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

**Nitrogênio e tipos de substratos no monitoramento nutricional, na
produtividade e na qualidade do tomateiro cultivado em ambiente
protegido climatizado**

Rafael Campagnol

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2015**

Rafael Campagnol
Engenheiro Agrônomo

**Nitrogênio e tipos de substratos no monitoramento nutricional, na produtividade e na
qualidade do tomateiro cultivado em ambiente protegido climatizado**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. **SIMONE DA COSTA MELLO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2015

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

Campagnol, Rafael

Nitrogênio e tipos de substratos no monitoramento nutricional, na produtividade e na qualidade do tomateiro cultivado em ambiente protegido climatizado / Rafael Campagnol. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.
95 p. : il.

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

1. *Solanum lycopersicum* 2. Tomate grape 3. Cultivo protegido 4. Solução nutritiva
5. Fertirrigação 6. Clorofilômetros 7. Medidores de íons específicos I. Título

CDD 635.642
C186n

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

DEDICATÓRIA

A toda minha família.

AGRADECIMENTO

A Deus, por ter me acompanhado durante essa caminhada e por tudo que sou e que tenho.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela oportunidade da realização desse sonho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À professora Simone da Costa Mello, pela orientação, amizade e paciência. Obrigado pela confiança e dedicação ao meu trabalho.

Ao professor Keigo Minami, por todos os ensinamentos, amizade, confiança e exemplo. Obrigado por me atender sempre prontamente e com muita atenção.

Ao professor Paulo César Tavares de Melo, por toda experiência e informações compartilhadas, pela confiança e amizade.

Ao professor Hilton Thadeu Zarate do Couto, pelo auxílio na análise estatísticas dos dados, pelos conhecimentos transmitidos e paciência.

À Patrícia Bachiega, minha namorada, que me acompanhou e me incentivou durante todos os momentos, alegres e difíceis. Ao seu lado foi mais fácil vencer todos os desafios. Obrigado pela paciência, carinho e cumplicidade.

A todos os membros do Grupo de Estudos e Práticas em Olericultura (GEPOL) que direta e indiretamente ajudaram na condução e avaliação dos experimentos. Sem a ajuda de vocês a realização desse trabalho não seria possível.

À Marina Sturion Bortoletto e Lilian Heloísa pela ajuda na condução dos experimentos e paciência.

Aos colegas Sueyde Fernandes de Oliveira, Ricardo Toshiharu Matsuzaki, Renes Rossi Pinheiro e Gustavo Quesada pela amizade, apoio e colaboração.

A todos os funcionários da área experimental do Departamento de Produção Vegetal, Aparecido Donizete Serrano, José Nivaldo dos Santos, Gaudêncio Stênico, pela ajuda na execução dos experimentos.

À equipe da Divisão de Biblioteca e Documentação, pelo apoio e gentileza no ajuste das normas da tese.

À empresa Sakata Seed Sudamérica, pela doação das sementes de tomate.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho e que por ventura não mencionei, meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 A cultura do tomateiro	15
2.2 Cultivo em ambiente protegido	16
2.3 Fertirrigação e manejo da solução nutritiva	18
2.4 Substrato	21
2.5 Nitrogênio.....	23
2.6 Análise de nutrientes na planta	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Localização e características da área experimental	29
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	30
3.3 Sistema de cultivo das plantas	31
3.4 Análise dos substratos	31
3.5 Fertirrigação e manejo da solução nutritiva	32
3.6 Cultivar de tomate	36
3.7 Colheita dos frutos.....	36
3.8 Características avaliadas.....	37
3.9 Análise estatística dos resultados	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Análise da solução drenada pelos vasos	41
4.2 Estado nutricional das plantas	53
4.3 Características produtivas e qualitativas.....	63
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICES	85

RESUMO

Nitrogênio e tipos de substrato no monitoramento nutricional, na produtividade e na qualidade do tomateiro cultivado em ambiente protegido climatizado

A produção de hortaliças em substratos é uma técnica de cultivo que pode aumentar a produtividade, economizar recursos e facilitar o manejo nutricional das plantas. Contudo, para que isso seja possível, deve-se conhecer os fatores que afetam o crescimento das plantas cultivadas nesse sistema. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes doses de nitrogênio da solução nutritiva (SN) (60, 80 100, 120 e 140% da dose padrão) em dois tipos de substratos (S1: fibra de coco e S2: a base de casca de pinus) no cultivo de minitomate *Sweet Grape*. Foram avaliadas ao longo do ciclo de cultivo o pH, a condutividade elétrica (CE) e o teor de nitrato (NO_3^- drenado) e potássio (K^+ drenado) na solução drenada dos vasos, o índice SPAD e o teor de nitrato (NO_3^- pecíolo) e potássio (K^+ pecíolo) da seiva do pecíolo das folhas e o teor de nitrogênio da massa seca das folhas (N_{folha}). Foram determinados o número de cacho por planta (NCPP) e o comprimento médio das hastes (CMH). Os frutos colhidos foram classificados, contados e pesados para a obtenção da massa média dos frutos grandes (MMFG), médios (MMFM) e pequenos (MMFP), massa total de frutos por planta (MTFPP), massa total de frutos grandes (MTFG), médios (MTFM), pequenos (MTFP) e rachados (MTFRA), número total de frutos por planta (NTFPP), número total de frutos grandes (NTFG), médios (NTFM), pequenos (NTFP) e rachados (NTFRA). Amostras de frutos foram coletadas em três períodos e avaliadas quanto ao teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT) e concentração de ácido ascórbico (AA). Os valores de $\text{pH}_{\text{drenado}}$ diminuíram com o aumento das doses de N da solução nutritiva. Os efeitos do N no $\text{pH}_{\text{drenado}}$ se intensificaram ao longo do ciclo de cultivo em razão do acúmulo de sais no meio radicular, principalmente no S1. A $\text{CE}_{\text{drenada}}$ aumentou com dose de N e foi maior no S2. O aumento da dose de N elevou os teores de NO_3^- drenado em ambos os substratos. O K^+ drenado foi superior na dose de 140% de N no S1. Os valores de índice SPAD e N_{folha} aumentaram com a elevação das doses de N da solução nutritiva e reduziram ao longo do ciclo de cultivo. O NO_3^- pecíolo elevou com o aumento da dose de N da SN. A MMFG foi superior com a adição de 140% de N em relação à dose de 60%. O aumento da dose de N elevou o NTFG, NTFM, NTFP, NTRA e NTFPP. O maior NTFG foi obtido no S2 enquanto que o maior NTFPP, NTFP e NTFRA ocorreu no S1. A MTFG, MTFM, MTFP, MTFRA e MTFPP aumentaram com o aumento da dose de N. Os valores mais elevados de MTFG e MTFP foram obtidos na dose de 140% de N, 331,05 e 1.249,82 g planta⁻¹, respectivamente. A maior MTFM foi obtida na dose de 120% de N, não diferindo, porém, das doses de 100 e 140% de N. O TSS, a AT e o AA dos frutos não foram influenciados pelas doses de N e tipos de substrato.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*; Tomate grape; Cultivo protegido; Solução nutritiva; Fertirrigação; Clorofilômetros; Medidores de íons específicos

ABSTRACT

Nitrogen and substrate in nutritional management, yield and quality of tomato growth in climated greenhouse

Vegetables production in soilless media is a technique that can increase yield, saving resources and facilitate the nutritional management of plants. However, for that to be possible, it is necessary to know how the factors affect the plants growth in this system. The aim of this study was to evaluate the effects of different nitrogen rates of nutrient solution (NS) (60, 80, 100, 120 and 140% of the standard) in two type of soilless media (S1: coconut fiber and S2: pine bark as base) for the mini tomato *Sweet Grape* growth. Were evaluated during the growing season pH, electrical conductivity (EC) and the nitrate content (NO_3^- drained) and potassium (K^+ drained) in the solution drained from the vessels, SPAD index and the nitrate (NO_3^- petiole) and potassium (K^+ petiole) content on petiole sap from the leaves and the nitrogen content in leaf dry mater (N_{leaf}). Were determined the number of fruit per plant (NFPP) and the average length of stems (ALS). The harvested fruits were sorted, counted and weighed to obtain the average mass of large fruits (AMLF), medium fruits (AMMF) and small fruits (AMSF), total weight of fruits per plant (TWFPP), total weight of large fruits (TWLF), medium fruits (TWMF), small fruits (TWSF) and cracked fruits (TWCF), total number of fruits per plant (TNFPP), total number of large fruits (TNLF), medium fruits (TNMF), small fruits (TNSF) and cracked fruits (TNCF). Fruit samples were collected in three periods and evaluated for soluble solids (SS), titratable acidity (TA) and concentration of ascorbic acid (AA). The $\text{pH}_{\text{drained}}$ values decreased with increasing N levels in nutrient solution. The effects of N on $\text{pH}_{\text{drained}}$ intensified throughout the growing season due to the accumulation of salts in the root medium, especially in S1. The $\text{CE}_{\text{drained}}$ increased with N rate and was higher in S2. The increase in N rate increased the levels of NO_3^- drained on both substrates. The K^+ drained was higher at 140% N dose in S1. SPAD index and N_{leaf} values increased with higher N rates in nutrient solution and reduced throughout the growing season. The NO_3^- petiole increased with increasing dose of N in NS. The MMFG was higher with the addition of 140% N in relation to the dose of 60%. The increase in N rate increased the TNLF, TNMF, TNSF, TNCF and TNFPP. The biggest TNLF was obtained in S2 while the largest TNFPP, TNSF and TNCF occurred in S1. The TWLF, TWMF, TWSF, TWCF and TWFPP increased with increasing N levels in NS. The highest values of TWLF and TWSF were obtained at 140% N level, 331.05 and 1249.82 g plant⁻¹, respectively. The biggest TWMF was obtained at 120% N level in NS, however, not differing of the 100 and 140% N levels. The SS, TA and AA fruits were not influenced by N and substrate types.

Keywords: *Solanum lycopersicum*; Grape tomato; Nutrient solution; Fertigation; Chlorophyll meter; Specific ions meters

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de hortaliças diferenciadas vem crescendo continuamente nos últimos anos em ambiente protegido. O minitomate é uma das principais opções nesse sistema de cultivo devido ao seu alto valor agregado e suas características organoléticas, que tem agradado muito os consumidores.

Nas últimas décadas, ocorreram profundas transformações na cadeia produtiva de hortaliças em busca da modernização para disponibilizar no mercado produtos de melhor qualidade e maior rentabilidade para os produtores. Nesse aspecto, vários desafios são enfrentados pelos produtores como melhoria dos sistemas de produção, redução dos custos, aumento da receita na venda dos produtos e eliminação dos elos desnecessários da cadeia de intermediação.

A tecnologia do cultivo em ambiente protegido, quando introduzida no Brasil, visava o cultivo de hortaliças na entressafra, época em que os produtos alcançavam preços elevados de mercado. Atualmente, é uma tecnologia incorporada ao sistema de produção de hortaliças. Os fatores responsáveis por essa expansão têm sido o aumento da produtividade e competitividade, as mudanças no sistema de comercialização e o fundamental papel do consumidor, que está se tornando cada vez mais exigente por alimentos seguros, de boa aparência, saborosos e nutritivos.

O cultivo protegido de hortaliças em substratos é uma técnica moderna e que proporciona maior controle dos fatores nutricionais das plantas (GAVILÁN, 2004). Com isso, consegue-se aumentar o rendimento dos cultivos com menor uso de insumos e riscos. Contudo, para que isso seja possível, deve-se entender o comportamento das plantas e suas interações com o meio de cultivo e entre os fatores que o compõem. O manejo da solução nutritiva em cultivos realizados em substrato, juntamente com o monitoramento e ajuste das condições nutricionais das plantas, é fundamental para garantir um suprimento adequado de nutrientes durante todo o seu período de crescimento e com isso o aumento produtivo (JONES, 2005).

Dentre os nutrientes exigidos pelas plantas, o nitrogênio é o que mais influencia a produtividade do tomateiro (PAPADOPOULOS, 1991). Contudo, na prática, observam-se mais problemas relacionados ao seu excesso do que sua carência. Sua aplicação em doses elevadas pode acarretar em prejuízos produtivos e em danos ambientais devido a sua lixiviação (DJIDONOU et al., 2013). Além disso, seu comportamento no meio de cultivo pode ser influenciado e afetar diversos processos, dentre eles, a acidez do meio radicular, a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas plantas (JONES, 2005).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de doses de nitrogênio da solução nutritiva e de diferentes substratos ao longo do ciclo de cultivo de minitomate sobre suas características nutricionais e produtivas e sobre as características químicas dos substratos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do tomateiro

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.), espécie originária da América do Sul (POLSTON; ANDERSON, 1999), é uma das hortaliças mais consumidas no mundo. É cultivada em diferentes latitudes geográficas do planeta em sistemas de cultivo ao ar livre ou sob proteção, com ou sem solo e sob diferentes níveis de manejo cultural.

