ao ajustamento bioquímico necessário para sobreviver sob estresse (RHOADES et al., 1992).

Na Tabela 5, apresentam-se os valores médios referentes à significância estatística da interação entre a salinidade do solo e o tipo de manejo de fertirrigação. Inicialmente, entre os manejos de fertirrigação, os únicos níveis de salinidade que apresentaram diferença foram S5 e S6, com diferenças percentuais de 20 e 40% respectivamente. Já entre os níveis de salinidade do solo, o nível S6 foi o único a diferir no manejo M1; no manejo M2, observa-se uma diferença mínima entre os níveis S1, S2 e S3, como também entre os níveis S4 e S5. No geral verifica-se uma diminuição no consumo de água com o aumento do nível de salinidade do solo, o que já foi antecipadamente explicado com a Figura 9.

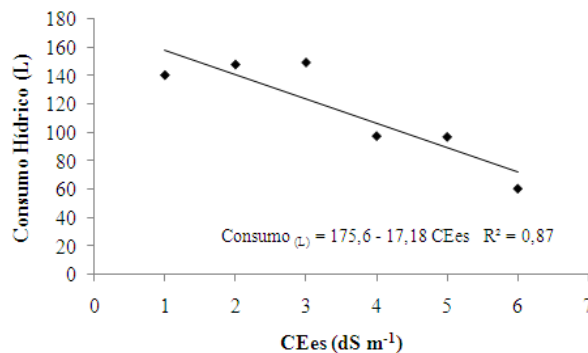


Figura 9 - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para o consumo hídrico da cultura do tomate em função dos níveis de salinidade do solo

Tabela 5 - Valores médios da variável consumo hídrico (L) entre o tipo de manejo de fertirrigação e os níveis de salinidade do solo

Níveis de Salinidade	Consumo Hídrico	
	M1	M2
S1	136,6Aa	140,4Aa
S2	144,0Aa	147,8Aa
S3	136,5Aa	149,2Aa
S4	112,3Aa	97,7Ab
S5	127,8Aa	97,1Bb
S6	100,3Ab	60,9Bc

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

O consumo de água correlaciona-se inversamente com a umidade do solo, podendo a umidade interferir diretamente na salinidade. Com isso, foi possível relacionar a umidade do solo atual ($U_{g\ g^{-1}}$) com a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) (Figura 10). Pode-se observar boa correlação (R^2), o que permite estimar a CEes ($dS\ m^{-1}$) a partir de dados de umidade do solo ($U(g\ g^{-1})$), funcionando como uma ferramenta de rápida averiguação e praticidade.

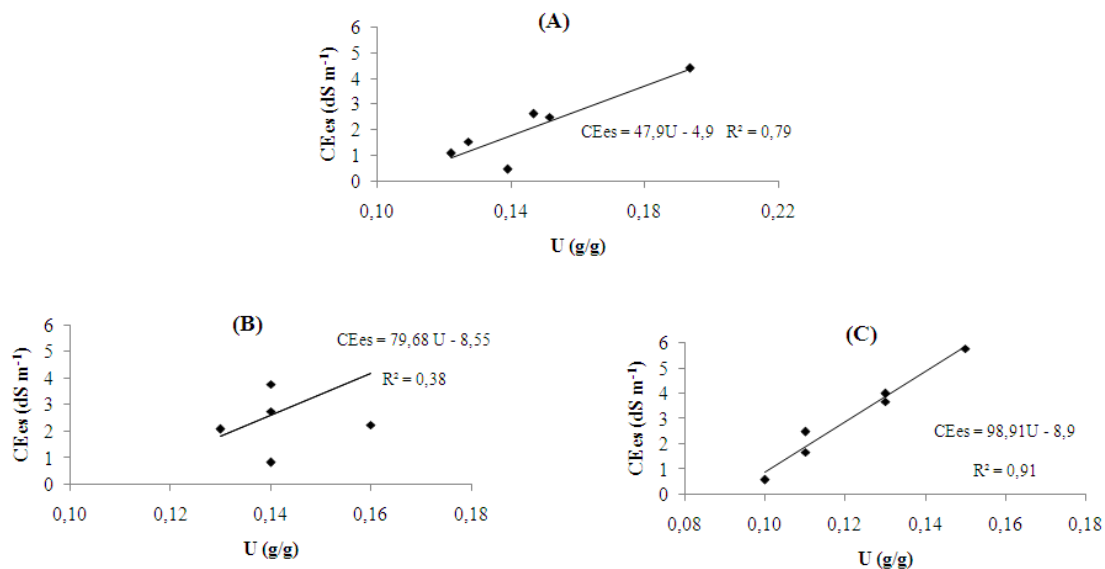


Figura 10 - Representação de relações entre a condutividade elétrica do extrato de saturação corrigida e a umidade do solo em 35 DAT (1ª fase da cultura), 77 DAT (2ª fase da cultura) e 126 DAT (3ª fase da cultura)

A partir desta tendência, observa-se que o aumento da umidade do solo se deve a um menor consumo de água pela cultura, devido ao aumento da salinidade do solo. Este fato estar relacionado ao método de aferição da salinidade do solo por extratores de cápsula porosa que identifica a salinidade que esta em solução, e não a que se encontra nos colóides do solo.

Segundo Miranda et. al. (2006), no geral, a concentração de alguns íons na solução do solo pode aumentar no final do período de estiagem; a solução de solo mostra-se sensível aos efeitos advindos do uso e manejo do solo, constituindo uma técnica adequada para monitorar o efeito das atividades antrópicas nos diversos ecossistemas.

4.2.5 Nutrição das plantas

O conceito moderno de agricultura sustentável pressupõe basicamente, entre outros, a aplicação racional de fertilizantes na busca da preservação do meio ambiente. A adubação química do tomateiro deve ser orientada de acordo com os resultados da análise do solo, com o tipo de solo, com o sistema de condução, com o método de irrigação e com o potencial de produção da cultivar a ser plantada (ALVARENGA, 2004). Essas orientações devem ser mais exploradas quando se tratar de solos com elevados teores salinos e de argila.

A fertirrigação, ou seja, a aplicação de fertilizantes via água de irrigação, principalmente fertilizantes minerais, quando feita via gotejamento ou microaspersão, é a forma que mais se aproxima do ritmo de absorção de água e de nutrientes pela planta (VILLAS BOAS et al., 2000). Na Tabela 6 é apresentada a recomendação dos macronutrientes a ser aplicados, em função da fase de desenvolvimento da cultura do tomate, e que foi utilizada no manejo M1 de fertirrigação.

Tabela 6 - Quantidades de nutrientes (g planta^{-1}) para manutenção nutricional em função do estágio de desenvolvimento do tomateiro (Alvarenga, 2004) utilizadas no manejo de fertirrigação M1

N	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mg	S
Acumulado para a primeira Fase (37 DAT)					
7,0	10,0	7,0	14,0	1	3
Acumulado para a segunda Fase (77 DAT)					
12,0	10,0	20,0	14,0	5	11
Acumulado para a terceira Fase (126 DAT)					
16,0	20,0	48,0	0	3	5

N – Nitrogênio; CaO – Cálcio; K₂O – Potássio; P₂O₅ – Fósforo; Mg – Magnésio; S - Enxofre

A Tabela 7 apresenta a quantidade de macronutrientes aplicados no manejo de fertirrigação M2, em função do nível de salinidade do solo. O cálculo da quantidade de fertilizantes aplicados foi realizado a partir da equação que relaciona condutividade elétrica (dS m^{-1}) com a concentração da solução (mg L^{-1}), obtida na curva de salinização artificial.

É importante relatar que, a primeira fase, compreende as semanas de 1 a 5, a segunda fase compreende as semanas 6 a 11 e, finalmente a terceira fase compreende as semanas 12 a 16.

Analisando a primeira fase (até 37 DAT), observa-se um consumo elevado por parte do manejo M1, em comparação ao consumo do manejo M2, com exceção do nitrogênio e do potássio que, em termos de valores, se aproximaram do consumo dos menores níveis de salinidade do solo mantidos aproximadamente constantes no manejo M2. Evidencia-se nesta

análise inicial que o nível de salinidade S1 do manejo M2, proporcionou uma economia em relação ao manejo M1 de 70,5; 84,6; 44,4; 89,7; 86,1 e 89,5%, no nitrogênio, cálcio, potássio, fósforo, magnésio e enxofre, respectivamente.

Para a segunda fase (de 37 à 77 DAT), observa-se que o consumo do manejo M1 se aproximou do consumo dos níveis intermediários de salinidade do solo do manejo M2, com exceção dos nutrientes magnésio e enxofre que no manejo M1, superaram o consumo do nível de salinidade S6 do manejo M2. E em relação à economia de nutrientes, tomando por base o nível S1 de salinidade do solo do manejo M2, observa-se uma redução de 44,2; 50,0; 36,9; 66,6; 91,0 e 90,7%, para nitrogênio, cálcio, potássio, fósforo, magnésio e enxofre, respectivamente, comparado ao consumo do manejo M1.

Tabela 7 - Quantidades de nutrientes (g planta⁻¹) aplicados em cada estágio de desenvolvimento do tomateiro, segundo os níveis de salinidade do solo, para o manejo de fertirrigação M2

Níveis de Salinidade	N	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mg	S
Acumulado para a primeira Fase (até 37 DAT)						
S1	2,1	1,5	3,9	1,4	0,1	0,3
S2	4,4	3,3	8,3	3,1	0,3	0,7
S3	6,9	5,2	13,1	4,8	0,5	1,1
S4	9,6	7,2	18,1	6,7	0,6	1,5
S5	12,5	9,3	23,6	8,7	0,8	1,9
S6	18,2	13,6	34,2	12,7	1,2	2,8
Acumulado para a segunda Fase (de 37 à 77 DAT)						
S1	6,7	5,0	12,6	4,7	0,5	1,0
S2	7,7	5,8	14,6	5,4	0,5	1,2
S3	11,4	8,5	21,6	8,0	0,8	1,7
S4	19,2	14,3	36,1	13,4	1,3	2,9
S5	22,5	16,8	42,5	15,7	1,5	3,4
S6	30,1	22,5	56,8	21,1	2,0	4,6
Acumulado para a terceira Fase (de 77 à 126 DAT)						
S1	3,5	2,6	6,6	2,5	0,2	0,5
S2	11,3	8,4	20,3	7,9	0,8	1,7
S3	19,6	14,7	35,5	13,7	1,3	3,0
S4	29,5	22,1	53,4	20,6	2,0	4,5
S5	36,2	27,0	65,4	25,3	2,4	5,5
S6	41,6	31,1	78,4	29,1	2,8	6,4

N – nitrogênio; CaO – Cálcio; K₂O – Potássio; P₂O₅ – Fósforo; Mg – Magnésio; S - Enxofre

Na terceira fase (de 77 à 126 DAT), ocorreu praticamente o mesmo discutido anteriormente, com a exceção do elemento magnésio, cujo consumo no manejo M1 superou o

consumo de todos os níveis de salinidade do manejo M2. Novamente, o manejo M1 superou o consumo de fertilizantes do nível S1 de salinidade do manejo M2 em 78,0; 86,9; 86,2; 92,1 e 89,3% para nitrogênio, cálcio, potássio, magnésio e enxofre, respectivamente.