No Brasil, essa cultura também apresenta grande importância econômica, social e alimentar. Foram produzidos em 2012 no país aproximadamente 3,9 milhões de toneladas de tomate, equivalente a 2,4% do total produzido no mundo (FAO, 2014). O valor da produção de tomate nesse mesmo ano foi de aproximadamente 3,4 bilhões de reais (IBGE, 2014). Em 2013, em função da alta dos preços do tomate de mesa, o valor bruto da produção desse produto atingiu 10 bilhões de reais (ZAFALON, 2014).

A cadeia produtiva brasileira do tomate vem experimentando importantes transformações desde o final da década passada, orientadas pela progressiva modernização do setor e aumentos de produtividade. Como consequência, os rendimentos médios das lavouras de tomate, tanto de mesa quanto industrial, têm aumentado de forma significativa e consistente desde o início da década de 1980. As produtividades médias alcançadas nas décadas de 1980, 1990 e 2000 foram de 33,9 t ha⁻¹, 42,1 t ha⁻¹ e 59,0 t ha⁻¹, respectivamente (FAO, 2014). Em 2012, a produtividade média brasileira atingiu 60,7 t ha⁻¹, ou seja, praticamente dobrou em relação a 1980, quando se produzia apenas 30,6 t ha⁻¹ (FAO, 2014). É importante mencionar que atualmente produtores que adotam alto nível técnico no manejo cultural e insumos modernos, a produtividade facilmente supera 100 t ha⁻¹ de frutos, tanto nos cultivos tutorados, cuja produção se destina ao consumo fresco, quanto nas lavouras rasteiras, onde é produzida, usualmente, matéria-prima para o processamento industrial.

Dentro do segmento de tomate de mesa, o cultivo de minitomates cresceu muito nos últimos anos no Brasil, principalmente entre os produtores que adotam alto nível tecnológico. Os minitomates apresentam características organolépticas superiores aos frutos de tomate tradicionais, o que favorece a agregação de valor ao produto. Enquanto os tomates tradicionais possuem teores de sólidos solúveis que variam de 4 a 6 °Brix, os minitomates, facilmente atingem valores superiores a 8° Brix. Outro atrativo dessa classe de tomate é o seu tamanho reduzido, podendo ser consumido como aperitivos em saladas e coquetéis. As características de sabor e aparência ampliam as possibilidades de aplicação culinária dos minitomates. Esse produto também apresenta para o produtor boa produtividade, rusticidade,

boa adaptação ao cultivo em ambiente protegido e potencial para uso reduzido de defensivos agrícolas.

Economicamente, estes tomates atingem cotações de mercado muito superiores aos outros tipos, principalmente em relação aos tipos salada. Segundo CEAGESP (2014), o valor pago por 1 quilo de tomate *cereja*, em dezembro de 2014, foi de 4,05 reais, enquanto que os dos tomates salada extra, extra A, e extra AA, no mesmo período, foram de 1,46, 1,85 e 2,29 reais kg^{-1} , respectivamente. Cabe lembrar que na classificação de tomate praticada pelo CEAGESP os tomates do tipo *grape* estão incluídos dentro da classe dos tomates *cerejas*. Nos supermercados, onde é encontrada uma variedade maior de minitomates, o valor pago pelos consumidores pelo tomate *grape* pode ultrapassar 20,0 reais kg^{-1} .

2.2 Cultivo em ambiente protegido

Hoje em dia, verifica-se uma clara tendência por parte do mercado consumidor para aquisição de produtos de alta qualidade durante o ano inteiro. Em condições de clima subtropical e tropical, salvo algumas situações, isso é difícil de ser obtido, ocorrendo grande oscilação da qualidade das hortaliças ofertadas ao longo do ano. Isso ocorre, sobre tudo, devido a limitações climáticas, como excesso de temperatura, chuvas e alta incidência de pragas e doenças. Dessa forma, o cultivo protegido tem sido uma estratégia adotada pelos produtores para garantir o suprimento do mercado com hortaliças de alta qualidade o ano todo. Apesar do elevado custo de implantação do empreendimento, os benefícios desse sistema de produção proporciona, ao longo do tempo, o retorno dos investimentos, desde que sejam escolhidas hortaliças que propiciem maiores rendimentos produtivos e qualitativos, agreguem valor e que sejam produtos inovadores, demandados por público diferenciado e de alto poder aquisitivo (WIJNANDS, 2003).

De modo geral, cultivo em ambiente protegido é aquele onde se faz o controle de um ou mais fatores climáticos, englobando um conjunto de práticas e tecnologias que proporcionem a condução mais segura e protegida das plantas (WITTEWER; CASTILLA, 1995).

A produção comercial de hortaliças em ambiente protegido constitui um sistema de cultivo largamente utilizado nos países europeus. Nos países mediterrâneos, onde o cultivo protegido é muito difundido, dos 135 mil hectares sob proteção, 130 mil são destinados à produção de hortaliças.

No Brasil, trata-se de uma modalidade de cultivo relativamente recente e está concentrada notadamente nos estados das regiões Sudeste e Sul. A produção de tomate em

ambiente protegido propicia aumento de produtividade, melhor padronização e qualidade dos frutos e, conseqüentemente, maior lucratividade para o setor produtivo (MARTINS et al., 1992). Vários trabalhos têm demonstrado a eficiência da cobertura plástica na produção de tomate do grupo Salada de porte indeterminado, quando comparado com o cultivo a céu aberto. Horino et al. (1987), Horino e Pessoa (1989) e Reis et al. (1991) avaliaram o comportamento de diversas cultivares de tomateiros em ambiente protegido e obtiveram rendimentos que variaram de 17 a 77% acima dos alcançados no cultivo à campo.

As principais vantagens do cultivo de plantas em ambiente protegido são: maior proteção quanto aos fatores adversos do clima; redução da quantidade de fertilizantes; maior produtividade; maior qualidade dos produtos; redução do ciclo da planta e geração de empregos permanentes (ANDRIOLO, 1999; PURQUERIO; TIVELLI, 2006; RODRIGUES, 2002; TIVELLI, 1998). As espécies de clima quente, que tem seu cultivo restringido por baixas temperaturas, são beneficiadas em ambiente protegido, principalmente na entressafra, onde adquirem maior valor de mercado e rentabilidade ao agricultor (FNP, 2008). O ambiente protegido quando utilizado de forma correta, pode proporcionar produtividades de duas a três vezes superiores às aquelas obtidas no campo (CERMEÑO, 1990).

Por outro lado, esse sistema tem suas desvantagens, como o elevado custo para sua implantação, necessidade de mão de obra especializada, bem como, a necessidade de conhecimento multidisciplinar para que os manejos do solo, da adubação e das plantas sejam bem feitos e se obtenha sucesso na atividade (GOTO et al., 2005).

Dados estatísticos oficiais, no Brasil, sobre a produção de hortaliças em ambiente protegido ainda não são encontrados. No entanto, o Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura estima em cerca de 17 mil hectares de estufas (FIGUEIREDO, 2011). São Paulo detém a maior área coberta com estufas, são 14,4 mil hectares divididos em 4.838 unidades de produção agropecuária (CATI, 2008). O sistema de cultivo de tomate em ambiente protegido, apesar de não caracterizar a forma mais comum de cultivo dessa hortaliça, vem ganhando importância no Brasil, principalmente nas últimas décadas (ALVARENGA, 2013).

Entretanto, muitas informações sobre práticas de cultivo de tomate em ambiente protegido ainda são necessárias, principalmente em relação à modernização do setor, que atualmente encontra-se com grande potencial de expansão. Essas informações são indispensáveis para que as novas técnicas sejam realizadas de forma correta e adaptadas às condições brasileiras de cultivo.

2.3 Fertirrigação e manejo da solução nutritiva

Fertirrigação consiste na aplicação dos fertilizantes através da água de irrigação, sendo essa solução denominada de solução nutritiva. Nos últimos anos, principalmente entre produtores tecnificados, que cultivam sem o uso de solo, essa prática se tornou comum, sendo intitulada de cultivo hidropônico (JONES, 2005).

O cultivo hidropônico, quando comparado ao cultivo convencional, possibilita a obtenção de produtos de melhor qualidade, maior eficiência no uso da água de irrigação e fornecimento de nutrientes à cultura com maior eficiência e precisão, além de diminuir os impactos ambientais causados pela lixiviação de fertilizantes (STANGHELLINI et al., 1998). Outras vantagens proporcionadas por esse sistema de produção são consequências do ambiente de cultivo, onde a cobertura plástica favorece o controle de fatores ambientais como umidade, temperatura e radiação solar. Dessa forma, consegue-se prolongar o período de colheita do tomateiro, proporcionando maiores produtividades e menor incidência de pragas e doenças (CARRIJO; MAKISHIMA, 2003).

A composição da solução nutritiva é de fundamental importância para o sucesso da hidroponia. Todos os nutrientes essenciais devem ser fornecidos em níveis compatíveis às exigências de cada espécie e de acordo com a fase de desenvolvimento (HAAG et al., 1993; JONES, 2005). Assim, a concentração de nutrientes na solução é essencial para elevar a produtividade e melhorar a qualidade do produto (DORAIS; PAPADOPOULOS; GOSSELIN, 2001a; FURLANI et al., 1999).

Em sistemas hidropônicos, a composição da solução nutritiva varia de acordo com o desenvolvimento das plantas. Essa variação, induzida pela adição de fertilizantes e sua absorção pelas plantas, causa alterações nas quantidades de sais no meio radicular e tende a se agravar ao longo do cultivo (ADAMS, 2004; JONES, 2005; MARTÍNEZ, 2002). Por esse motivo, o manejo da solução nutritiva das plantas através do monitoramento e controle de fatores como temperatura, pH e condutividade elétrica da solução nutritiva (ADAMS, 2004; FURLANI et al., 1999; JONES, 2005) devem ser feitos periodicamente afim de se manter as condições mais próximas do ideal para o melhor desenvolvimento das plantas.

O controle do pH é fundamental para a manutenção da integridade das membranas e da disponibilidade de nutrientes para absorção radicular (ADAMS, 2004; MARTÍNEZ, 2002). Segundo Alvarenga (2013) e Novais e Mello (2007), valores de 6,0 a 6,5 aumentam, de maneira geral, a disponibilidade da maioria dos elementos essenciais ao tomateiro. A redução da acidez do meio aumenta a disponibilidade de P e Mo e diminui a disponibilidade de Fe, Cu, Zn e Mn (NOVAIS; MELLO, 2007).

Em cultivos realizados em recipientes com pequeno volume disponível ao desenvolvimento radicular, o monitoramento e ajuste das condições radiculares são essenciais para o bom desenvolvimento das plantas e devem ser feitos periodicamente ao longo do ciclo de cultivo. O pH na zona radicular aumenta continuamente em cultivos hidropônicos, necessitando de ajustes frequentes, muitas vezes diários (JONES, 2005). Este fato pode ser explicado por duas razões: a primeira pode ser pela própria água de irrigação, que pode ser alcalina, ou seja, apresentar valores acima de 7; e a segunda devido a liberação de ânions (OH^- ou HCO_3^- ou RCOO^-), que se intercambiam por outros íons, principalmente nitrato, quando estes são absorvidos pelas raízes. Como isso é um processo contínuo, o pH no meio radicular tenderá a aumentar (ADAMS, 2004; JONES, 2005; PAPADOPOULOS, 1991).

O controle do pH em hidroponia pode ser obtido por dois métodos, que podem ser utilizados de forma isolada ou combinada. O primeiro método é ajustando o pH da água ou da solução nutritiva por meio a aplicação de ácidos minerais (HNO_3 e/ou H_3PO_4). Nesse caso, deve-se acrescentar aos cálculos da necessidade de nutrientes aqueles adicionados através dos ácidos utilizados para o ajuste do pH. O segundo método de controle do pH é através da adição de NH_4^+ na formulação da solução nutritiva com o objetivo acidificar o meio pelo poder acidificante dos fertilizantes que contém essa forma de N e também durante a conversão de amônio a nitrato, que gera íons H^+ . Contudo, para evitar uma séria redução da absorção de Ca, a quantidade de NH_4 adicionado não deve ultrapassar 5-10% do total de N na solução (ADAMS, 2004).