As comparações foram realizadas em relação ao nível de salinidade do solo S1, porque, estatisticamente foi o nível mais produtivo, conforme se discutirá posteriormente. Em comparação, o nível S2 proporcionou uma economia, em relação ao consumo médio do manejo M1, de 34,1; 55,8; 22,3; 69,8; 78,2 e 77,5% no nitrogênio, cálcio, potássio, fósforo, magnésio e enxofre, respectivamente. Segundo Grattan e Grieve (1999), concluíram que elevadas doses de N pode reduzir a tolerância das culturas à salinidade.

A maioria das culturas, que hoje se explora comercialmente, evoluíram sob condições de baixa salinidade do solo. Os mecanismos desenvolvidos para absorver, transportar e utilizar os nutrientes minerais, presentes em substratos não salinos, podem não ser eficazes quando se fertirriga com águas salobras, nas quais a concentração dos íons de Na^+ e/ou de Cl^- , frequentemente, excedem as concentrações de macro e micronutrientes. Neste caso, a salinização dos solos ocorre com a acumulação de determinadas espécies iônicas, como os cátions Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e os ânions Cl^- e SO_4^{2-} .

A salinidade proporcionada pela irrigação com águas salobras eleva a relação Na^+/K^+ nas raízes, caules e folhas, mostrando-se como importante variável no estudo nutricional das plantas sob condições de salinidade (BOSCO et al., 2009).

Analisando o consumo total de fertilizantes (Figura 11), observa-se um consumo “de luxo” de fertilizantes para os níveis elevados de salinidade do solo mantidos no manejo M2. Verifica-se, ao contrário, para os níveis baixos de salinidade do solo, consumos menores do que aquele observado em M1.

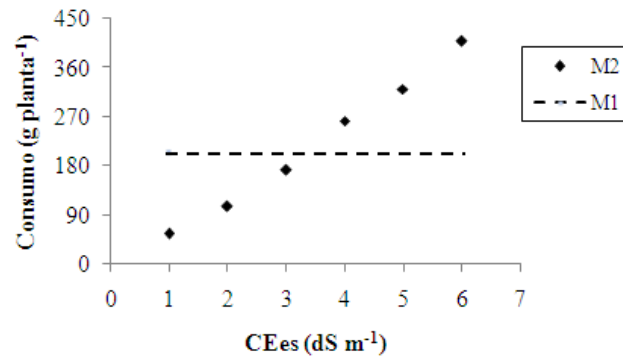


Figura 11.-Consumo total de nutrientes utilizados durante o ciclo do tomateiro, em função dos níveis de salinidade do solo e do tipo de manejo de fertirrigação

Cramer et al. (1994), afirmam que o grau com que cada um dos componentes do estresse salino influencia a nutrição mineral das plantas é dependente de muitos fatores, dentre eles a cultivar, a intensidade e a duração do estresse salino, o teor de água mantido no solo e o estágio de desenvolvimento da planta.

4.2.5.1. Acúmulo de massa seca

Em relação aos fatores analisados, somente a salinidade e a interação entre fatores salinidade e manejo de fertirrigação foram significativos estatisticamente em nível de probabilidade de 1 e 5%, respectivamente (Tabela 8), para as variáveis massa seca das folhas (MSFOLHA) e do caule (MSCAULE); o tipo de manejo de fertirrigação não diferiu estatisticamente.

Tabela 8. - Resumo da análise da variância para a variável massa seca das folhas (MSFOLHA (g planta⁻¹)) e do caule (MSCAULE (g planta⁻¹)), segundo os fatores níveis de salinidade do solo e manejo de fertirrigação

Fontes de variação	ESTATÍSTICA F	
	MSFOLHA	MSCAULE
- Salinidade (S)	7,09**	5,79**
Linear	10,55**	15,24**
Quadrática	22,09**	10,44**
- Manejo (M)	4,02 ^{ns}	0,75 ^{ns}
(S) x (M)	4,46*	3,36*
CV (%)	11,41	19,21
Manejos (médias)		
M1	172,4a	82,4a
M2	157,4a	92,5a

* e ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Devido a significância estatística apresentada para a salinidade, realizaram-se regressões para as variáveis massa seca da folha (MSFOLHA) e do caule (MSCAULE); o melhor ajuste (R^2) foi obtido para equações quadráticas (Figura 12). Observa-se, nos níveis intermediários de salinidade do solo, os maiores valores de massa seca; são nestes níveis também que as quantidades de consumo de nutrientes mais se aproximam, entre os dois manejos de fertirrigação.

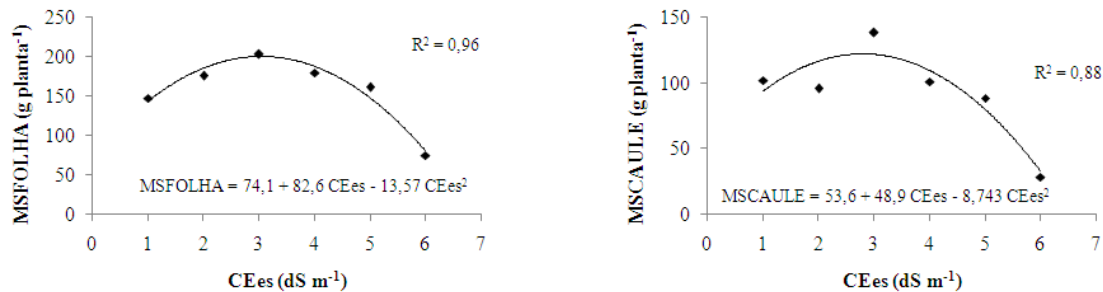


Figura 12 - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para massa seca da folha e do caule em função dos níveis de salinidade do solo

A massa seca total da parte aérea (folha + caule) encontra-se na Tabela 9. Observa-se que os valores relativo ao manejo de fertirrigação M1 foram bem próximos, o que pode justificar em parte, a não significância do fator salinidade do solo no manejo M1. Já para o manejo de fertirrigação com controle da condutividade elétrica da solução do solo (M2), observa-se a superioridade do nível S3 de salinidade do solo, em 27, 21, 18, 27 e 70%, quando comparado aos

níveis S1, S2, S4, S5 e S6, respectivamente. Segundo Medeiros et al. (2007), os níveis elevados de salinidade da água de irrigação podem afetar a área foliar, a fitomassa seca e a taxa de crescimento.

Na Tabela 10, encontram-se as médias referentes à interação entre os fatores salinidade e manejo de fertirrigação, com diferenças significativas, principalmente no manejo de fertirrigação M2, entre os níveis de salinidade do solo. Como discutido anteriormente e caracterizado nas figuras anteriores, observa-se a superioridade do nível de salinidade S3 sobre os demais, para o manejo M2.

Tabela 9 -.Massa seca total da parte aérea (folha + caule) (g planta⁻¹) da cultura do tomate, em função aos níveis de salinidade do solo e do tipo de manejo de fertirrigação

Manejo de fertirrigação	Níveis de salinidade	Massa seca total (g planta ⁻¹)
M1	S1	270,2
	S2	269,4
	S3	267,2
	S4	250,8
	S5	261,3
	S6	236,3
M2	S1	250,3
	S2	272,1
	S3	342,3
	S4	281,6
	S5	249,7
	S6	103,2

Tabela 10 - Valores médios das variáveis massa seca da folha e do caule entre tipo de manejo de fertirrigação e os níveis de salinidade do solo

Níveis de Salinidade	MSFOLHA		MSCAULE	
	M1	M2	M1	M2
S1	178,5Aa	147,9Aa	91,7Aa	102,3Ab
S2	172,2Aa	174,4Aa	97,1Aa	95,7Ab
S3	175,2Aa	203,8Aa	91,9Ba	138,4Aa
S4	171,8Aa	180,3Aa	79,0Aa	101,3Ab
S5	179,8Aa	161,1Aa	81,4Aa	88,6Ab
S6	159,3Aa	74,8Bb	77,0Aa	28,4Bc

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

4.2.6. Produção e componentes de produção

A produção de tomate é considerada atividade de alto risco, principalmente, devido à grande variedade de ambientes e sistemas de produção e também devido ao alto custo da lavoura. Neste experimento a salinidade do solo, o manejo de fertirrigação e a interação entre ambos os fatores, afetaram as variáveis produção total, a produção comercial e o número de frutos comerciais, em nível de 1% de probabilidade com efeito linear (Tabelas 11). Segundo Medeiros et. al. (2008), a salinidade da água de irrigação interfere, significativamente, nas produtividades comerciais e totais, no número de frutos comercial e total.