A condutividade elétrica (CE), por sua vez, é uma característica que representa a concentração total de sais dissolvidos numa solução e é frequentemente relacionada com sua salinidade. Apesar de ser facilmente obtida, a condutividade elétrica não determina a concentração de cada nutriente presente na solução, embora seja amplamente usada para se determinar a concentração de nutrientes totais em solos, substratos e soluções (JONES, 2005).

Existem muitas controvérsias com relação ao melhor valor de condutividade elétrica a ser adotado para o cultivo de hortaliças. Acredita-se também que esses valores devem variar de acordo com a cultivar adotada, condições climáticas e práticas culturais. Os valores de condutividade elétrica são proporcionais à concentração dos vários íons em solução, e da mesma forma ao potencial osmótico da mesma. De acordo com Bresler e Hoffman (1986), a absorção de água pelas plantas, através do sistema radicular, é influenciada pelo potencial osmótico do meio nutritivo. Huett (1994) afirma que a condutividade da solução nutritiva não influencia somente a absorção de água, mas também a absorção de nutrientes, estando ambas intimamente ligadas.

As mudanças na absorção de água e nutrientes, proporcionadas pela variação da condutividade do meio nutritivo, levam às alterações da fisiologia das plantas (BELTRÃO et al, 1997). Essas alterações relacionam-se, dentre outros fatores, à abertura estomática e ao aumento ou diminuição da área foliar, estando esses fatores intimamente ligados a síntese de clorofila e com a eficiência fotossintética e, conseqüentemente, com a produção de material seco pelas plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Furlani et al. (1999) recomendam que, para hortaliças de frutos como melão, pepino, pimentão e tomate, a condutividade elétrica durante a fase de muda deve ser mantida entre 1,4 e 1,6 dS m⁻¹, porém, na fase de produção, as exigências nutricionais das culturas são maiores, sendo sugeridas condutividades para a solução nutritiva entre 2,0 e 4,0 dS m⁻¹.

O uso contínuo de soluções nutritivas com altas condutividades promove o aumento da concentração de sais no meio de cultivo, causando efeitos negativos no desenvolvimento vegetativo e produtivo do tomateiro (CUARTERO; FERNANDÉZ-MUÑOZ, 1999). O limite de tolerância após o qual o peso radicular diminui com o aumento da salinidade foi estimado em 6 dS m⁻¹ (NANAWATI; MALIWAL, 1974) e 4 dS m⁻¹ (PAPADOPOULOS; RENDIG, 1983). Segundo Cuartero e Fernández-Muñoz (1999), o valor limiar da condutividade elétrica da solução nutritiva para tomate é de 3,0 dS m⁻¹, onde o aumento unitário desta, é responsável pelo decréscimo da produtividade na ordem de 9 a 10%.

O cultivo de tomate sob condições salinas influencia a qualidade de fruto, como teor de sólidos solúveis, açúcares, acidez e pH, entretanto, aumenta a ocorrência de deficiências nutricionais como a podridão apical (deficiência de Ca). Esse fato foi constatado por Dorais, Gosselin e Papadopoulos (2001b) em diferentes estudos e condições de cultivo onde situações de salinidade acima de 2,3 a 5,1 mS cm⁻¹ proporcionaram redução indesejável da produtividade enquanto condutividades elétricas de 3,5 a 9,0 mS cm⁻¹ melhoraram a qualidade dos frutos. Andriolo et al. (2003), avaliando-se o crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com reutilização da solução nutritiva drenada, concluíram que efeitos negativos da CE elevada sobre a produtividade de frutos são observados somente com valores superiores a 4,9 dS m⁻¹.

O controle da CE em cultivos realizados em substrato muitas vezes é feito aumentando-se o volume de solução nutritiva ou de água aplicada às plantas, que por fluxo de massa retira o excesso de sais no meio de cultivo. O uso da solução nutritiva para essa finalidade evita a variação brusca da concentração osmótica da rizosfera, reduzindo problemas relacionados à maior absorção de água pelas plantas (LI; STANGHELLINI;

CHALLA, 2002). Contudo, aumenta demasiadamente a quantidade de fertilizantes utilizados no cultivo e lixiviados para o solo, elevando o custo de produção e a poluição ambiental.

2.4 Substrato

Substratos agrícolas são todos os materiais sólidos diferentes do solo, utilizados no cultivo de plantas, podendo ser de origem natural, sintética ou residual, mineral ou orgânico e constituído por um único material ou por uma mistura de dois ou mais (LÓPEZ, 2005). Tem como funções suportar fisicamente as plantas e fornecer a água e os nutrientes necessários ao seu crescimento (MINAMI, 2010). Deve ainda permitir um adequado fornecimento de oxigênio ao sistema radicular e ao mesmo tempo facilitar a saída de dióxido de carbono de modo a que seja assegurada a respiração radicular e microbiana (ASIAH et al., 2004).

A produção de hortaliças realizada diretamente no solo em condições de cultivos intensivos e sucessivos na mesma área, como ocorre em ambiente protegido, contribui com os processos de degradação e contaminação, que se tornam mais evidentes com o decorrer do tempo. As principais limitações ocasionadas por esse sistema de cultivo são a ocorrência de nematoides, patógenos de solo, salinidade e desequilíbrios nutricionais. Isso tem restringido o cultivo intensivo e contínuo de plantas nas estufas, pois nem sempre os produtores conhecem ou dominam as técnicas para solucioná-los. Uma alternativa para contornar essas dificuldades tem sido a utilização de substratos agrícolas associados à fertirrigação (MINAMI, 2010).

Outra vantagem proporcionada pelo uso de substratos é a maior facilidade no manejo nutricional das plantas (FURLANI et al., 2013), sendo possível realizar ajustes e correções nas concentrações de nutrientes com maior rapidez, facilidade e precisão. Contudo, apresenta algumas desvantagens, como maior custo de produção, maior risco de danos graves ao cultivo em situações onde o fornecimento de água às plantas é interrompido e maior nível técnico dos funcionários para a realização do manejo adequado do cultivo.

Assim, o sucesso do cultivo em substrato depende da otimização de diversas variáveis, dentre as quais as práticas de irrigação e nutrição das plantas (MAROUELLI; ZOLNIER; CARRIJO, 2002). Como o uso de substratos está relacionado, em geral, com o cultivo em recipientes, seja em sacos plásticos, latas, vasos ou bandejas, as plantas dispõem de um volume bem menor para o crescimento de suas raízes, quando comparado ao cultivo em solo, o que diminui a drenagem e a superfície de contato com a atmosfera, essencial para as trocas gasosas (KÄMPF, 2000). Sendo o volume do recipiente de cultivo reduzido, a quantidade total de água retida pelo substrato também é menor, tornando essencial o correto manejo da irrigação e da nutrição das plantas.

Nesse tipo de cultivo, um curto período de tempo sem irrigação pode afetar sensivelmente as plantas, causando danos às folhas, cachos florais e frutos do tomateiro. Pode causar também a desidratação demasiada do substrato, o que aumentará o tempo para a sua reidratação. No caso do tomate, variações muito bruscas de umidade no substrato, especialmente nos períodos de temperaturas mais elevadas, podem aumentar o número de frutos rachados, além de ocasionar salinizações momentâneas e, assim, afetar negativamente a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Com isso, as irrigações devem ser realizadas em regime de alta frequência e baixo volume, o que torna o manejo de água um fator limitante para a obtenção de altos rendimentos e a racionalização no uso de água e nutrientes (SANJUÁN; GAVILÁN, 2004).

Entre as matérias primas mais comumente utilizadas na composição de substratos agrícolas destacam-se: produtos de compostagem orgânicas diversas, turfas, cascas (Pinus, arroz), resíduos diversos da agroindústria, fibra de coco, vermiculita, perlita e cinastina, além do próprio solo mineral adicionado as mais variadas misturas.

A escolha do substrato para o cultivo de plantas deve ser baseada nas suas características físicas, químicas e biológicas, bem como no seu custo e disponibilidade. Assim, um bom substrato deve apresentar alta capacidade de retenção de água, aeração satisfatória, boa capacidade de tamponamento, ausência de pragas e agentes fitopatogênicos, ausência de inibidores de crescimento e pouca atividade biológica (MARTINEZ; BARBOSA, 1999; MINAMI, 2010). É ainda fundamental que essas propriedades permaneçam inalteradas ao longo do ciclo de cultivo, para que as práticas culturais possam ser padronizadas (ABAD BERJÓN; NOGUERA MURRAY, 1998; RÖBER, 2000).

Dois materiais que vem sendo muito empregados no cultivo em recipientes no Brasil, por serem encontrados com facilidade, em quantidade e a preços acessíveis, são a casca de pinus e a fibra de coco. A casca de pinus é um resíduo originado da indústria madeireira. Os trocos do Pinus (*Pinus* spp.) possuem em média de 12 a 20% (v/v) de cascas. Essa quantidade pode variar de acordo com a espécie, as condições de cultivo, a idade e o diâmetro das árvores. O resíduo gerado do processamento da madeira pode ser queimado para geração de energia ou compostado e usado como substrato ou fertilizantes orgânicos (FOELKEL; FOELKEL, 2008). A compostagem é essencial para eliminar ou reduzir a presença de fitotoxinas (principalmente compostos fenólicos) e o excessivo consumo de nitrogênio causado pelos microrganismos durante a decomposição da grande quantidade de celulose do material (imobilização). Suas propriedades químicas também podem variar devido à espécie, à idade das árvores, o tipo de madeira, às condições de cultivo e ao seu processo de

fabricação. Suas propriedades físicas, por sua vez, têm maior relação com o tamanho médio das partículas (ABAD-BERJÓN; NOGUERA-MURRAY; CARRIÓN-BENEDITO, 2004). Como substrato, a casca de pinus pode ser usada isoladamente ou em composição com outros materiais.

Já a fibra de coco é um subproduto do processamento do coco (*Cocos nucifera*) para a extração da água de coco e da polpa. Esse resíduo é constituído pelo mesocarpo fibroso do coco. Esse material, que antes era descartado no ambiente, provocando sérios problemas ambientais (PANNIRSELVAM et al., 2005), hoje é utilizado na produção de fibras para indústria (fibras maiores) e para confecção de substratos (fibras menores e pó) (LÓPEZ, 2005). Suas características físicas e químicas dependem da forma como as plantas foram adubadas, como a casca do coco foi processada em fibra e do tempo de armazenamento (ABAD et al., 2002; CARRIJO; LIZ; MAKISHIMA, 2002; EVANS; KONDURU; STAMPS, 1996; NOGUERA et al., 2000). A grande quantidade de lignina (35-45%) e de celulose (23-43%) e a pequena quantidade de hemicelulose (3-12%), que é a fração prontamente atacada por microorganismos, conferem a esse material uma grande durabilidade (NOGUERA et al., 2000). Como substrato, a fibra de coco é muito usada isoladamente, sendo um dos principais meios de cultivo para tomate e outras hortaliças. Também pode ser adicionada ou receber outros materiais.

2.5 Nitrogênio

O nitrogênio (N) faz parte de vários compostos nos vegetais, como aminoácidos, ácido nucleico, enzimas e clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2013). As principais reações bioquímicas nos vegetais e microrganismos envolvem a presença do N, o que o torna um dos elementos absorvidos em maiores quantidades pelas plantas (NOVAIS; MELLO, 2007). Esse elemento apresenta grande versatilidade nas reações de oxirredução, estando presente desde formas bem reduzidas, como o NH_4^+ , até oxidadas, como o NO_3^- . Isso lhe confere especial importância nos ciclos bioquímicos e no metabolismo das plantas. Aproximadamente 25% do gasto energético dos vegetais está relacionado com as reações envolvidas na redução de nitrato a amônio e sua subsequente incorporação às formas orgânicas nas plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Esse nutriente favorece o desenvolvimento foliar e, conseqüentemente, aumenta a capacidade fotossintética, tornando as plantas mais produtivas (BASTOS et al. 2013).

Entretanto, quantidades inadequadas desse nutriente, principalmente seu excesso, podem ser mais nocivo do que a sua carência. A aplicação excessiva de N contribui para

tornar a planta menos resistente a falta de água e mais susceptível ao ataque de doenças. Também provoca maturação tardia dos frutos e contribui para o aparecimento de doenças fisiológicas, tais como podridão-apical, frutos ocos e frutos com ombro-verde (BASTOS et al. 2013; ZAMBOLIM, 2000).

A deficiência, por sua vez, induz sintomas caracterizados por pequeno desenvolvimento da planta, folhagem verde-pálida ou amarelada, afinamento das folhas novas e, em fase aguda, paralisação do desenvolvimento das raízes (ALVARENGA, 2013). O fornecimento insuficiente desse nutriente às plantas reduz drasticamente sua produtividade.

Geralmente a produtividade das culturas responde positivamente à aplicação de fertilizantes nitrogenados que, de acordo com a espécie, custa pouco em relação aos benefícios gerados pelo seu uso, estimulando o produtor a aplicá-los em quantidades excessivas (NOVAIS; MELLO, 2007). Entretanto, a relação entre dose aplicada e produtividade é regida pela lei dos rendimentos decrescentes, sendo que a aplicação excessiva de N pode elevar desnecessariamente o custo de produção e a possibilidade de poluição ambiental (DJIDONOU et al., 2013; FONTES; ARAÚJO, 2007).

A resposta do tomateiro ao N depende de diversos fatores, entre os quais, da dose aplicada. Geralmente, aumentos nas doses de N resultam em incrementos da altura das plantas, da área foliar, do número de flores e de frutos comercializáveis por planta, do peso médio dos frutos e da produção total (ADAMS; WINSOR; DONALD, 1973; DJIDONOU et al., 2013; SAINJU; DRIS; SINGH, 2003). Porém, disponibilidade elevada de N pode causar atraso no estabelecimento de frutos, maturação lenta e maior ocorrência de defeitos nos frutos (COLTMAN, 1988; WARNER; ZHANG; HAO, 2004). Segundo Bénard et al. (2009), uma redução moderada no suprimento de N ao tomateiro pode aumentar o conteúdo de açúcares nos frutos sem afetar sua produtividade. Contudo, esse comportamento não pode ser considerado como padrão, podendo o tomateiro, dependendo do seu genótipo, também produzir frutos com maior teor de sólidos solúveis com o aumento do suprimento de N (WANG et al., 2007). Além do material genético, a dose de N deve ser ajustada em função da disponibilidade de água às plantas, como verificado por Warner, Zhang e Hao (2004), onde o aumento da dose de N elevou a produtividade de tomate, exceto quando o suprimento de água às plantas foi restrito.

O entendimento das principais reações que regem o comportamento do N no sistema solo-planta é, portanto, fundamental para o adequado manejo nutricional das plantas na agricultura moderna. Em sistemas onde não se usa o solo como meio de cultivo das plantas, como nos sistemas hidropônicos, as principais reações bioquímicas ocorrem na solução que

envolve o sistema radicular, sendo o comportamento do N nesse meio também controlado por fatores físicos, químicos e biológicos e afetado pelas condições climáticas do ambiente. Contudo, nesse sistema de cultivo, essas condições podem ser mais bem controladas ou manejadas em relação aos cultivos realizados no solo em campo aberto.

A maior parte dos fertilizantes nitrogenados comumente utilizados na agricultura é solúvel em água e têm o N prontamente disponível para os vegetais. No entanto, diferenças de comportamento podem ocorrer por causa de mecanismos de perda, presença ou interação com outros nutrientes, ou acidificação do solo ou do substrato. Tanto o NO_3^- como o NH_4^+ são absorvidos pelas raízes das plantas. A planta gasta mais energia para incorporar o N nítrico, contudo, N amoniacal pode se acumular no vacúolo em níveis tóxicos às células (SANJUÁN; GAVILÁN, 2004). De maneira geral, as plantas respondem melhor quando o N é fornecido nas duas formas, com predominância de N nítrico. Concentrações elevadas de NH_4^+ no meio radicular pode reduzir a absorção de cálcio (JONES, 2005)

Além disso, suprir nitrogênio em mistura balanceada de cátions e ânions tende a reduzir o rápido aumento no pH do meio, que é comumente observado quando o N é fornecido apenas na forma do ânion nitrato (TAIZ; ZEIGER, 2013). Mesmo quando o pH do meio é mantido neutro, a maioria das plantas cresce melhor se tiver acesso tanto a NH_4^+ quanto a NO_3^- , pois a absorção e a assimilação das duas formas de N promovem um balanço cátion-ânion dentro da planta.

2.6 Análise de nutrientes na planta

As plantas necessitam de um suprimento adequado de nutrientes durante todo o seu período de crescimento e, para isso, a concentração de nutrientes na solução onde as raízes irão se desenvolver deve ser mantida em nível satisfatório (MENGEL; KIRKBY, 1987).

Na análise de plantas, o objetivo é estabelecer a relação entre a concentração de nutrientes, crescimento e produção, utilizando esta relação em situações semelhantes para determinar o status nutricional da planta. Tal relação pode ser estabelecida em experimentos utilizando vasos ou diretamente no solo, variando-se os níveis de um ou mais nutrientes (BOUMA, 1983). Segundo Bar-Yousef (1991), existe a necessidade de pesquisas visando o desenvolvimento de métodos que permitam detectar pequena variação no estado nutricional das plantas e na concentração de nutrientes na solução do meio radicular para que estas possam ser corrigidas assim que forem observadas.

O estado nutricional das plantas pode ser avaliado por meio de análises diretas, pelas quais é estimada a concentração dos nutrientes nos tecidos, e indiretas, por meio de uma

característica cujos valores são correlacionados com as concentrações do nutriente na planta (FONTES, 2011).

Recentemente, métodos práticos têm sido avaliados para o monitoramento do nível nutricional das plantas para fins de manejo da fertirrigação. Dentre os equipamentos disponíveis no mercado, destacam-se os medidores portáteis de nutrientes a partir de eletrodos de íons específicos (MIEs) e os que analisam a intensidade do verde das folhas (Clorofilômetros).

Os MIEs são equipamentos práticos e de custo relativamente baixo, sendo uma boa alternativa quando as análises precisam ser rápidas, fáceis e de custo reduzido. A análise de NO_3^- e K^+ na seiva é direta, em tempo real, podendo ser realizada no próprio campo. A seiva do pecíolo é retirada por esmagamento diretamente no microeletrodo que instantaneamente fornece os valores dos nutrientes das amostras. Diversos autores verificaram correlações positivas entre o conteúdo de N e K nas folhas e os teores de K^+ e NO_3^- , respectivamente, na seiva do pecíolo (CAMPBELL et al., 1990; FONTES; ARAÚJO, 2007; GUIMARÃES et al., 1999; GÜLER; BÜYÜK, 2007; KALLENBACH, 1997).

As leituras fornecidas pelos MIEs podem ser afetadas por diversos fatores, além da disponibilidade de nutrientes, como, por exemplo, a espécie ou cultivar, o estágio de desenvolvimento da folha, a intensidade luminosa no momento da avaliação, época e local do cultivo, teor de água no solo, dentre outros (FONTES, 2011).

A análise da intensidade do verde das folhas é uma das técnicas mais recentes com potencial para avaliar o estado de nitrogênio da planta em tempo real, pelo fato de haver correlação significativa entre a intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de N na folha. Em doze espécies de plantas, Marquard e Tipton (1987) observaram correlação positiva entre a intensidade do verde e o teor de clorofila das folhas. Em tomate, esse equipamento apresentou correlações positivas com o aumento da disponibilidade de N às plantas (GUIMARÃES et al., 1999; SANDOVAL-VILLA; WOOD; GUERTAL, 2002; ULISSI et al., 2011).

O conteúdo de clorofila quase sempre está associado ao estado nutricional nitrogenado da planta, desde que outros nutrientes como magnésio, enxofre e ferro estejam em quantidades suficientes (FONTES; ARAÚJO, 2007). Entretanto, outros fatores como estresses biótico e abiótico podem alterar o verde da planta, como o estresse hídrico (GIANNAKOULA; ILIAS, 2013; SIBOMANA; AGUYOH; OPIYO, 2013) e salino (JAMIL; REHMAN; RHA, 2007). As condições que afetam a formação da clorofila afetam também o verde da folha, a absorção e a reflexão da energia solar (FONTES, 2011). O conteúdo de

água, o grau de maturação, idade, posição nodal, condição de iluminação, pubescência e intensidade de senescência são outros fatores que afetam a resposta espectral da folha (FONTES, 2011).

Em vista disso, o uso de equipamentos portáteis para avaliação do estado nutricional é viável e acessível, podendo ser uma ferramenta muito útil aos produtores para acompanhamento, diagnóstico e prognóstico do estado nutricional das culturas. Contudo, para isso, algumas padronizações nos procedimentos de avaliação devem ser feitas para evitar ou reduzir possíveis variações ou erros nos resultados obtidos pelos equipamentos, como horário de amostragem, cultivar e estágio de desenvolvimento da folha. Esses resultados, por sua vez devem ser interpretados em função das condições de cultivos e da espécie ou cultivar utilizada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido entre os meses de novembro de 2012 a julho de 2013 em estufa agrícola localizada na área experimental do Departamento de Produção Vegetal, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, no município de Piracicaba (SP). Segundo a classificação climática proposta por Köppen, o clima é do tipo Cwa, ou seja, subtropical úmido com três meses mais secos (junho, julho e agosto), chuvas de verão, seca no inverno, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C.

A estufa agrícola utilizada foi do tipo arco com dois módulos de 6,4 m de largura, 28 m de comprimento, 3,4 m de altura do pé direito, coberta com duplo filme de polietileno aditivado (anti-UV) com 150 µm de espessura, laterais fechadas com duplo filme de polietileno aditivado, tela termorefletora e sistema de resfriamento evaporativo (Pad&Fan). O sistema evaporativo era acionado automaticamente sempre que a temperatura no interior da estufa ultrapassava 28°C.

Foram registradas a cada 30 minutos a temperatura, a umidade relativa e a radiação fotossinteticamente ativa no interior da estufa por meio de uma mini estação meteorológica (Spectrum, WachtDog 2475 Plant Grow Station). Os sensores foram mantidos a 1,5 m de altura, no centro da estufa, sem sofrer efeito de sombreamento pelas plantas (Figura 1).

Figura 1 - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) registradas ao longo do ciclo de cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Figura 2 - Umidade relativa do ar máxima (URmax), média (URmed) e mínima (URmin) registradas ao longo do ciclo de cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram compostos por cinco doses de nitrogênio, que corresponderam a 60 (58,82 e 72,59 mg L⁻¹), 80 (78,59 e 96,80 mg L⁻¹), 100 (98,08 e 120,01 mg L⁻¹), 120

(117,78 e 145,22 mg L⁻¹) e 140% (137,21 e 169,46 mg L⁻¹) da dose de N da solução padrão (fase vegetativa e reprodutiva, respectivamente) e dois tipos de substratos agrícolas (S1 = substrato composto por fibra de coco e S2 = substrato à base de casca de pinus). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições. Cada parcela foi composta por oito plantas.

3.3 Sistema de cultivo das plantas

As mudas foram produzidas por empresa especializada em bandejas plásticas de 128 células preenchidas com substrato fibra de coco. Quando apresentavam de 3 a 4 folhas verdadeiras (aproximadamente 30 dias após a semeadura – DAS), foram transplantadas para vasos de 8 litros com substrato. Os vasos foram distribuídos na estufa no espaçamento de 0,4 m entre plantas, 0,8 m entre linhas e 1,4 entre linhas duplas (2,3 plantas m⁻²).

As plantas foram conduzidas no sistema contínuo com duas hastes, sendo uma a haste principal e a outra originária da brotação desenvolvida na axila foliar imediatamente abaixo do primeiro cacho floral. Essas hastes foram conduzidas no sentido vertical através de fitilhos plásticos. A extremidade inferior do fitilho foi amarrada na base da planta e a extremidade superior foi enrolada em uma “bobina” de aço e pendurada no arame superior posicionado a 3,0 m de altura sobre a linha de cultivo. De acordo com o crescimento das plantas, quando as hastes alcançaram os arames superiores, os fitilhos foram desenrolados das bobinas, as partes desenvolvidas das hastes que já tiveram os frutos colhidos foram abaixadas e deitadas todos no mesmo sentido. As partes em desenvolvimento foram enroladas nos fitilhos, proporcionando assim, um crescimento contínuo das plantas. Nesse sistema de condução, a posição das hastes altera-se com seu crescimento, entretanto, mantem-se na mesma densidade por área.