Tabela 11 - Resumo da análise da variância para as variáveis produção total (PRODT (Mg ha⁻¹)), produção comercial (PRODC (Mg ha⁻¹)) e número de frutos comerciais (NUMC), segundo os fatores níveis de salinidade do solo e manejo de fertirrigação

Fontes de variação	ESTATÍSTICA F			
	PRODT	PRODC	NUMT	NUMC
- Salinidade (S)	0,14 ^{**}	0,34 ^{**}	1,08 ^{ns}	20,24 ^{**}
Linear	0,64 ^{**}	1,61 ^{**}	1,30 ^{ns}	95,69 ^{**}
Quadrática	0,07 ^{ns}	3,09 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,02 ^{ns}
- Manejo (M)	0,17 ^{**}	0,78 ^{**}	0,20 ^{ns}	47,40 ^{**}
(S) x (M)	0,09 ^{**}	0,20 ^{**}	1,81 ^{ns}	10,94 ^{**}
CV (%)	22,49	35,73	23,76	40,63
Manejos (médias)				
M1	8,4b	2,2b	23,27a	3,35b
M2	11,0a	5,9a	22,56a	7,89a

* e ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Em relação à quantificação da precisão do experimento, observam-se coeficientes de variação (CV) classificados como médios para produção total (PRODT), produção comercial (PRODC) e número de frutos totais (NUMT) e, muito alto para número de frutos comerciais (NUMC) (LIMA et. al., 2004).

Na Figura 13, observam-se as retas de regressão para as variáveis, produção total, produção comercial e número de frutos comerciais. Verifica-se que todas decrescem, ao percentual de 0,24; 2,72; 0,37; 2,73; 0,50 e 3,26%, por aumento de uma unidade da salinidade do solo para: produção total no manejo de fertirrigação M1 (Figura 13A), produção total no manejo de fertirrigação M2 (Figura 13B), produção comercial no manejo de fertirrigação M1 (Figura 13C), produção comercial no manejo de fertirrigação M2 (Figura 13D), número de frutos comerciais no manejo

de fertirrigação M1 (Figura 13E) e número de frutos comerciais no manejo de fertirrigação M2 (Figura 13F), respectivamente.

Observando-se a tendência dessas retas, verifica-se que os níveis mais baixos de salinidade do solo foram os que propiciaram maiores componentes de produção para todas as análises significativas; resultado também encontrado por Eloi (2007) que utilizou a mesma metodologia e a mesma cultura, em solo franco arenoso.

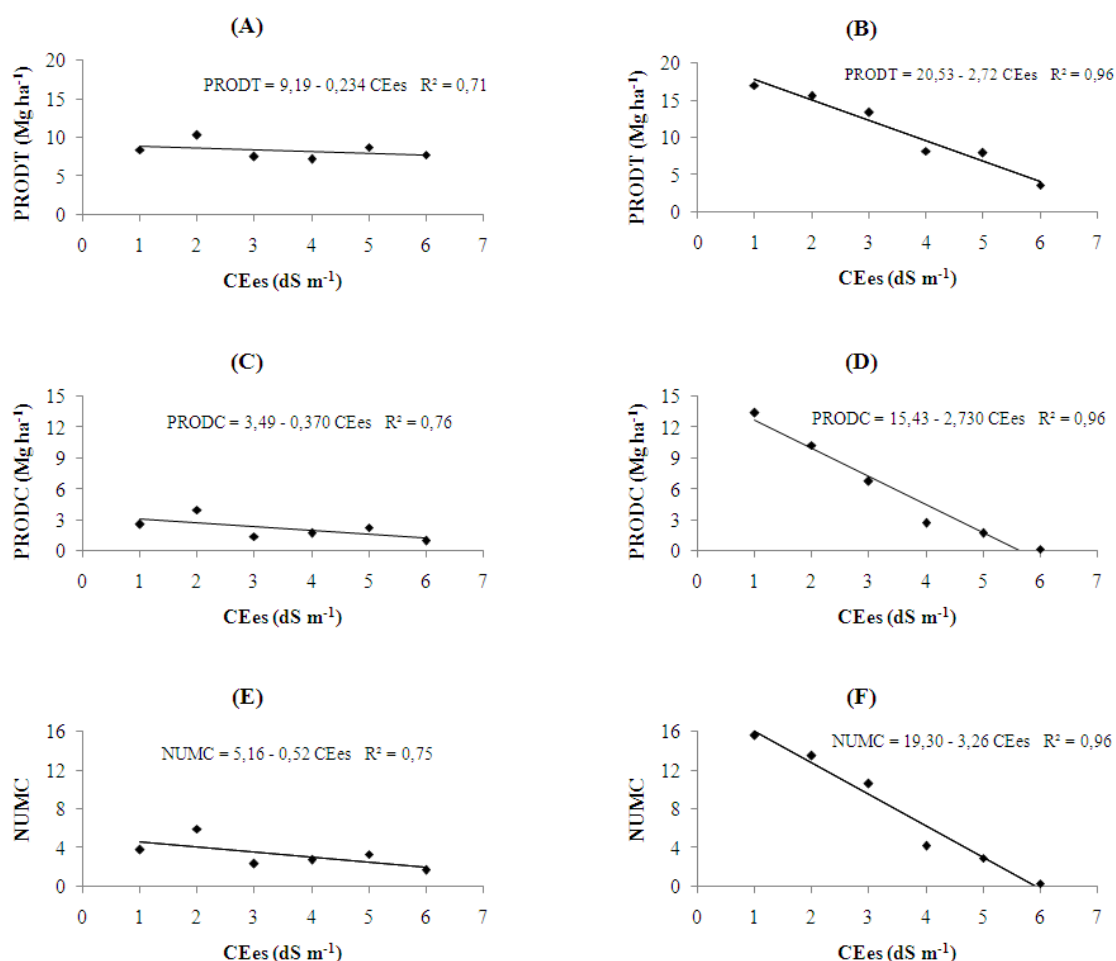


Figura 13 - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para produção total (PRODT), produção comercial (PRODC) e número de frutos comerciais (NUMC) em função da salinidade do solo e do tipo de manejo de fertirrigação M1 (A, C e E) e M2 (B, D e F)

Na Tabela 12, encontram-se as médias referentes à interação entre os fatores salinidade do solo e manejo de fertirrigação, evidenciando diferenças significativas tanto entre os níveis de salinidade do solo quanto entre o manejo de fertirrigação, para as variáveis PRODT, PRODC e

NUMC. O manejo de fertirrigação M2 proporcionou as maiores médias, principalmente quando associado com os níveis mais baixos de salinidade; o nível de salinidade S6 proporcionou as menores médias, no geral.

Com os resultados de produtividade, transformados para rendimentos relativos, para os diferentes níveis de salinidade do solo do manejo M2, pode-se determinar a salinidade limiar da cultura (MAAS E HOFFMAN (1977)); esse parâmetro reflete a tolerância à salinidade, neste caso, a salinidade do solo oriunda da adição de sais fertilizantes (Figura 14). A salinidade limiar foi de 1,278 (dS m⁻¹), com um decréscimo relativo da produtividade de 15,96%, para cada aumento de uma unidade da salinidade do solo causada por sais fertilizantes.

Em geral, a salinidade do solo, tanto a causada pela irrigação com água salina quanto como pela combinação dos fatores água e solo, pode resultar em redução da produção, mudanças de cor e de aparência e alterações na qualidade do produto colhido (RHOADES et al., 2000).

Tabela 12.- Valores médios das variáveis produção total (PRODT (Mg ha⁻¹)), produção comercial (PRODC (Mg ha⁻¹)) e número de frutos comerciais (NUMC), para o manejo de fertirrigação e os níveis de salinidade do solo

Níveis de Salinidade	PRODT		PRODC		NUMC	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
S1	8,5Ba	17,1Aa	2,6Ba	13,4Aa	3,87Bb	15,62Aa
S2	10,3Ba	15,7Aa	4,0Ba	10,3Ab	6,00Ba	13,50Aa
S3	7,6Ba	13,4Aa	1,5Bb	6,8Ac	2,37Bb	10,62Aa
S4	7,2Aa	8,2Ab	1,8Ab	2,8Ad	2,75Ab	4,25Ab
S5	8,8Aa	8,0Ab	2,3Ab	1,8Ad	3,37Ab	3,00Ab
S6	7,8Aa	3,7Bc	1,0Ab	0,2Ae	1,75Ab	0,37Ab

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Eloi (2007), utilizando a mesma cultura e metodologia em solo franco arenoso, encontrou valores de salinidade limiar entre 2,98 e 3,03 (dS m⁻¹), com decréscimo relativo da produtividade variando entre 9,38 e 10,95%, para cada aumento de uma unidade da salinidade do solo causada por sais fertilizantes.

Medeiros (2007), utilizando a mesma metodologia com a cultura do pepino e solo franco arenoso, encontrou valores de salinidade limiar de 4,08 (dS m⁻¹), com decréscimo relativo da produtividade de 19,33%, para cada aumento de uma unidade da salinidade do solo causada por sais fertilizantes.

Medeiros et al. (2009), estudando a tolerância da cultura do pepino à salinidade, em ambiente protegido, verificou que a cultura apresentou valores satisfatórios das suas variáveis respostas até o nível de salinidade do solo de $3,5 \text{ dS m}^{-1}$.

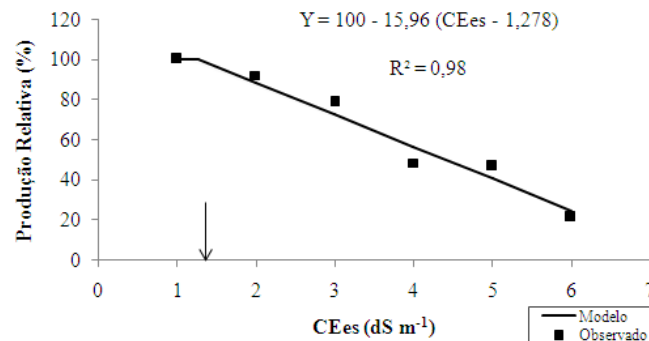


Figura 14 - Rendimento relativo calculado com as médias da produtividade total (Mg ha^{-1}), em função da salinidade do solo

A variedade de milho UFVM 100 mostrou-se sensível à salinidade do solo e a produção relativa decresceu 15,68%, com incrementos unitários da salinidade do solo acima de $1,70 \text{ dS m}^{-1}$ (salinidade limiar) (FERREIRA et al., 2007).

A Tabela 13 apresenta a taxa de frutos descartados em função dos níveis de salinidade do solo e do manejo de fertirrigação. Verifica-se que o nível de salinidade do solo mais produtivo foi também o que propiciou menores perdas de produção; o mesmo ocorreu para o manejo de fertirrigação M2.

Elevadas taxas de perdas foram observadas nos níveis mais elevados de salinidade do solo, devido, principalmente, ao problema fisiológico “fundo preto dos frutos”, seguido das deformações e da perda de tamanho. Esse problema fisiológico é atribuído à deficiência de cálcio na planta, devendo-se, em parte, à falta de calagem do solo antes da instalação do experimento. Outra possível causa seria a toxidez e o desbalanço nutricional causado pela aplicação de sais fertilizantes em excesso, nos níveis mais elevados de salinidade.

Tabela 13 - Valores médios (%) relativos à perda de produção, para a produção total (PRODT) e a comercial (PRODC), em função do manejo de fertirrigação e dos níveis de salinidade do solo

Manejo de fertirrigação	Níveis de salinidade do solo					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
M1	69	61	81	76	74	87
M2	21	34	49	66	78	94

4.2.7 Desenvolvimento vegetativo

A salinidade do solo afetou o desenvolvimento das plantas em altura, diâmetro de caule e número de folhas, em nível de 1% de probabilidade, principalmente sob efeito linear. O fator manejo de fertirrigação foi significativo somente nas variáveis altura de planta e número de folhas, em níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente (Tabelas 14). Para todas as variáveis, as análises temporais foram em 21 DAT(1)(três semanas de cultivo), 42 DAT(2)(seis semanas de cultivo) e 63 DAT(3)(nove semanas de cultivo).

Tabela 14 - Resumo da análise da variância para as variáveis altura de planta (A), diâmetro de caule (D) e número de folhas (NF), analisadas em três diferentes épocas (1, 2 e 3) de desenvolvimento, submetida a salinidade do solo e manejo de fertirrigação

Fontes de variação	ESTATÍSTICA F		
	A1	A2	A3
- Salinidade (S)	44,49**	9,98**	6,77**
Linear	203,09**	37,77**	28,81**
Quadrática	10,08**	5,82**	1,57 ^{ns}
- Manejo (M)	0,33 ^{ns}	5,00*	0,06 ^{ns}
(S) x (M)	2,30 ^{ns}	2,44**	5,39**
CV (%)	5,71	4,30	6,32
Manejos (médias)			
M1	310a	850a	1400a
M2	310a	870b	1410a
	D1	D2	D3
- Salinidade (S)	15,53**	12,68**	6,02**
Linear	63,13**	43,41**	13,20**
Quadrática	11,79**	7,66**	1,35 ^{ns}
- Manejo (M)	0,12 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,46 ^{ns}
(S) x (M)	1,19 ^{ns}	1,49 ^{ns}	2,01 ^{ns}
CV (%)	6,64	3,85	4,36
Manejos (médias)			
M1	8,00a	11,7a	14,1a
M2	8,00a	11,7b	14,2a
	NF1	NF2	NF3
- Salinidade (S)	21,75**	9,88**	13,98**
Linear	97,79**	36,35**	60,93**
Quadrática	4,93*	8,13**	3,45 ^{ns}
- Manejo (M)	0,05 ^{ns}	2,21 ^{ns}	9,59**
(S) x (M)	0,95 ^{ns}	2,11 ^{ns}	5,55**
CV (%)	5,13	3,89	4,01
Manejos (médias)			
M1	7,00a	15,00a	23,00a
M2	7,00a	15,00a	24,00b

* e ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Em relação às médias apresentadas para o tipo de manejo de fertirrigação, observa-se diferença significativa em A2, D2 e NF3, todas em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Analisando a interação entre os fatores salinidade do solo e manejo de fertirrigação,

observa-se significância em nível de 1% de probabilidade nas variáveis altura de planta e número de folhas.

A altura de planta foi afetada pela salinidade do solo, linearmente em todas as análises temporais realizadas, com efeito decrescente em relação ao aumento da salinidade do solo, sendo mais expressivo em A3 (Figura 15A), época em que as plantas se encontravam em plena frutificação e pleno desenvolvimento. Com o incremento de uma unidade no nível de salinidade do solo causado por sais fertilizantes, ocorreu um decréscimo de 25 e 73% na altura das plantas em A1 e A3, respectivamente.

O manejo de fertirrigação ocasionou efeito linear decrescente sobre a altura de planta em A2; com o incremento de uma unidade de salinidade do solo causada por sais fertilizantes, ocorre um decréscimo de 9 e 29% na variável em M1 e M2, respectivamente (Figura 15B e 15C). Segundo Dias et al. (2006), o manejo da fertirrigação periódico da solução do solo não interferiu na altura de planta. Porém, Segundo Silva et al. (2008), o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), reduz o crescimento vegetativo.

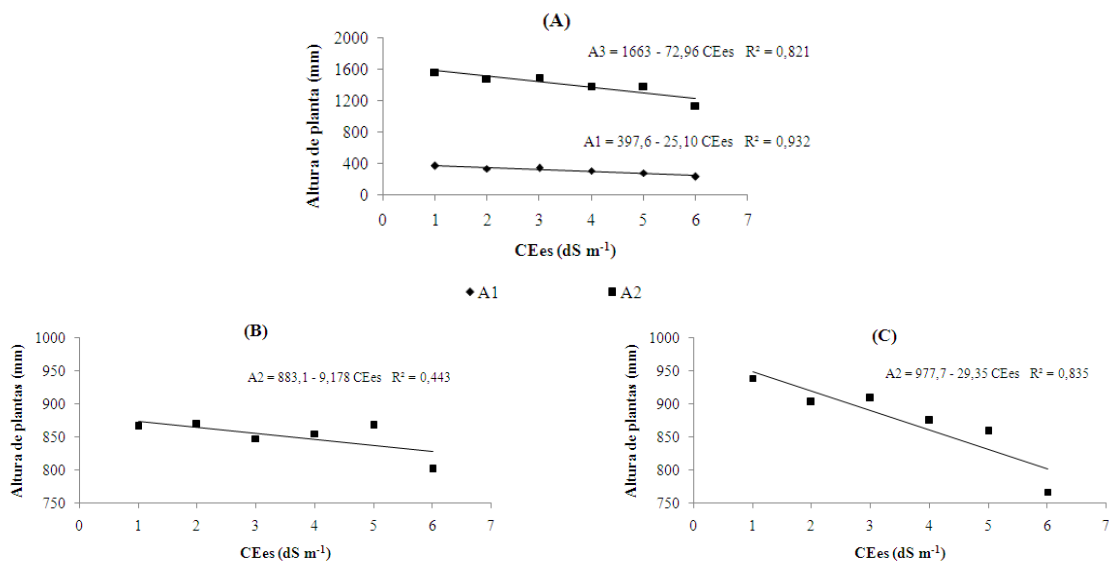


Figura 15 - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para altura de planta em função da salinidade do solo (A) e em função do tipo de manejo de fertirrigação M1 (B) e M2 (C)

As médias de altura de planta que representam o efeito da interação entre os fatores salinidade do solo e manejo de fertirrigação encontram-se na Tabela 15. Observa-se que,

independente do tipo de manejo de fertirrigação, os valores de altura de planta tendem a diminuir com o aumento do nível de salinidade do solo. O manejo de fertirrigação M2 e o nível de salinidade S6, obtiveram as maiores e menores médias, respectivamente.

Tabela 15 - Valores médios da variável altura de planta, em função do manejo de fertirrigação e dos níveis de salinidade do solo nos 42 DAT (A2) e nos 63 DAT (A3)

Níveis de Salinidade	A2		A3	
	M1	M2	M1	M2
S1	86Ba	94Aa	141Ba	156Aa
S2	86Aa	90Ab	146Aa	148Ab
S3	84Aa	90Ab	139Aa	149Ab
S4	85Aa	87Ac	134Aa	138Ac
S5	85Aa	86Ac	140Aa	138Ac
S6	80Ab	76Ad	139Ab	113Bc

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade

Na Figura 16, estão expostas as equações que descrevem o comportamento da variável diâmetro de caule segundo os diferentes níveis de salinidade do solo, com efeito linear decrescente para todas as análises, sendo mais expressivo em D1. Com o incremento de uma unidade no nível de salinidade do solo, causado por sais fertilizantes, ocorre um decréscimo de 40, 28 e 19% no diâmetro de caule das plantas de tomate, em D1, D2 e D3, respectivamente.

A variável número de folhas foi afetada pela salinidade linearmente, em todas as análises temporais, com efeito decrescente com o aumento da salinidade do solo, sendo mais expressivo em NF3, para o manejo de fertirrigação M2 (Figura 17C). Com o incremento de uma unidade no nível de salinidade do solo, causado por sais fertilizantes, ocorre um decréscimo de 37 e 43% no número de folhas, em NF1 e NF2, respectivamente (Figura 17A).

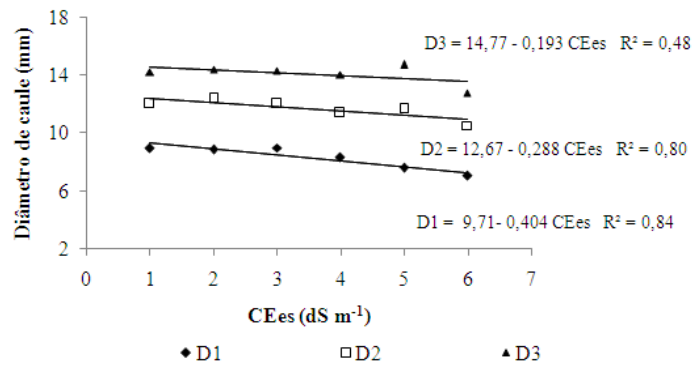


Figura 16 - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para diâmetro de caule em função da salinidade do solo

O manejo de fertirrigação acarretou efeito linear decrescente sobre o número de folhas em NF3, com o aumento da salinidade do solo, ocorre um decréscimo de 30 e 95%, para os manejos M1 e M2, respectivamente (Figura 17B e 17C).