Diariamente, no período da manhã (após as 9:00h), foi feita a polinização das plantas através da vibração do arame de condução superior. Semanalmente, foi realizada a retirada das brotações laterais e a retirada das folhas inferiores. Na sequência, procedeu-se a pulverização com fungicida à base de cobre e/ou outros defensivos quando necessário.

3.4 Análise dos substratos

Amostras dos dois substratos foram coletadas e analisadas no laboratório de análise de fertilizantes e corretivos (ESALQ/USP): CTC (extração com HCl 0,5 N); pH (CaCl₂ 0,01M); resíduos minerais e matéria orgânica (perda por ignição); nitrogênio (digestão sulfúrica); matéria orgânica compostável (dicromato/titulométrico); P (vanado-molibdico de amônio); K,

Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn (HCl 1+1/Absorção atômica); S (gravimétrico/cloreto de bário); B (Azometina H/colorimetria). As análises químicas dos substratos secados a 110°C encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise físico-química dos substratos utilizados no cultivo de minitomate.
Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Determinações	Substrato 1 (Fibra de Coco)	Substrato 2 (Casca de Pinus)
CTC (HCl 0,5N) (mmol _c kg ⁻¹)	320,00	730,00
Capacidade de retenção de água (CRA) (%)	267,00	215,00
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	2,31	4,87
pH em CaCl ₂ 0,01M	4,70	5,10
Densidade (g cm ³)	0,28	0,47
Matéria org. total (combustão) (%)	92,91	64,29
Matéria orgânica compostável (%)	82,42	54,99
Matéria org. resistente à compost. (%)	10,48	9,29
Carbono total (orgânico e mineral) (%)	51,63	35,71
Carbono orgânico (%)	45,79	30,54
Resíduo mineral total (%)	7,09	35,71
Resíduo mineral insolúvel (%)	0,99	22,97
Resíduo mineral solúvel (%)	6,10	12,74
Nitrogênio total (%)	1,05	1,08
Fósforo (P ₂ O ₅) total (%)	0,94	0,88
Potássio (K ₂ O) total (%)	1,77	0,67
Cálcio (Ca) total (%)	0,91	2,45
Magnésio (Mg) total (%)	0,16	0,67
Enxofre (S) total (%)	0,54	0,88
Relação C/N (C total e N total)	50/1	33/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	44/1	29/1
Cobre (Cu) total (mg kg ⁻¹)	124	75
Manganês (Mn) total (mg kg ⁻¹)	116	198
Zinco (Zn) total (mg kg ⁻¹)	137	57
Ferro (Fe) total (mg kg ⁻¹)	2.545	10.232
Boro (B) total (mg kg ⁻¹)	32	15
Sódio (Na) total (mg kg ⁻¹)	1.373	2.366

Obs.: valores obtidos na base seca a 110°C.

3.5 Fertirrigação e manejo da solução nutritiva

As soluções nutritivas avaliadas apresentaram as mesmas concentrações de nutrientes, exceto de nitrogênio (Tabela 2) A solução padrão, que continha 100% da dose de N, foi

constituída a partir das relações de nutrientes obtidas na marcha de acúmulo de nutriente do tomate *Sweet Grape*.

Cada tratamento possuía seu próprio reservatório de solução nutritiva, que era refeita quando se esgotava, ajustando-se o pH na faixa de 6,0 a 6,5.

As fertirrigações foram realizadas diariamente e controladas por um sistema gasoso de controle de irrigação (Irrigas®), que acionava automaticamente sempre que a tensão de água nos substratos atingia 4 kPa. Cada substrato foi considerado um setor de irrigação e os sensores foram instalados nos tratamentos que receberam as doses de 100% de N.

A duração dos pulsos de irrigação foi ajustada para que cada substrato alcançasse a máxima capacidade de retenção de água e ocorresse uma drenagem de 10 a 20% do volume total aplicado. A solução drenada utilizada na determinação do pH, condutividade elétrica e teores de nitrato e potássio foram obtidas pelo método do “Pourthru”, 60 minutos após a primeira irrigação (CAVINS; WHIPKER; FONTENO, 2005).

Quando a condutividade elétrica das soluções drenadas ultrapassava $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, a irrigação subsequente era feita somente com água, com o objetivo de reduzir o acúmulo de sais nos substratos.

Em função do tempo de irrigação, da vazão dos gotejos, das concentrações de N das soluções nutritivas e do manejo da fertirrigação foram calculadas a frequência de irrigação (FI) as quantidades de solução nutritiva (VTSN) e de água (VTA) (Figura 3) e as doses totais de N (DN) aplicadas por planta ao longo do ciclo de cultivo para cada tipo de substrato ou cada tratamento (Tabela 3).

A fase vegetativa correspondeu ao período do transplante das mudas (0 DAT) ao início da maturação dos frutos do primeiro cacho (60 DAT). Já a fase produtiva compreendeu o período entre o início da maturação dos frutos do primeiro cacho até a última colheita (242 DAT).

Tabela 2 - Soluções nutritivas para o cultivo de minitomate *Sweet Grape*.
Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Característica		Dose de nitrogênio (%)				
		60	80	100	120	140
Fase vegetativa ^a						
CE	($\mu\text{S m}^{-1}$)	1,82	1,86	1,93	2,03	2,06
pH		6,33	6,29	6,23	6,27	6,34
N	(mg L^{-1})	58,82	78,59	98,08	117,78	137,21
P	(mg L^{-1})	50,18	50,18	50,18	50,18	50,18
K	(mg L^{-1})	199,93	199,93	199,93	199,93	199,93
Ca	(mg L^{-1})	97,99	98,03	98,09	98,05	98,00
Mg	(mg L^{-1})	31,54	31,54	31,54	31,54	31,54
S	(mg L^{-1})	75,18	75,18	75,18	75,18	75,18
B	(mg L^{-1})	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
Cu	(mg L^{-1})	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Fe	(mg L^{-1})	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
Mn	(mg L^{-1})	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Mo	(mg L^{-1})	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Zn	(mg L^{-1})	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Ni	(mg L^{-1})	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Fase reprodutiva ^b						
CE	($\mu\text{S m}^{-1}$)	1,92	1,95	1,99	2,07	2,18
pH		6,38	6,24	6,31	6,20	6,08
N	(mg L^{-1})	72,59	96,80	121,01	145,22	169,46
P	(mg L^{-1})	50,18	50,18	50,18	50,18	50,18
K	(mg L^{-1})	317,00	317,00	317,00	317,00	317,00
Ca	(mg L^{-1})	123,37	123,45	123,54	123,53	123,40
Mg	(mg L^{-1})	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47
S	(mg L^{-1})	132,00	132,00	132,00	132,00	132,00
B	(mg L^{-1})	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
Cu	(mg L^{-1})	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Fe	(mg L^{-1})	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
Mn	(mg L^{-1})	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Mo	(mg L^{-1})	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Zn	(mg L^{-1})	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Ni	(mg L^{-1})	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

^a A fase vegetativa corresponde ao período que vai do transplante das mudas ao início da maturação dos frutos do primeiro cacho.

^b A fase produtiva compreende o período entre o início da maturação dos frutos do primeiro cacho até a última colheita.

Figura 3 - Frequência de irrigação (FI), volume de solução nutritiva (VTSN) e volume de água (VTA) aplicados por planta ao longo do ciclo de cultivo para cada tipo de substrato (S1 e S2). Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Tabela 3 - Quantidade total de N (DN) aplicado por planta ao longo do ciclo de cultivo para cada dose de N da solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dias após o transplante (DAT)	DN (mg planta ⁻¹)									
	60		80		100		120		140	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
14	308,4	308,4	412,0	412,0	514,2	514,2	617,5	617,5	719,3	719,3
28	287,8	287,8	384,5	384,5	479,9	479,9	576,3	576,3	671,4	671,4
42	390,6	411,2	521,9	549,3	651,3	685,6	782,1	823,3	911,1	959,1
56	390,6	411,2	521,9	549,3	651,3	685,6	782,1	823,3	911,1	959,1
70	965,4	1.036,7	1.287,6	1.382,7	1.609,4	1.728,2	1.931,5	2.074,1	2.253,5	2.419,9
84	913,3	1.090,9	1.217,9	1.454,8	1.522,5	1.818,6	1.827,2	2.182,4	2.132,1	2.546,7
98	1.319,3	1.344,6	1.759,2	1.793,1	2.199,2	2.241,5	2.639,2	2.690,0	3.079,8	3.139,0
112	1.852,0	1.704,0	2.469,7	2.272,4	3.087,4	2.840,7	3.705,1	3.409,0	4.323,5	3.978,0
126	1.036,0	1.036,0	1.381,5	1.381,5	1.727,0	1.727,0	2.072,5	2.072,5	2.418,4	2.418,4
140	888,0	769,6	1.184,1	1.026,2	1.480,3	1.282,9	1.776,4	1.539,5	2.072,9	1.796,5
154	858,4	828,8	1.144,6	1.105,2	1.430,9	1.381,6	1.717,2	1.658,0	2.003,8	1.934,7
168	976,8	799,2	1.302,5	1.065,7	1.628,3	1.332,2	1.954,0	1.598,8	2.280,2	1.865,6
182	1.233,3	1.095,1	1.644,6	1.460,4	2.055,9	1.825,6	2.467,2	2.190,9	2.879,1	2.556,6
196	769,6	562,4	1.026,2	749,9	1.282,9	937,5	1.539,5	1.125,1	1.796,5	1.312,8
210	947,2	680,8	1.263,0	907,8	1.578,9	1.134,9	1.894,8	1.361,9	2.211,1	1.589,2
224	680,8	562,4	907,8	749,9	1.134,9	937,5	1.361,9	1.125,1	1.589,2	1.312,8
238	1.183,9	828,8	1.578,8	1.105,2	1.973,7	1.381,6	2.368,5	1.658,0	2.763,9	1.934,7
245	355,2	325,6	473,6	434,2	592,1	542,8	710,6	651,3	829,2	760,1
Total	15356,2	14083,2	20481,6	18784,1	25600,0	23477,8	30723,6	28176,9	35846,2	32874,1

3.6 Cultivar de tomate

A cultivar de minitomate foi a Sweet Grape (Sakata Seed Sudamerica), caracterizada por frutos firmes, pequenos e alongados, cor vermelha intensa, peso entre 5 e 20 gramas e alto teor de açúcares. A planta apresenta boa rusticidade e alta produtividade de frutos, adaptando-se bem ao cultivo em substratos.

3.7 Colheita dos frutos

A colheita dos frutos foi iniciada aos 67 DAT e finalizada aos 242 DAT, num total de 13 colheitas. Os frutos colhidos apresentavam coloração vermelha uniforme.

3.8 Características avaliadas

3.8.1 Solução nutritiva de drenagem

Durante o período de cultivo foram registrados periodicamente os valores da condutividade elétrica (CE), pH, teor de nitrato (NO_3^-) e de potássio (K^+) na solução nutritiva drenada pelos vasos. As amostras das soluções drenadas foram coletadas em recipientes plásticos, levadas ao laboratório e analisadas no mesmo dia. Para a determinação da condutividade elétrica foi utilizado um condutivímetro digital com compensação automática de temperatura. O pH foi obtido por meio de um potenciômetro digital com compensação automática de temperatura.

As concentrações de NO_3^- e de K das soluções drenadas foram determinadas por meio de testes rápidos, utilizando medidores de íons específicos (MIE) da marca Horiba. Os MIE foram calibrados antes do início das análises, de acordo com a recomendação do fabricante, e calibrados novamente a cada dez amostras para garantir a máxima precisão dos resultados.

As determinações da CE e pH da solução drenada pelos vasos foram feitas aos 18, 25, 32, 39, 53, 60, 67, 81, 88, 95, 109, 116, 123, 144, 165, 189, 207, 228 e 235 DAT, totalizando 19 períodos de amostragem. Já as determinações dos teores de NO_3^- e de K das soluções drenadas foram realizadas aos 18, 25, 53, 81, 109, 144, 186, 207 e 235 DAT, totalizando 9 períodos de amostragem.

3.8.2 Produção

Os frutos colhidos de cada parcela foram classificados em pequenos, médios, grandes e não comerciais, contados e pesados separadamente. A produção total foi definida pela somatória dos pesos de cada categoria de frutos. Para isso, os frutos de cada parcela foram colocados sobre duas malhas com diâmetros de 1,8 e 2,5 cm. Aqueles que não passaram pela malha de 2,5 cm foram classificados como grandes, aqueles que passaram pela malha de 2,5 cm e ficaram retidos na malha de 1,8 cm foram considerados médios e os que passaram pelas duas malhas foram classificados como pequenos. Em seguida, foi feita a contagem e pesagem dos frutos rachados.