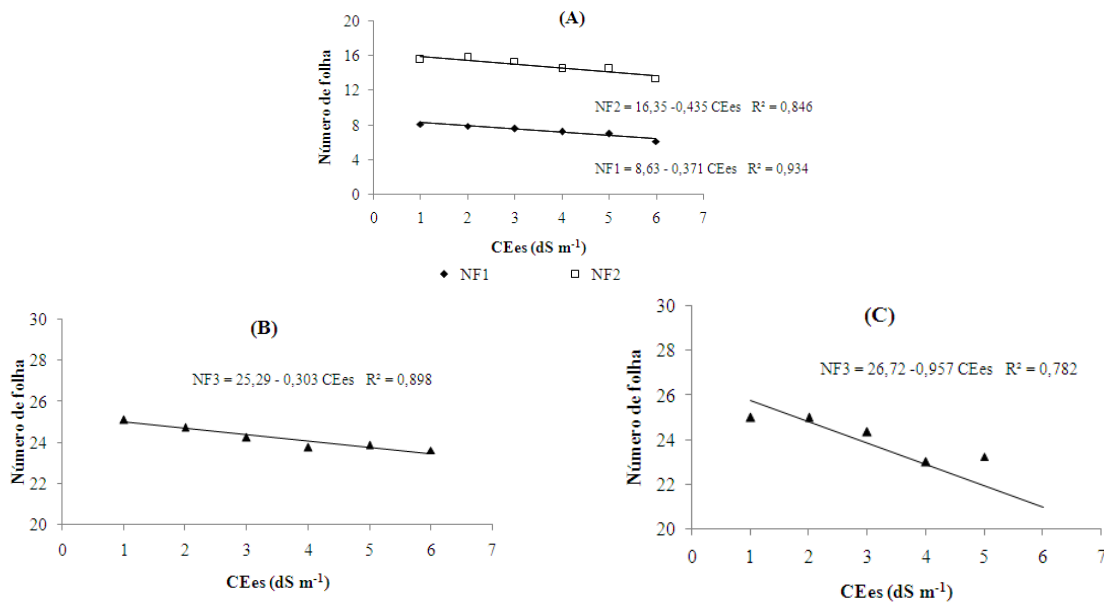


Figura 17 - Diagrama de dispersão e equação de ajuste para número de folhas, em função da salinidade do solo (A) e em função do tipo de manejo de fertirrigação M1 (B) e M2 (C)

As médias do número de folhas, que representam o efeito da interação entre os fatores salinidade do solo e manejo de fertirrigação, encontram-se na Tabela 16. Observa-se que, apenas

o nível de salinidade do solo S6 se diferenciou das demais médias, quando se utilizou o manejo de fertirrigação M2.

Tabela 16 - Valores médios da variável número de folhas, em função do manejo de fertirrigação e dos níveis de salinidade do solo nos 63 DAT (NF3)

Níveis de Salinidade	Manejo de Fertirrigação	
	M1	M2
S1	25Aa	25Aa
S2	24Aa	25Aa
S3	24Aa	24Aa
S4	24Aa	23Aa
S5	24Aa	23Aa
S6	23Aa	19Bb

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade

A salinidade é um dos fatores que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas. A sobrevivência destas em ambientes salinos, dependerá de processos adaptativos, que envolvem absorção, transporte e distribuição de íons, nos vários órgãos da planta (FARIAS, 2009).

4.2.8 Avaliação do °Brix e pH dos frutos

O termo qualidade dos frutos engloba avaliação de diferentes características individuais internas (pH, acidez, teor de sólidos solúveis, etc) e externas. Dentre os diversos componentes da fruta, os sólidos solúveis totais (°Brix) desempenham um papel primordial para sua qualidade, devido a influência nas propriedades termofísicas, químicas e biológicas da fruta (COSTA, 2004).

A salinidade do solo teve elevada influência sobre as características °Brix e pH, ambas medidas na polpa dos frutos, em nível de 1% de probabilidade, sendo este efeito linear e quadrático, respectivamente. O tipo de manejo de fertirrigação teve um efeito significativo menor, em nível de 5% de probabilidade na característica, °Brix. Houve também efeito significativo da interação entre os fatores salinidade do solo e manejo de fertirrigação, sobre a característica pH dos frutos, em nível de 1% de probabilidade (Tabela 17).

Tabela 17. - Resumo da análise de variância para as variáveis °Brix (%) e pH da polpa dos frutos de tomate, submetidos a diferentes níveis de salinidade do solo e tipos de manejo de fertirrigação

Fontes de variação	ESTATÍSTICA F	
	°Brix	pH
- Salinidade (S)	16,01 ^{**}	6,08 ^{**}
Linear	73,97 ^{**}	3,74 ^{ns}
Quadrática	0,71 ^{ns}	22,35 ^{**}
- Manejo (M)	4,67 [*]	3,83 ^{ns}
(S) x (M)	1,65 ^{ns}	3,78 ^{**}
CV (%)	10,62	3,12
Manejos (médias)		
M1	7,79a	4,26a
M2	7,29b	4,34a

* e ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Em relação a quantificação da precisão do experimento, observa-se um coeficiente de variação (CV) de 10,62 e 3,12%, para as características °Brix e pH, respectivamente. Esses valores estão bastante próximos dos encontrados por Porto Filho et. al. (2009), que estudaram as mesmas características na cultura do melão.

Na Figura 18, observam-se as análises de regressão para as características °Brix e pH da polpa dos frutos; verifica-se que foram todas lineares e crescentes ao percentual de 0,39; 0,77 e 6%, com o aumento de uma unidade da salinidade do solo, para o °Brix no manejo de fertirrigação M1 (Figura 18A), °Brix no manejo de fertirrigação M2 (Figura 18B) e pH no manejo de fertirrigação M1 (Figura 18C). Porém em condições severas de salinidade do solo (> 16 dS m⁻¹) ocorre uma tendência de redução do °Brix, indicando uma possível inversão na tendência de variação dessas variáveis quanto ao estresse salino (Cuartero e Muñoz, 1999).

Barros (2004), estudando três níveis de salinidade de água de irrigação em campo, observou, efeito linear positivo sobre o °Brix dos frutos do meloeiro, com o incremento da salinidade.

Utilizando a mesma metodologia, em solo franco arenoso, Eloi (2007) e Medeiros (2007), também encontraram efeito linear crescente na característica °Brix nas culturas do tomate e do pepino, respectivamente; já para a característica pH, os resultados obtidos por ambos os autores foram não significativos.

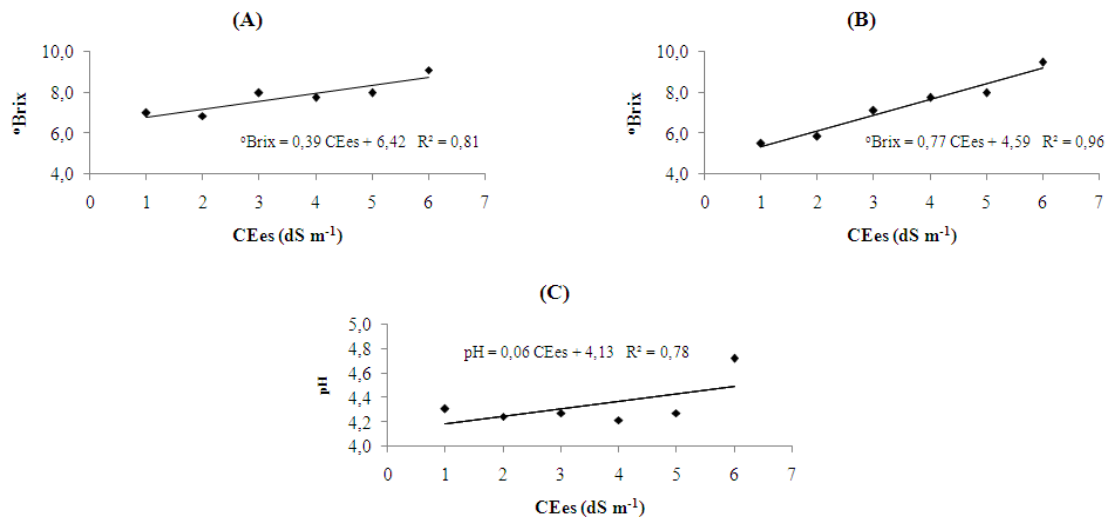


Figura 18. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para °Brix da polpa dos frutos em função da salinidade do solo com o manejo de fertirrigação M1 (A) e M2 (B) e para o pH da polpa dos frutos, em função da salinidade do solo (C)

As médias da característica pH, que representa o efeito da interação entre os fatores salinidade do solo e manejo de fertirrigação, encontram-se na Tabela 18. Observam-se diferenças estatísticas entre o manejo de fertirrigação no nível de salinidade S6; já entre níveis de salinidade no mesmo manejo de fertirrigação, verifica-se que a média do nível S1 diferiu dos demais níveis para o M1, e a média do nível S6 também diferiu das demais no M2. Observa-se que os valores médios de pH oscilaram de 4,2 a 4,7 no geral, valores próximos aos encontrados por Eloi (2007) que também trabalhou com a cultura do tomate.

Tal característica estar relacionada ao fato dos frutos de tomate terem sido colhidos maduros, sofrendo as transformações de maturação, que podem modificar os valores de pH dos mesmos. Essas transformações envolvem um metabolismo complexo e acelerado, o qual pode resultar no aparecimento do sabor característico, devido, às vezes, à transformação do amido em açúcares solúveis, à diminuição e/ou aumento da acidez e ao desaparecimento da adstringência (LUCENA, 2006). O conteúdo de ácidos orgânicos diminui com o amadurecimento da maioria dos frutos tropicais, devido a utilização desses ácidos no ciclo de Krebs, durante o processo respiratório, ou de sua conversão em açúcares (CHITARRA E CHITARRA, 2005).

Segundo Porto Filho et. al. (2009), os níveis de salinidade da água de irrigação não causaram efeitos significativos nas qualidades (firmeza de polpa, sólidos solúveis, condutividade elétrica do suco, pH e perda de massa) dos frutos de melão amarelo.