3.8.3 Qualidade

Para a determinação do teor de sólidos solúveis (Brix), acidez titulável e concentração de ácido ascórbico, 20 frutos foram selecionados (os rachados foram excluídos), triturados e homogeneizados por meio de um processador de alimentos. A determinação do teor de

sólidos solúveis foi realizada através da colocação de uma alíquota da polpa em um refratômetro digital, sendo os resultados expressos em graus Brix (°Brix). A acidez titulável foi determinada através da titulação de uma alíquota de 10g da polpa diluída em 100 ml de água destilada com solução 0,1N de NaOH até que a solução atingisse pH de 8,1, conforme metodologia recomendada pelo Instituto Adolfo Lutz (PREGNOLATTO; PREGNOLATTO, 1985), sendo os resultados expressos em porcentagem de ácido cítrico. Para a determinação do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$), 10 g da polpa foram diluídas em 50 mL de ácido oxálico a 1%. A titulação foi feita com solução de 2,6-diclorofenol-indofenol (CARVALHO et al., 1990).

3.8.4 Índice SPAD

As determinações do índice SPAD, utilizando o medidor portátil SPAD-502, da empresa Minolta, foram realizadas semanalmente das 7:00 as 10:00h, em três plantas por parcela. A folha analisada era totalmente expandida e localizava-se na posição adjacente à inflorescência quando estas apresentavam mais de 50% das flores abertas. Realizava-se 5 leituras por folha, uma por folíolo, sendo dois folíolos de cada lado da folha e o da extremidade. Anotava-se a média das 15 leituras (FONTES; ARAÚJO, 2007; GUIMARÃES et al., 1999). Ao longo do ciclo as avaliações foram sendo feitas em folhas diferentes, mas sempre naquelas que se encontravam no estágio adequado.

O instrumento SPAD-502 avalia, quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila e a 940 nm, onde não ocorre absorção. Com estes dois valores, o equipamento calcula um número ou índice SPAD que, normalmente, é altamente correlacionado com o teor de clorofila da folha (MARKWELL et al., 1995; GUIMARÃES et al., 1999) e pode identificar deficiência ou excesso de N.

As determinações do índice SPAD foram realizadas aos 25, 39, 46, 53, 60, 67, 81, 88, 95, 102, 123, 144, 158, 165, 172, 186 e 207 DAT, totalizando 17 períodos de amostragem.

3.8.5 Teor de NO_3^- e K^+ na seiva dos pecíolos

Os teores de NO_3^- e K^+ da seiva do pecíolo foram determinadas por meio de testes rápidos utilizando medidores de íons específicos (MIE) da marca Horiba. Os MIE foram calibrados antes do início das análises, de acordo com a recomendação do fabricante, e calibrados novamente a cada dez amostras avaliadas para garantir a máxima precisão dos resultados.

As folhas selecionadas para essas determinações foram às mesmas utilizadas na determinação do índice SPAD. A seiva dos pecíolos foi coletada, após o esmagamento do pecíolo com o auxílio de uma seringa plástica, e colocada nos medidores de íons específicos para leituras. Anotava-se a média das 3 leituras por parcela.

A solução extraída do pecíolo das folhas do tomateiro, apesar de ser denominada seiva, é constituída de seiva bruta, seiva elaborada e constituintes celulares (apoplasto, citosol e água vacuolar) (FONTE; RONCHI, 2002).

As determinações dos teores de NO_3^- e K^+ na seiva do pecíolo foram feitas aos 25, 46, 53, 60, 81, 88, 102, 144, 165, 186 e 207 DAT, totalizando 11 períodos de amostragem.

3.8.6 Teor de N nas folhas

Após a determinação da concentração de NO_3^- e K^+ na seiva, as folhas de cada parcela forma lavadas, colocadas em sacos de papel, secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 48h e moídas em moinho tipo Willey. A determinação do teor de nitrogênio na matéria seca das folhas foi realizada de acordo com a metodologia apresentada por Malavolta et al. (1997).

As folhas analisadas foram coletadas aos 25, 53, 81, 102, 144, 165 e 207 DAT, totalizando 7 períodos de amostragem.

3.9 Análise estatística dos resultados

As observações de cada variável foram submetidas ao teste de Box-Cox a fim de verificar sua homogeneidade de variância. De acordo os resultados obtidos as variáveis foram transformadas para estabilizar a variância. Em seguida foi realizada a análise de variância ($p < 0,05$ e $p < 0,01$). De acordo com a significância, as médias dos dados foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Quando a transformação não conseguiu estabilizar a variância realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da solução drenada pelos vasos

As características pH ($\text{pH}_{\text{drenado}}$), condutividade elétrica ($\text{CE}_{\text{drenado}}$), teor de nitrato (NO_3^- drenado) e teor de potássio (K^+ drenado) na solução drenada foram influenciadas pelas interações entre as doses de nitrogênio das soluções nutritivas, tipos de substratos e tempo (DAT) (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de F de para as características pH, condutividade elétrica (CE), teor de nitrato (NO_3^- N) e teor de potássio (K^+) da solução drenada em função das doses de nitrogênio (N) da solução nutritiva, do tipo de substrato (S) e do tempo (dias após o transplante das mudas, DAT) no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Fator	pH	CE (dS m^{-1})	NO_3^- drenado (ml L^{-1})	K^+ drenado (ml L^{-1})
DAT	108,78 **	130,47 **	271,30 **	52,51 **
Dose de N (N)	1349,94 **	25,54 **	97,75 **	12,78 **
DAT x N	18,15 **	2,53 **	2,35 **	1,79 **
Substrato (S)	24,84 **	335,96 **	312,35 **	11,63 **
DAT x S	7,80 **	31,32 **	37,05 **	33,24 **
N x S	257,15 **	5,27 **	19,23 **	2,75 *
DAT x N x S	4,06 **	1,66 **	3,20 **	1,62 *
C.V.	4,48	7,42	9,79	2,16
Média geral	6,24	2,74	326,32	291,64

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

$\text{pH}_{\text{drenado}}$

Os valores de $\text{pH}_{\text{drenado}}$ diminuíram com o aumento das doses de N da solução nutritiva para ambos os substratos. O menor valor de $\text{pH}_{\text{drenado}}$ foi encontrado no substrato 1 na maior dose de N da solução nutritiva (140%). Nas demais doses, os menores valores de pH foram obtidos no substrato 2 (Tabela 5).

Ao longo do ciclo de cultivo, o $\text{pH}_{\text{drenado}}$ apresentou comportamento semelhante para os dois substratos. Nas primeiras avaliações (até o 56° DAT) as diferenças entre os valores de $\text{pH}_{\text{drenado}}$ nas doses de N da solução nutritiva foram pequenas. Contudo, a partir do 56° DAT essas diferenças foram mais expressivas, com valores mais elevados nas maiores doses de N. Essas variações foram mais pronunciadas no substrato 1 em relação ao substrato 2 (Figura 2). Os valores de $\text{pH}_{\text{drenado}}$ nas doses de 60% de N na solução nutritiva foram 52 e 28% superiores em relação ao pH na dose de 140% N para o substrato 1 e 2, respectivamente.

Essa maior redução do $\text{pH}_{\text{drenado}}$ apresentado pelo substrato 1 pode ser justificado pela maior quantidade de N aplicado à esse meio de cultivo. A maior frequência de irrigação (Figura 3) nesse substrato resultou em maior volume de solução nutritiva aplicada às plantas e, consequentemente, de N fornecido às plantas (Tabela 3).

No decorrer do cultivo, para ambos os substratos, os valores de pH oscilaram devido ao manejo da solução nutritiva (Figura 4). Quando as CEs das soluções drenadas atingiam valores acima de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, eram realizadas irrigações somente com água para reduzir a salinização dos substratos. Essa prática, entretanto, além de reduzir a concentração de sais do meio radicular, também alterou os valores do pH da solução drenada. Observa-se, porém, que essas variações foram menos expressivas no substrato 2. As soluções nutritivas aplicadas diariamente aos vasos apresentaram valores médios de pH entre 6,23 a 6,33.

O pH do meio radicular pode sofrer influência direta ou indireta de vários fatores, que agem conjuntamente ou de maneira antagônica, com maior ou menor intensidade. A redução do pH do meio radicular com o aumento da dose de N nos tratamentos 120 e 140% de N ocorreu provavelmente devido ao aumento da quantidade de nitrato de amônio na solução nutritiva. Esse fertilizante apresenta alto poder acidificante quando adicionado a uma solução (BORGES; SILVA, 2011). Ademais, as raízes quando absorvem o amônio exsudam simultaneamente H^+ como forma de manter o equilíbrio eletroquímico da rizosfera e a constância do pH intracelular, o que também reduz o pH da rizosfera (CAVINS; WHIPKER; FONTENO, 2005; FONTES; ARAÚJO, 2007; SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). Quando não absorvidos pelas raízes, o NH_4^+ pode sofrer nitrificação, sendo convertidos a NO_2^- e NO_3^- , processo que, por sua vez, também acidifica o meio (BORGOGNONE et al., 2013; CANTARELLA, 2007; NORTON; STARK, 2011), conforme as reações abaixo (Equações 1 e 2):

Cavins, Whipker e Fonteno (2004) também observaram que o aumento da dose de N (200, 300 e 400 mg L^{-1}) reduziu o pH do meio radicular (6,12; 5,95 e 5,69, respectivamente). Segundo os autores, essa redução ocorreu devido ao aumento da concentração de amônio da solução nutritiva, que acidificou a rizosfera, e se sobrepôs ao poder alcalinizante do nitrato.

Já nos tratamentos que receberam as menores doses de N (60 e 80%), o efeito acidificante da presença de íons NH_4^+ (15% do total de N aplicado) na solução foi menor que

o efeito resultante da adição de fertilizantes com caráter básico, como o nitrato de cálcio, o nitrato de potássio e o nitrato de magnésio, o que contribuiu para o aumento do $\text{pH}_{\text{drenado}}$. Aliado a isso, a exsudação de ânions (OH^- ou HCO_3^- ou RCOO^-) pelas raízes quando absorvem outros ânions da solução, especialmente o NO_3^- , também eleva o pH da rizosfera. Como isso é um processo contínuo, o pH no meio radicular tenderá a aumentar ao longo do ciclo de cultivo (ADAM, 2004; JONES, 2005). Em cultivos intensivos, realizados em substratos, isso frequentemente ocorre devido ao restrito volume do recipiente onde se desenvolvem as raízes, à grande quantidade de fertilizantes aplicados via fertirrigação e ao predomínio de nutrientes na forma aniônica na solução (SONNEVELD, 2004).

Os efeitos do N no $\text{pH}_{\text{drenado}}$ se intensificaram ao longo do ciclo de cultivo em razão do acúmulo de sais no meio radicular, principalmente no substrato 1. Isso ocorreu em função da menor capacidade de retenção de cátions (CTC) apresentada por esse substrato ($320 \text{ mmol}_c \text{ Kg}^{-1}$), 56% inferior em relação ao substrato 2. Segundo Sousa, Miranda e Oliveira (2007), a maior capacidade de retenção de cátions de um substrato está vinculada com o seu poder tampão, amenizando os efeitos dos fertilizantes sobre o pH do meio e evitando as modificações bruscas do seu valor. Esse fato foi observado no substrato 1, cujos valores do $\text{pH}_{\text{drenado}}$ variaram com maior intensidade ao longo do ciclo em relação ao substrato 2.

O pH do meio radicular influencia inúmeros processos, afetando direta e indiretamente a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas plantas. Em sistemas de cultivo intensivo, como o cultivo sem solo, o monitoramento e a correção do pH do meio deve ser feito frequentemente e de forma precisa ao longo do ciclo produtivo (SONNEVELD, 2004).