Tabela 18 - Valores médios da variável pH da polpa dos frutos, em função do manejo de fertirrigação e dos níveis de salinidade do solo

Níveis de Salinidade	Manejo de Fertirrigação	
	M1	M2
S1	4,42Aa	4,30Ab
S2	4,22Ab	4,24Ab
S3	4,18Ab	4,27Ab
S4	4,26Ab	4,21Ab
S5	4,18Ab	4,27Ab
S6	4,31Bb	4,72Aa

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade

4.2.9 Avaliação dos teores de Nitrato (NO_3^-) e pH na solução do solo

O conhecimento da composição química da solução do solo pode auxiliar nas estimativas da taxa de ciclagem dos elementos químicos e no fluxo e lixiviação de nutrientes (MIRANDA et al., 2006).

A salinidade do solo teve influência sobre as características pH e NO_3^- da solução do solo, em nível de 1% de probabilidade, principalmente linear. O tipo de manejo de fertirrigação e a interação entre os fatores salinidade e manejo de fertirrigação também foram significativos em tais características, em nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente (Tabela 19). Para todas as variáveis, as análises temporais foram realizadas aos 35 DAT(1)(primeira fase da cultura), 77 DAT(2)(segunda fase da cultura) e 126 DAT(3)(terceira fase da cultura).

Tabela 19 - Resumo da análise da variância para as análises de pH e NO_3^- (mg L^{-1}) da solução do solo, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e tipos de manejo de fertirrigação

Fontes de variação	ESTATÍSTICA F					
	pH (1)	NO_3^- (1)	pH (2)	NO_3^- (2)	pH (3)	NO_3^- (3)
- Salinidade	1,56 ^{ns}	26,10 ^{**}	20,39 ^{**}	31,93 ^{**}	17,68 ^{**}	0,84 ^{ns}
Linear	3,93 ^{ns}	121,44 ^{**}	85,51 ^{**}	132,22 ^{**}	75,96 ^{**}	0,09 ^{ns}
Quadrática	2,26 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,07 ^{ns}	16,55 ^{**}	6,39 [*]	0,32 ^{ns}
- Manejo	14,34 ^{**}	5,57 [*]	265,30 ^{**}	13,39 ^{**}	47,61 ^{**}	0,05 ^{ns}
- (S) x (M)	2,55 [*]	19,49 ^{**}	1,72 ^{ns}	24,51 ^{**}	6,23 ^{**}	1,31 ^{ns}
CV (%)	1,75	26,57	3,55	27,71	5,42	132,96
Manejos (médias)						
M1	7,13b	7136,02b	5,26b	7048,77b	5,11b	6208,63a
M2	7,27a	8556,12a	6,22a	9465,27a	5,69a	6753,44a

* e ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Na Figura 19, observam-se as análises de regressão para as análises de NO_3^- e pH da solução do solo, em função da salinidade e do tipo de manejo de fertirrigação; foram todas lineares, crescentes e decrescentes, respectivamente.

Em relação as análises de pH da solução do solo, independente do manejo de fertirrigação, observa-se uma diminuição dos valores com o incremento do nível de salinidade do solo; tais valores, em média, variaram de 4,8 a 7,0, no geral, para o manejo M1 e, de 5,1 a 7,4, no geral, para o manejo M2.

Brady (1983), descreve que o pH, quando em condições muito ácidas, pode resultar em dissolução de alguns elementos químicos, em proporções tais que podem tornar-se tóxicos, dificultando o desenvolvimento de algumas plantas. O pH elevado pode interferir principalmente na assimilação pelos vegetais de micronutrientes, interferindo assim no desenvolvimento dos mesmos.

Cruz et. al. (2008), trabalhando em condições de campo aberto detectaram um aumento das concentrações de íons NO_3^- , NH_4^+ e K^+ na solução com o aumento da umidade do solo, verificaram também que o concentração do NO_3^- causou um aumento da força iônica do solo, provocando a redução do pH.

Em relação ao íon NO_3^- da solução do solo, independente do manejo de fertirrigação, observa-se um aumento dos valores com o incremento do nível de salinidade do solo. Para o

manejo M2, observa-se uma variação entre os valores, em média de 23900 mg L⁻¹ entre os níveis de salinidade do solo, devendo-se, basicamente, à aplicação excessiva de sais fertilizantes para manter os níveis elevados de salinidade do solo. No manejo M1, tal variação foi de 3000 mg L⁻¹, causada possivelmente, pela condução do manejo, que não diferenciava a quantidade aplicada de sais entre os níveis de salinidade.

Lao et al. (2004), estudando a solução do solo em casas de vegetação com cultivos comerciais de tomateiros, concluíram que a aplicação de nitrato deve ser controlada pelo monitoramento da solução do solo, pois este elemento é muito móvel no perfil; foram observadas grandes variações para este nutriente no tempo e no espaço.

As médias das variáveis pH e NO₃⁻ da solução do solo; que representam o efeito da interação entre os fatores salinidade do solo e manejo de fertirrigação, encontram-se na Tabela 20. Comparando os manejos, independente da variável, observa-se uma maior variação de valores no manejo M2.

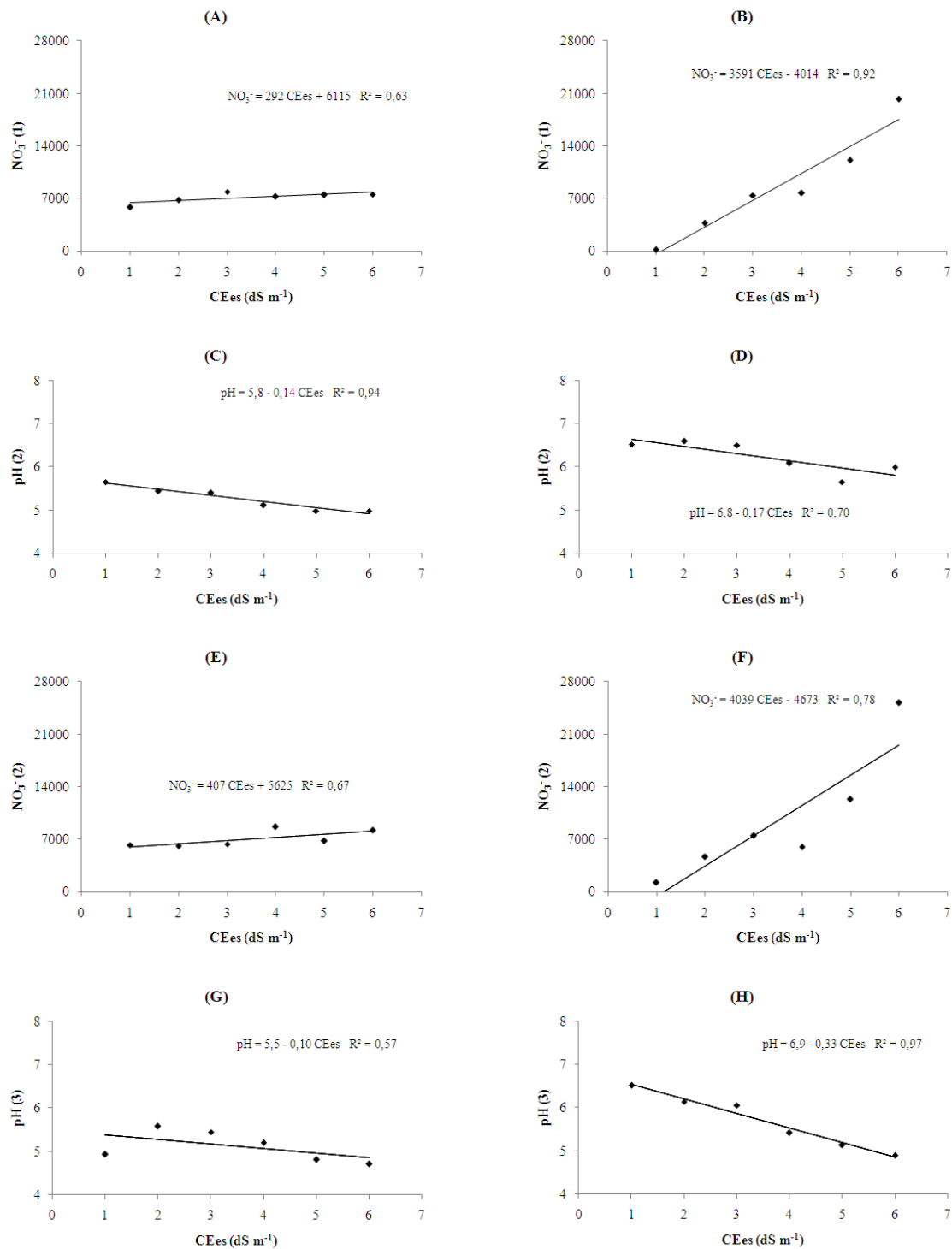


Figura 19- -Diagrama de dispersão e equação de ajuste para o NO_3^- (mg L^{-1}), em função da salinidade do solo com o manejo de fertirrigação M1 (A e E) e M2 (B e F), e para o pH em função da salinidade do solo, para o manejo de fertirrigação M1 (C e G) e M2 (D e H)

Para a variável NO_3^- , no manejo M1, independente da época analisada, a variação máxima entre os níveis de salinidade do solo foi de 38%, sendo que para o manejo M2 esta mesma variação foi 69 vezes maior. Esse resultado possivelmente se deve ao tipo de metodologia adotada para cada manejo, como também reflete as quantidades de nutrientes (N – nitrogênio) consumidas e aplicadas.

Tabela 20 - Valores médios das variáveis pH e NO_3^- (mg L^{-1}) da solução do solo entre tipo de manejo de fertirrigação e níveis de salinidade do solo

Níveis de Salinidade	pH (1)		NO_3^- (1)		NO_3^- (2)		pH (3)	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
S1	7,2Ba	7,4Aa	5802Aa	188Be	6241Aa	1197Bc	4,9Bb	6,5Aa
S2	7,0Bb	7,4Aa	6792Aa	3696Bd	6035Aa	4650Ab	5,6Ba	6,1Ab
S3	7,1Ab	7,3Aa	7906Aa	7443Ac	6387Aa	7499Ab	5,4Ba	6,0Ab
S4	7,1Ab	7,1Aa	7271Aa	7689Ac	8669Aa	5935Ab	5,2Aa	5,4Ac
S5	7,2Ab	7,2Aa	7496Ba	12062Ab	6770Ba	12327Aa	4,8Aa	5,1Ac
S6	7,1Ab	7,2Aa	7548Ba	20259Aa	8190Ba	25183Aa	4,7Aa	4,9Ac

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

A variável pH teve uma menor variação, oscilando em 11 e 18%, nos manejos M1 e M2, respectivamente. O pH ideal para a cultura do tomate varia em torno de 5,5 à 6,5; fora desta faixa, algumas funções podem ser prejudicadas, como a absorção de nutrientes, principalmente. Verificou-se na primeira fase da cultura, valores de pH elevados, acima de 7,0; neste caso pode ocorrer fenômenos de indisponibilidade de nutrientes as plantas, por causa principalmente da precipitação. Para a terceira fase da cultura, observou-se valores abaixo de 5,5, que pode tornar alguns elementos químicos tóxicos as plantas.