Tabela 5 - Valores de $\text{pH}_{\text{drenado}}$ em função da interação entre as doses de nitrogênio da solução nutritiva e tipos de substratos. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	pH		
	S1 (Fibra de Coco)	S2 (Casca de Pinus)	Média
60	7,08 Aa	7,04 Ba	7,06 a
80	6,92 Ab	6,64 Bb	6,78 b
100	6,74 Ac	6,11 Bc	6,43 c
120	5,94 Ad	5,83 Bd	5,88 d
140	4,63 Be	5,49 Ae	5,06 e
Média	6,26 A	6,22 B	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 4 - pH da solução drenada pelos vasos ao longo do ciclo de cultivo em função da dose de nitrogênio (DN) na solução nutritiva para os dois substratos utilizados no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

CE_{drenada}

De maneira geral, houve aumento gradativo da CE_{drenada} com a elevação da dose de N. Os valores observados para o substrato 2 foram maiores em relação ao substrato 1 para todas as doses de N. A CE_{drenada} máxima ocorreu na maior dose de N no substrato 2, que foi 24,41% superior em relação ao substrato 1. As soluções nutritivas com 60, 80 100, 120 e 140% da dose de N apresentaram CEs de, respectivamente, 1,82; 1,86; 1,93; 2,03 e 2,06 dS m^{-1} na fase vegetativa e de 1,92; 1,95; 1,99; 2,07 e 2,18 dS m^{-1} na fase reprodutiva (Tabela 6).

Os valores iniciais de CE_{drenado} foram superiores no substrato 2 devido às características químicas de sua composição, cujo CE_{inicial} foi de $4,87 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto que no substrato 1 foi de $2,31 \text{ dS m}^{-1}$ (Tabela 6). Contudo, ao longo do ciclo de cultivo, os valores da CE_{drenada} dos dois substratos variaram de maneira semelhante com o manejo da solução nutritiva, cujos valores de CE foram reduzidos após as irrigações somente com água (Figura 5).

O aumento da dose de N resultou em maior acúmulo de sais no meio radicular, uma vez que as soluções nutritivas que apresentavam as maiores doses de N continham maiores concentrações de íons, principalmente NO_3^- e NH_4^+ . A CE da solução nutritiva com maior dose de N (140%) foi 11,8 e 13,5% superior na fase vegetativa e reprodutiva, respectivamente, em relação a CE da solução com a menor dose de N (60%). Resultados semelhantes foram obtidos por Cavins, Whipker e Fonteno (2004), onde o aumento da dose de N da solução nutritiva (200, 300 e 400 mg L^{-1} de N) elevou a CE do substrato (2,09; 2,99 e $4,07 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente).

Esse gradativo aumento da CE_{drenada} com a elevação da dose de N da solução nutritiva ocorreu em ambos os substratos, contudo, o acúmulo de sais foi significativamente maior no substrato 2 devido a sua maior CTC. A maior quantidade de sítios de troca presentes nesse substrato favoreceu o acúmulo de cátions no meio radicular (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). Na média, os valores de CE_{drenado} dos tratamentos com maior dose de N (140%) foram 9,6 e 17,3% superiores, para os substratos 1 e 2, respectivamente, em relação a menor dose de N (60%). Correlação positiva entre CE e CTC dos solos também foram observadas por Sudduth et al. (2005).

Os valores de CE_{drenado} observados no início do ciclo foram significativamente superiores no substrato 2 em razão da sua composição. Esse substrato foi elaborado predominantemente com casca de pinus, material que apresenta maior CTC que a fibra de coco, componente do substrato 1. Além disso, na sua fabricação foi adicionado fertilizante mineral, o que aumentou os teores dos macronutrientes (exceto o K) e elevou sua CE em relação ao substrato 1 (Tabela 1).

A variação dos valores de CE_{drenado} ao longo do ciclo de cultivo ocorreu de forma similar nos dois substratos em função do manejo da solução nutritiva. Quando seus valores alcançavam o limite máximo de $3,5\text{-}4,0 \text{ dS m}^{-1}$ realizava-se uma irrigação somente com água, a fim de evitar o efeito negativo do excesso de sais no meio.

Tabela 6 - Valores de condutividade elétrica (CE) da solução drenada pelos vasos em função da interação entre as doses de nitrogênio da solução nutritiva e os tipos de substratos. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	CE (dS m ⁻¹)		
	S1 (Fibra de Coco)	S2 (Casca de Pinus)	Média
60	2,39 Bb	2,77 Ac	2,58 c
80	2,40 Bb	2,76 Ac	2,58 c
100	2,53 Ba	3,02 Ab	2,77 b
120	2,50 Bab	3,15 Aa	2,83 ab
140	2,62 Ba	3,25 Aa	2,93 a
Média	2,49 B	2,99 A	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 5 - Condutividade elétrica (CE) da solução drenada pelos vasos ao longo do ciclo de cultivo em função da dose de nitrogênio (DN) na solução nutritiva para os dois substratos utilizados no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

NO_3^- drenado

A dose de N da solução nutritiva influenciou o teor de nitrato na solução drenada pelos vasos (NO_3^- drenado) em ambos os substratos. Contudo, o substrato 1, apresentou valores mais elevados de NO_3^- , exceto na menor dose de N (60%) (Tabela 7).

Ao longo do tempo as doses de NO_3^- na solução drenada variaram em função do manejo da solução nutritiva, sendo que para o substrato 2 essas variações foram menos acentuadas comparado ao substrato 1 (Figura 6).

O aumento da concentração de NO_3^- na solução drenada ($\text{NO}_3^-_{\text{drenado}}$) com o aumento da dose de N da solução nutritiva ocorreu simplesmente devido à sua maior concentração na solução, uma vez que o aumento gradativo da dose de N foi obtido principalmente através da adição de fertilizantes nítricos. Cavins, Whipker e Fonteno (2004) observaram resultados semelhantes, onde o aumento da dose de N da solução nutritiva (200, 300 e 400 mg L^{-1} de N) também elevou a concentração de NO_3^- da solução drenada pelos substratos (253,0; 387,1; 547,9 ml L^{-1} , respectivamente).

O acúmulo de $\text{NO}_3^-_{\text{drenado}}$ foi mais pronunciado no substrato 1, que, em média, apresentou teores 40,8% superiores em relação ao substrato 2. Esse aumento da concentração de NO_3^- nesse substrato pode ter ocorrido por que, na média, sua frequência de irrigação foi maior (Figura 3), o que resultou em maior volume total de solução nutritiva fornecida às plantas. Isso consequentemente aumentou a quantidade total de NO_3^- aplicado ao substrato 1 em 9,0% para todas as doses de N (Tabela 3).

Ademais, sabe-se que o acúmulo e lixiviação de nitrato nos solos e em substratos podem ser influenciados por diversos fatores, que agem de forma sinérgica ou antagônica (JONES, 2005; SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). Por se tratar de um ânion, não é adsorvido pelas cargas negativas (CTC) do meio de cultivo, sendo facilmente lixiviado. Seu acúmulo, entretanto, pode ocorrer através dos agregados, principalmente quando o solo ou substrato apresenta grande quantidade de microporos (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007), como ocorre em ambos os substratos avaliados.

Nesse caso, o nitrato dissolvido na solução move-se por difusão para o interior dos agregados. Quanto menor a taxa de difusão e maior o tamanho dos agregados, menor é a sua lixiviação (NOVAIS; MELLO, 2007). Kratz et al. (2013) avaliaram as características químicas e físicas de diversos substratos renováveis e verificaram que a microporosidade apresenta correlação positiva com densidade aparente ($R = 0,46^{**}$), a condutividade elétrica ($R = 0,33^*$) e o teor total de sais solúveis ($R = 0,39^*$). Dentre os substratos avaliados, o S2 apresentou densidade aparente 67,8% superior em comparação ao S1 (Tabela 7).

O manejo da fertirrigação influenciou o $\text{NO}_3^-_{\text{drenado}}$ ao longo do ciclo de cultivo. Nos quatro primeiros meses do ciclo (até fevereiro) a frequência média de pulsos de irrigação por dia, o volume de solução nutritiva e a dose de N aplicada foram maiores para o substrato 2. Contudo, a partir desse período, isso se inverteu, sendo que, ao final do ciclo, a frequência

média, o volume de solução nutritiva e a dose total de N aplicado ao substrato 1 foram, respectivamente, 8,7; 9,5 e 9,0% superiores em relação ao substrato 2 (Figura 6). Esse fato possivelmente contribuiu para o aumento dos valores médios de NO_3^- drenado observados no substrato 1.

A aplicação de água para reduzir os valores de CE quando estes atingiam valores críticos (3,5 a 4,0 dS m^{-1}) causou variações nos valores de NO_3^- drenado ao longo do ciclo de cultivo. Essa variação foi menos pronunciada no S2 devido a suas características físicas, como maior densidade aparente e maior quantidade de microporos, que atuou como um “tampão” de NO_3^- nesse substrato.

Tabela 7 - Teor de nitrato da solução drenada pelos vasos (NO_3^- drenado) em função da interação entre as doses de nitrogênio da solução nutritiva e os tipos de substratos. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	NO_3^- drenado (ml L^{-1})		
	S1 (Fibra de Coco)	S2 (Casca de Pinus)	Média
60	241,35 Ae	233,17 Ac	237,26 e
80	330,38 Ad	239,97 Bbc	285,17 d
100	404,86 Ac	245,11 Bbc	324,99 c
120	456,39 Ab	269,94 Bb	363,17 b
140	490,00 Aa	377,75 Ba	433,88 a
Média	384,59 A	273,19 B	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 6 - Teor de nitrato ($\text{NO}_3^- \text{ drenado}$) da solução drenada pelos vasos ao longo do ciclo de cultivo em função da dose de nitrogênio (DN) na solução nutritiva para os dois substratos utilizados no cultivo de minitomate.
Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

$\text{K}^+ \text{ drenado}$

As doses de N da solução nutritiva e os substratos influenciaram o teor de K da solução drenada pelos vasos ($\text{K}^+ \text{ drenado}$) (Tabela 8). A dose de 140% de N aplicada ao substrato 1 apresentou o valor mais elevado dessa característica, não havendo diferença significativa entre as demais doses nesse substrato. No substrato 2, os valores mais elevados também foram obtidos na maior dose, contudo, esse somente diferiu significativamente das doses de 80 e

60% de N. De maneira geral, os valores de K^+_{drenado} foram superiores para o substrato 1, exceto na menor dose de N, cuja diferença não foi significativa em relação ao substrato 2. Ao longo do ciclo de cultivo houve oscilação entre os valores de K^+_{drenado} para os dois substratos, contudo, essa variação foi mais pronunciada no substrato 1 (Figura 7).

O aumento da concentração de K^+ na solução drenada (K^+_{drenado}) em função do aumento da dose de N ocorreu devido a redução do pH do meio radicular, que promoveu o aumento das cargas positivas do substrato e, com isso, aumentou a liberação de K^+ para a solução drenada (JONES, 2005; NOVAIS; MELLO, 2007). Segundo Taiz e Zeiger (2013), os íons hidrogênio podem deslocar K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e Mn^{2+} do complexo de troca de cátions do meio de cultivo. Cavins, Whipker e Fonteno (2004) também observaram aumento da concentração de K^+ na solução drenada pelos vasos em função do aumento da dose de N da solução nutritiva. Os valores observados pelos autores na solução extraída dos vasos pela técnica do “pourthru” foram próximos aos obtidos nesse experimento.

Entre os substratos, o substrato 1 apresentou maior valor de K^+_{drenado} devido a maior concentração inicial de K na sua composição, uma vez que a fibra de coco é um material rico nesse nutriente (Tabela 1). A concentração inicial de K_2O do S1 foi 153% maior comparado a do S2. Além disso, como o substrato 2 apresenta maior CTC, ele adsorve mais cátions em comparação ao S1, portanto, esse substrato apresenta maior capacidade de reter K^+ , evitando, assim, que ele seja lixiviado. Na média, o substrato 2 lixiviou 7,4% menos K^+ em relação ao substrato 1 (Tabela 8).

A maior CTC do substrato 2 também contribuiu para que os valores de K^+_{drenado} variassem menos ao longo do ciclo de cultivo em relação ao substrato 1. Segundo Novais e Mello (2007), o poder tampão de K, ou seja, capacidade que o solo ou substrato tem de manter estável a concentração de K^+ na solução a medida que ele é adicionado ou retirado do meio, é diretamente proporcional a CTC efetiva. Segundo Taiz e Zeiger (2013), os cátions minerais adsorvidos à superfície das partículas não são facilmente perdidos quando o substrato é lavado pela água e proporcionam uma reserva de nutrientes disponível às raízes das plantas.