De acordo com Malavolta (2006), do ponto de vista do aproveitamento pelas plantas, o pH parece ser a variável com maior influência na disponibilidade de nutrientes. Sendo que em pH mais ácido (menor que 5,5) o P é fixado por óxidos de ferro, alumínio e manganês tornando o fósforo indisponível para as plantas; o mesmo acontece quando o pH se torna alcalino (maior que 7,0), mas nessa situação, o fósforo é fixado por óxidos de cálcio. Portanto, concluí-se que é desejável manter o pH dos solos entre 5,5 e 6,5, para evitar a fixação do fósforo (LIMA, 2009).

A Figura 20, apresenta as relações entre o íon nitrato na planta e o íon nitrato e o pH da solução do solo, todas apresentando boas correlações (R^2). Essas associações baseiam-se na idéia

de que o teor de nitrato (NO_3^-) na seiva da planta depende do teor de nitrato na solução do solo, e o teor de nitrato da solução do solo depende do pH da solução do solo.

Observa-se que, com o aumento da concentração do íon nitrato na solução do solo, ocorre também aumento do respectivo íon na seiva da planta (Figura 20A e 20D), resultado este esperado, e que independente do manejo de fertirrigação. O teor de nitrato nas plantas depende da disponibilidade de água e de outros nutrientes na planta e, principalmente, da disponibilidade de nitrato na solução do solo (MARSCHNER, 1995). Elevados teores de NO_3^- no solo também podem resultar em acúmulo desta forma de N no tecido vegetal, o que pode comprometer a qualidade das plantas, para o consumo humano e animal (L'HIRONDEL E L'HIRONDEL, 2002).

Nas Figuras 20B, 20C, 20E e 20F, constata-se que, com o aumento do pH da solução do solo, ocorre um decréscimo dos valores do íon NO_3^- , tanto na seiva da planta quanto na solução do solo, para ambos os tipos de manejo de fertirrigação. A composição química da solução de solo varia em função do pH, adição de produtos químicos, das condições de oxi-reduções, do manejo do solo e também do clima (MEURER; ANGHINONI, 2004). O pH da rizosfera é reduzido pela absorção radicular de NH_4^+ , e aumenta quando o NO_3^- é absorvido (HUBER E THOMPSON, 2007).

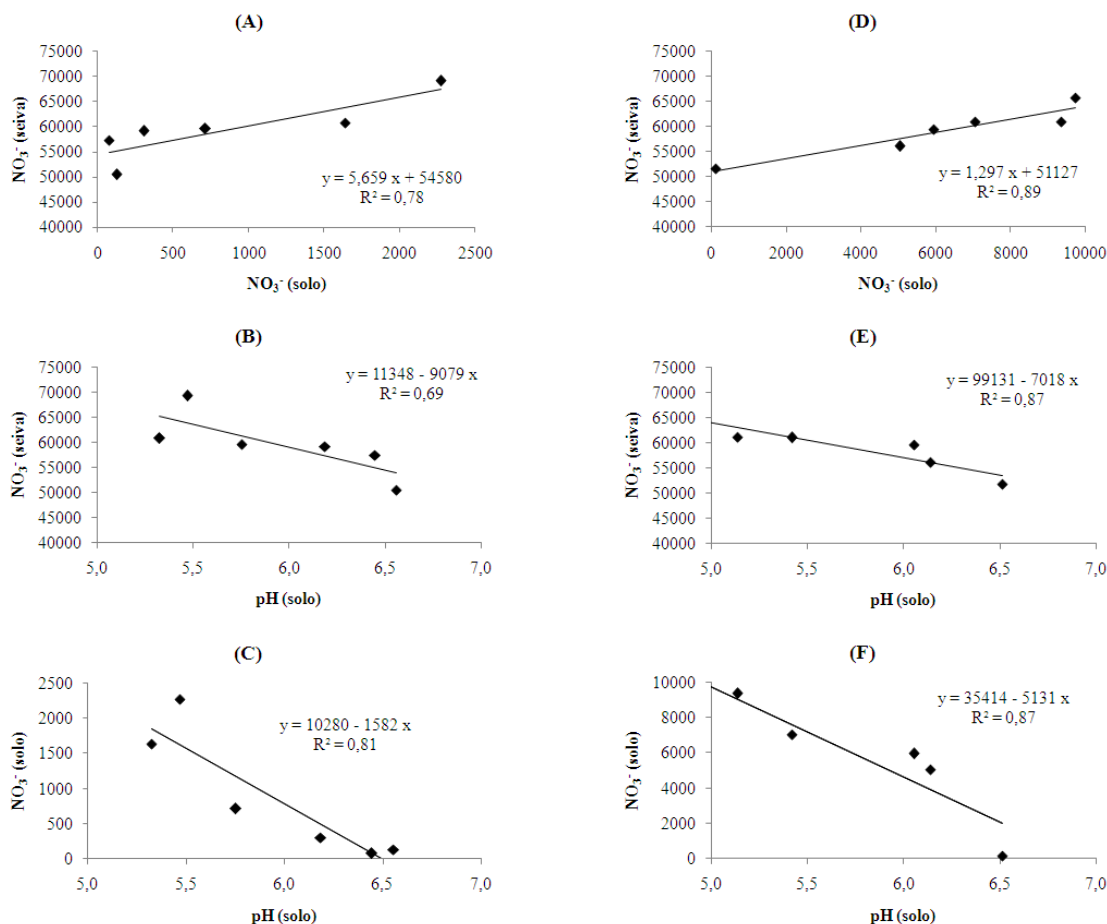


Figura 20 - Relações entre o íon nitrato (NO_3^-) (mg L^{-1}) na seiva da planta e na solução do solo com o pH da solução do solo para 122 DAT (A, B e C) e 129 DAT (D, E e F)

A alta mobilidade do nitrato no solo justifica a enorme preocupação ambiental em relação ao manejo da adubação nitrogenada em solos agrícolas (VANOTTI E BUNDY, 1994). A lixiviação do nitrato é um fenômeno físico favorecido pela baixa energia envolvida na sua adsorção às partículas do solo e também pela sua alta solubilidade em água (CERETTA, 1997). Este íon pode ser carregado pela água de percolação, resultando em perdas deste nutriente e contaminação do lençol freático e de cursos d'água (DYNIA E CAMARGO, 1999).

5 CONCLUSÕES

- A elaboração previa da curva de salinização artificial do solo foi imprescindível para o processo controlado de salinização do solo e para a condução do manejo de fertirrigação M2, garantindo precisão na obtenção de valores de CEes desejados;
- É possível, com auxílio dos extratores de solução por cápsulas porosas, monitorar a concentração total de íons na solução do solo, e manter a salinidade em nível desejado, a partir do controle da condutividade elétrica da solução extraída;
- Somente os níveis de salinidade do solo, proporcionados pela adição de sais fertilizantes, afetaram significativamente o consumo hídrico da cultura do tomate;
- em relação ao consumo de nutrientes, observou-se que os menores níveis de salinidade do solo do manejo M2, proporcionaram uma economia de nutrientes em torno de 80%, no geral, em relação ao consumo do manejo M1;
- A massa seca das plantas ao final do ciclo diferiu em relação aos níveis de salinidade do solo;
- A produção e o desenvolvimento vegetativo da cultura do tomate foram afetados, principalmente pela salinidade do solo e pelo manejo de fertirrigação M2;
- O pH da polpa do fruto foi afetado pela salinidade do solo; o °Brix da polpa do fruto foi afetado, tanto pela salinidade do solo, quanto pelo manejo de fertirrigação;
- O pH e a concentração de NO_3^- na solução do solo, avaliados a partir do suso de extratores de cápsula porosa, foram afetados tanto pela salinidade do solo, quanto pelo manejo de fertirrigação.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M.A.R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: Editora UFLA, 2004. 400p.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).
- BARROS, A.D. **Manejo da irrigação por gotejamento com diferentes níveis de salinidade da água na cultura do melão**. 2004. 131 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2004.
- BLANCO, F.F. **Tolerância do tomateiro à salinidade sob fertirrigação e calibração de medidores de íons específicos para determinação de nutrientes na solução do solo e na planta**. 2004. 115 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V.; H. Neto. D. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: I. Concentração de nutrientes no solo e na planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p.26–33, 2008.
- BRANCO, R.B.F.; GOTO, R.; CARNEIRO JUNIOR, A.G.; GUIMARÃES, V.F.; RODRIGUES, J.D.; TRIVELIN, P.C.O.; SILVEIRA, L.V.A. Enxertia e água de irrigação carbonatada no transporte de 15N e na produção do tomateiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.374–379, 2007.
- BOSCO, M.R.O.; OLIVEIRA, A.B.; HERNANDEZ, F.F.F.; LACERDA, C.F. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 157-164, 2009.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6.ed. local: Ed. Biblioteca Universitária Freitas Bastos. 1983. p. 594
- BURGUEÑO, H. **La fertirrigación en cultivos hortícolas com acolchado plástico**. Culiacán: BURSAR, 1996. v. 1, 45 p.
- CERETTA, C.A. Curso de atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. In: _____ **Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema plantio direto**. Santa Maria, UFSM, 1997.p.111-124.
- COSTA, W.S. influência da concentração de sólidos solúveis totais no sinal fotoacústico de polpa de manga. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 141-147, 2004.

COSTA, E.F.; BRITO, R.A.L. **Aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação**. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. 19p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 13).

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CRAMER, G.R.; ALBERICO, G.J.; SCHMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.21, p.675-692, 1994.

CRUZ, C.J.D.; PARRON, L.M.; ROCHA, A.L.A. Disponibilidade e mobilidade de íons em solução de solo sob cultura de cafeiteiro. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9., SIMPÓSIO INTERNACIONAL DAS SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008.. **Anais...** Brasília/DF, 2008. p56

CUARTERO, J.; MUÑOZ, R.F. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, New York, v.78, n.1/4, p.83-125, 1999.

CUNHA, A.R.; ESCOBEDO, J.F.; KLOSOWSKI, E.S. Efeito do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.735-743, 2002.

DIAS, N.S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. 2004. 131 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; MEDEIROS, J.F.; TELES FILHO, J.F. Salinidade e manejo da fertirrigação em ambiente protegido. I: efeitos sobre o crescimento de meloeiro. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.2, p. 208-218, 2006.

DOMINGUEZ VIVANCOS, A. **Fertirrigacion**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. 217 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. 194p. (Estúdio FAO Riego y Drenage, 24).

DYNIA, J.F.; CAMARGO, O.A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.141-144, 1999.

ELOI, W.M. **Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre o cultivo do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) em ambiente protegido**. 2007. 110 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212p.

FACTOR, T.L.; ARAÚJO, J.A.C. de; VILELLA JÚNIOR, V.E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.143-149, 2008.

FARIAS, S.G.G.; SANTOS, D.R.; FREIRA, A.L.O.; SILVA, R.B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*gliricidia sepium* (jacq.) Kunth ex steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1499-1505, 2009

FERNANDES, A.L.T.; TESTEZLA, F.R. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organominerais e químicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 45-50, 2003.

FERREIRA, P.A.; GARCIA, G.O.; NEVES, J.C.L.; MIRANDA, G.V.; SANTOS, D.B. Produção relativa do milho e teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.1, p.7-16, 2007.

FNP CONSULTORIA & AGROINFORMATIVOS. **Tomate**. In: Agriannual 2009: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Argos Comunicação, 2009. 497p.

FONTES, P.C.R. **Olericultura: Teoria e prática**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, ,2005. 486p.

FONTES, D.O.; DONZELE, J.L.; FERREIRA, A.S. Níveis de lisina para leitões selecionadas geneticamente para deposição de carne magra, dos 60 aos 95 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, n.29, v.3, p.784-793, 2000.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J.F.; CUNHA, A.R.; KLOSOWSKI, E.S. Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.8-13, 2000.

GOMES, L.A.A.; SILVA, E.C.; FAQUIN, V. Recomendações de adubação em ambientes protegidos. In:_____ **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5^a Aproximação. Viçosa, 1999. 360p.

GOTO, R. Plasticultura nos trópicos: Uma avaliação técnico-econômica. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v.15, p.163-165, 1997. Suplemento

GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop stress**. 2nd .ed. New York: Marcel Dekker, 1999. cap.9, p.203-229.

HELDWEIN, A.B.; STRECK, L.; SCHNEIDER, F.M.; GRIMM, E.L.; NIED, A.H.; TAZZO, I. F. Modelos para a estimativa da evapotranspiração máxima da abóbora italiana em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Campina Grande, v.12, n.1, p.75-86, 2004.

HOAGLAND, D.R.; MARTIN, J.C.; STEWART, G.R. Relation of the soil solution to the soil extract. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, n. 5, p. 381-395, 1920.

HUBER, D.M.; THOMPSON, L.A. Nitrogen and plant disease. In: DALTONOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Ed). **Mineral nutrition and plant disease**. Brasília: Saint Paul; M.N. Tropical Plant Pathology Press, 2007. p. 31-44.

JADOSKI, C.J.; KLAR, A.E.; MAGGI, M.F.; RAMIRO, J.; SANTOS, A.B.A.; FULAN, S.R. Distribuição da evapotranspiração no interior de um ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 246-256, 2006.

JIMÉNEZ, S.; ALÉS, J.I.; LAO, M.T.; PLAZA, B.; PÉREZ, M. Evaluation of nitrate quick tests to improve fertigation management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, p. 2461–2469, 2006.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1988. 408 p.

L'HIRONDEL, J.; L'HIRONDEL, J.L. **Nitrate and man: toxic, harmless or beneficial**. Wallingford: CAB International, 2002. 168p.

LAO, M.T.; JIMÉNEZ, S.; EYMAR, E.; FERNÁNDEZ, E.J. Nutrient levels of the solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. **Phyton**, Buenos Aires, v. 4, n. 7, p. 29-37, 2004.

LIMA, C.J.G.S. **Calibração e manejo de extratores providos de cápsulas porosas e transdutores de pressão para monitoramento de íons na fertirrigação**. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

LIMA, L.L.; NUNES, G.H.S.; BEZERRA NETO, F. Coeficientes de variação de algumas características do meloeiro: uma proposta de classificação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.14-17, 2004.

LIMA, M.G.; LEAL, F.R.; SETUBAL, J.W. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura para o tomateiro em Teresina – PI. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, n.1, p.29-32, 1994.

LOPES, M.C.; STRIPARI, P.C. A cultura do tomateiro. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP. cap.9 1998. p.257–319.

LUCENA, E.M.P. **Desenvolvimento e maturidade fisiológica de manga ‘tommy atkins’ no vale do São Francisco**. 2006. 152 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, 2006.

LUZ, J.M.Q.; SHINZATO, A.V.; SILVA, M.A.D. Comparação dos sistemas de produção de tomate convencional e orgânico em cultivo protegido. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.2, p.7-15, 2007.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance - Current Assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v.103, n.1R2, p.115-134, 1977.

MAKISHIMA, N.; CARRIJO, O.A. **Cultivo protegido do tomateiro**, Brasília, 1998. 20p. (Circular Técnica da EMBRAPA Hortaliças, 13)

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola – Adubos e adubação**. São Paulo:Ceres, 1981. 596 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Orlando: Academic Press, 1995. 649 p.

MEDEIROS, P.R.F. **Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade para a cultura do pepino enxertado**. 2007. 82 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MEDEIROS, J.F.; SILVA, M.C.C.; SARMENTO, D.H.A.; BARROS, A. D. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.248–255, 2007.

MEDEIROS, J.F.; DIAS, N.S.; BARROS, A.D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.3, p.242-247, 2008.

MEDEIROS, P.R.F.; DUARTE, S.N.; DIAS, C.T.S. Tolerância da cultura do pepino a salinidade em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.406–410, 2009.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. A solução do solo. In: MEURER, E. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 101-129.

MIRANDA, J.; COSTA, L.M.; RUIZ, H.A.; EINLOFT, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.633-647, 2006.

MIRANDA, F.R.; OLIVEIRA, J.J.G.; SOUZA, F. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultivo para a cultura da melancia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.35, n.1, p.36-43, 2004.

NERY, A.R.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, M.B.R.; FERNANDES, P.D.; CHAVES, L.H.G.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H.R. Crescimento do pinhão-mansão irrigado com águas salinas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.5, p.551–558, 2009.

OLIVEIRA, F.A., MEDEIROS, J.F., OLIVEIRA, M.K.T., LIMA, C.J.G.S., ALMEIDA JUNIOR, A.B., AMÂNCIO, M.G. Desenvolvimento inicial do milho pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. **Revista Brasileira Ciências de Agrárias**, Recife, v.4, n.2, p.149-155, 2009.

OLIVEIRA, A.M.; OLIVEIRA, A.M.P.; DIAS, N.S.; MEDEIROS, J.F. irrigação com água salina no crescimento inicial de três cultivares de algodão. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 467-475, 2008.

OLIVEIRA, B.C.; CARDOSO, M.A.A.; OLIVEIRA, J.C.; OLIVEIRA, F.A.; CAVALCANTE, L.F. Características produtivas do tomateiro submetida a diferentes níveis de sais, na água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.11–16, 2007.

PORTO FILHO, F.Q.; MEDEIROS, J.F.; SENHOR, R.F.; MORAIS, P.L.D.; MENEZES, J.B. Qualidade de frutos do melão amarelo irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. **Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.193-198, 2009.

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

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A.M. **The use of saline water for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48.).

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 48 revisado.)

SÁ, N.S.A.; PEREIRA, G.M.; ALVARENGA, M.A.R.; MATTIOLI, W.; CARVALHO, J.A. Comportamento da cultura do tomateiro sob diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.3, p.341-347, 2005.

SILVA, A.B.F., FERNANDES, P.D., GHEYI, H.R., BLANCO, F.F. Growth and yield of guava irrigated with saline water and addition of farmyard manure. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.4, p.354-359, 2008.

SILVA, T.J.A.; MACHADO, C.C.; BONFIM-SILVA, E.M.; COELHO, R.D. coeficiente de cultivo (kc) do meloeiro tipo rendilhado cultivado em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 72-81, 2004.

SILVA, E.F.F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução de solo**. 2002. 136 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, E.F.F.; ANTI, G.R.; CARMELLO, Q.A.C.; DUARTE, S.N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.785-789, 2000.

SILVA, W.L.C.; CARRIJO, O.A.; MAROUELLI, W.A. Fertirrigação na Embrapa Hortaliças. In: FOLEGATTI, M.V. (coord.) **Fertirrigação: Citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999b. cap.5, p.433-440.

SOUZA, R.A.; LACERDA, C.F.; AMARO FILHO, J.; HERNANDEZ, F.F.F. Crescimento e nutrição mineral do feijão de corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira Ciência Agrária**, Recife, v.2, n.1, p.75-82, 2007.

TAPIA, G.J. Filmes técnicos para invernadores. **Revista Plásticos Modernos**, Madri, v. 295, n.1, p 75-82, 1981.

VAN IEPERIN, W. Dynamic effects of change in electric conductivity on transpiration and growth of greenhouse-grown tomato plants. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 71, n. 3, p.: 481-496, 1996.

VANOTTI, M.B.; BUNDY, L.G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n.2, p.243-249, 1994.

VILLAS BOAS, R.L.; KANO, C.; LIMA, C.P.; NANETTI, F.A.; FERNANDES, D.M. Efeito de doses de nitrogênio aplicado de forma convencional e através da fertirrigação na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v.18, p.801-802, 2000. Suplemento