Tabela 8 - Teores de potássio da solução drenada pelos vasos (K^{+}_{drenado}) em função da interação entre as doses de nitrogênio da solução nutritiva e os tipos de substratos. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	K^{+}_{drenado} (ml L ⁻¹)		Média
	S1 (Fibra de Coco)	S2 (Casca de Pinus)	
60	279,11 Ab	269,22 Ab	274,17 b
80	285,83 Ab	270,28 Bb	278,06 b
100	305,00 Ab	285,56 Bab	295,28 ab
120	302,22 Ab	285,56 Bab	293,89 ab
140	338,61 Aa	295,00 Ba	316,81 a
Média	303,56 A	281,12 B	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 7 - Teor de potássio (K^+ drenado) da solução drenada pelos vasos ao longo do ciclo de cultivo em função da dose de nitrogênio (DN) na solução nutritiva para os dois substratos utilizados no cultivo de minitomate.
Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

4.2 Estado nutricional das plantas

O índice SPAD (SPAD) foi influenciado pela interação entre o tempo e as doses de N da solução nutritiva (DAT x N) e entre o tempo e os tipos de substratos (DAT x S). O teor de nitrato no pecíolo (NO_3^- pecíolo) e o teor de nitrogênio na massa seca das folhas (N_{folha}) foram afetados pela interação entre tempo, doses de N e tipos de substratos (DAT x N x S). O teor de potássio no pecíolo (K^+ pecíolo) foi influenciado somente pelo tempo (DAT) (Tabela 9).

Tabela 9 - Valor de F para as características índice SPAD, teor de nitrato (NO_3^- pecíolo) e teor de potássio (K^+ pecíolo) na seiva do pecíolo e teor de nitrogênio (N_{folha}) na massa seca de folhas de tomateiro em função do tempo (dias após o transplante – DAT), das doses de nitrogênio (N) da solução nutritiva e do tipo de substrato (S) utilizado no cultivo no cultivo de minitomate.
Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Fator	Índice SPAD	Teor de nitrato no pecíolo (ml L^{-1})	Teor de potássio no pecíolo (ml L^{-1})	Nfolha (g kg^{-1})
DAT	270,81 **	241,15 **	96,92 **	109,94 **
Dose de N (N)	78,70 **	124,20 **	1,22 ns	55,22 **
DAT x N	1,61 **	1,58 *	1,10 ns	2,02 **
Substrato (S)	4,92 *	9,84 **	1,79 ns	7,06 **
DAT x S	3,61 **	26,97 **	0,51 ns	23,58 **
N x S	2,33 ns	4,68 **	0,31 ns	1,34 ns
DAT x N x S	0,68 ns	1,81 **	1,10 ns	2,06 **
C.V.	4,21	15,92	7,41	5,99
Média geral	48,51	3077,50	4809,55	41,19

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

Índice SPAD

O índice SPAD foi influenciado pela interação entre o tempo (DAT) e as doses de N (Tabela 10). O aumento dos valores de índice SPAD em função do aumento da concentração de N da solução nutritiva ocorreu, pois esse nutriente participa da síntese e da estrutura da molécula de clorofila, principal responsável pela cor verde nas folhas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Como essa característica relaciona-se diretamente com a intensidade da cor das folhas ela pode ser utilizada para estimar indiretamente o conteúdo de clorofila e de nitrogênio nelas de maneira rápida e não destrutiva (FONTES; ARAÚJO, 2007). Diversas pesquisas têm mostrado correlações positivas entre a intensidade da cor verde e a concentração de clorofila e/ou de N na folha e/ou de NO_3^- no pecíolo (CAMPBELL et al., 1990; FONTES; ARAÚJO, 2007; GUIMARAES et al., 1999; GÜLER; BÜYÜK, 2007; YAMAMOTO et al., 2002).

O aumento do valor do índice SPAD em função do aumento do suprimento de N às plantas também foi verificado por Guimaraes et al. (1999), Sandoval-Villa; Wood Guertal (2002) e Ulissi et al. (2011) em tomate e por Padilla et al. (2014) em melão.

Houve interação significativa entre o tipo de substrato e os períodos de amostragem (DAT) (Tabela 11). Aos 25, 60 e 102 DAT as plantas cultivadas no substrato 1 apresentaram maior índice SPAD em relação ao substrato 2. Entretanto, nos demais períodos de amostragem, os valores de índice SPAD foram semelhantes entre si. O efeito do substrato sobre o índice SPAD pode estar relacionado à maior quantidade de N fornecido às plantas

cultivadas no substrato 1 (9,0%), que ocorreu devido ao maior frequência de irrigações nesse meio de cultivo.

O índice SPAD sofreu variação ao longo do tempo em ambos os substratos (Figura 8). Esse comportamento pode ser explicado pela interferência na intensidade luminosa incidente sobre as plantas em cada período de avaliação, pois sabe-se que a biogênese dos cloroplastos se inicia com a fotorredução da protoclorofila que é um precursor da clorofila. A quantidade de protoclorofila durante a formação da cor verde é diretamente relacionada à intensidade luminosa que a planta está submetida (FONTES, 2011).

Além disso, a disponibilidade de água no substrato para as plantas pode ter contribuído para a oscilação do índice SPAD ao longo do tempo. O conteúdo de água no meio de cultivo afeta a disponibilidade de nutrientes, consequentemente a síntese de clorofila, que depende, dentre outros elementos, do N (EVANS, 1989). O volume de água aplicado aos substratos variou entre os períodos de amostragem pela necessidade de suas lavagens em determinados momentos para redução da salinidade. Essa prática reduziu o nível de N no meio radicular, o que explica as variações no índice SPAD.

Embora o índice SPAD tenha oscilado entre os intervalos de amostragem, em média, esse índice diminuiu ao longo do tempo, comportamento semelhante ao ocorrido para a radiação fotossinteticamente (RFA) e temperatura (Figura 1). Portanto, a redução do índice SPAD está relacionada com a diminuição da intensidade luminosa no período compreendido entre 19 de novembro e 19 de julho. Aos 122 DAT houve a mudança de estação do ano, de verão para outono, com diminuição gradativa do comprimento do dia.

Tabela 10 - Comparação de médias para os valores de índice SPAD de folhas de tomateiro em função da interação entre as doses de nitrogênio da solução nutritiva e os tipos de substratos. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	Índice SPAD		
	S1 (Fibra de Coco)	S2 (Casca de Pinus)	Média
60	47,24 Ad	46,41 Bd	46,82 d
80	47,75 Ad	46,77 Bd	47,26 d
100	48,69 Ac	48,23 Bc	48,46 c
120	49,38 Ab	49,59 Ab	49,48 b
140	50,39 Aa	50,63 Aa	50,51 a
Média	48,69 A	48,33 B	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 8 - Valores de índice SPAD de folhas de tomateiro ao longo do ciclo de cultivo em função das doses de nitrogênio da solução nutritiva e em função dos tipos de substratos utilizados no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

NO_3^- pecíolo

O teor de nitrato na seiva do pecíolo (NO_3^- pecíolo) aumentou concomitantemente com o aumento da dose de N da solução nutritiva. Esse comportamento foi semelhante para os dois substratos, contudo, no substrato 1, a diferença entre a maior e menor dose de N foi mais pronunciada. O maior valor dessa característica foi observado na dose de 140% de N para o

substrato 1. De maneira geral, os valores observados para esse substrato foram significativamente superiores em relação ao substrato 2, exceto nas doses de 60 e 120% de N (Tabela 11). Isso possivelmente ocorreu devido à maior quantidade total de N aplicado a esse substrato, que foi 9% superior em relação ao substrato 2.

Ao longo do tempo os valores de NO_3^- pecíolo variam de maneira similar para os dois tipos de substrato. No início do ciclo de cultivo, os teores de NO_3^- pecíolo foram maiores para o substrato 1. Aos 46 e 144 DAT, para os dois substratos, foram registrados os menores valores para essa característica (Figura 9).

O aumento do NO_3^- pecíolo em função do aumento da dose de N da solução nutritiva ocorreu devido à maior disponibilidade de NO_3^- às plantas. Além disso, com o aumento da dose de N, também aumentou a concentração de NH_4^+ . De acordo com Jones (2005), a presença de N na forma amoniacal na solução nutritiva favorece a absorção de nitrato pelas plantas, contudo, essa quantidade não deve ultrapassar 50% do total de N, pois pode ser fitotóxico.

Aumento da concentração de NO_3^- no pecíolo de folhas de tomateiro em função do aumento da disponibilidade de N às plantas também foi verificado por Fontes e Ronchi (2002); Guimarães et al. (1999) e Santos; Scott e Ramirez-Sanches (2010).

Ao longo do ciclo de cultivo as variações no teor de NO_3^- na seiva do pecíolo possivelmente ocorreram em função do manejo da fertirrigação. O grande volume de água utilizado para reidratar os substratos após sua desidratação demasiada reduziu drasticamente a disponibilidade de NO_3^- às plantas, resultando em baixos teores desse nutriente na seiva do pecíolo, como verificado nas avaliações realizadas aos 46 e 144 DAT.

Os valores médios de NO_3^- pecíolo variaram de 1186,66 (aos 144 DAT) a 4695,62 mg L^{-1} (aos 25 DAT), sendo a média geral do experimento de 3075,77 mg L^{-1} . Os valores observados por Ferreira (2001) nas folhas opostas ao primeiro (35 DAT), terceiro (57 DAT) e quinto (85 DAT) cacho floral do tomateiro foram, respectivamente, 3000, 3000 e 2500 mg L^{-1} de NO_3^- .

Tabela 11 - Teor de nitrato (NO_3^- pecíolo) na seiva do pecíolo de folhas de tomateiro em função da interação entre as doses de nitrogênio da solução nutritiva e os tipos de substratos. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	NO_3^- pecíolo (mg L^{-1})		
	S1 (Fibra de Coco)	S2 (Casca de Pinus)	Média
60	2.397,5 Be	2.496,1 Ad	2.446,8 e
80	2.703,2 Ad	2.603,2 Bd	2.653,2 d
100	3.155,2 Ac	2.885,7 Bc	3.020,5 c
120	3.443,5 Ab	3.381,6 Ab	3.412,6 b
140	4.106,7 Aa	3.602,3 Ba	3.854,5 a
Média	3.161,2 A	2.993,8 B	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 9 - Teor de nitrato na seiva do pecíolo (NO_3^- pecíolo) de folhas de tomateiro ao longo do ciclo de cultivo em função da dose de nitrogênio na solução nutritiva para os dois substratos utilizados no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

K^+ pecíolo

Tanto o aumento da dose de N da solução nutritiva quanto o tipo de substrato não alteram a concentração de potássio na seiva do pecíolo (K^+ pecíolo) de folhas de tomateiro. O valor médio observado para essa característica foi de $4.809,55 \text{ mg L}^{-1}$ de K (Tabela 12).

No decorrer do cultivo, os valores de $K^+_{\text{pecíolo}}$ variaram de forma semelhante nos dois substratos, com grande redução observada aos 46 DAT, que se estendeu até os 60^o DAS. A partir dessa data os valores de $K^+_{\text{pecíolo}}$ elevaram-se. Os valores médios observados aos 25, 46, 53, 60, 81, 88, 102, 144, 165, 186 e 207 foram, respectivamente, de 5.402,50; 3.980,00; 4.155,00; 3.947,50; 4.795,00; 4.947,50; 4.947,50; 5.195,00; 5.025,00; 4.910,00 e 5.600,00 mg L⁻¹ de K (Figura 10).

Apesar do aumento da dose de N também ter elevado a concentração de íons NH_4^+ , este não foi suficiente para causar redução no teor de K na seiva do pecíolo. Isso poderia ocorrer, pois altas concentrações de NH_4^+ no meio radicular podem prejudicar a absorção de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (JONES, 2005). No presente experimento, a relação entre nitrato e amônio (5,67:1) foi igual para todos os tratamentos, tanto na fase vegetativa quanto reprodutiva.

As oscilações nos teores de K^+ na seiva do pecíolo ao longo do ciclo de cultivo ocorreram devido à variação da disponibilidade desse nutriente às plantas. A disponibilidade inicial de K^+ foi influenciada pela quantidade desse nutriente presente nos substratos, o que justifica a redução apresentada a partir da primeira avaliação. O aumento verificado a partir dos 60 DAT, por sua vez, ocorreu, pois aos 59 DAT houve a mudança do estágio de desenvolvimento do tomateiro de vegetativo para reprodutivo. Nesse último período, houve aumento da disponibilidade de K às plantas, uma vez que a solução nutritiva para essa fase possuía 58,5% a mais desse nutriente.

Tabela 12 - Valores de teor de potássio ($K^+_{\text{pecíolo}}$) na seiva do pecíolo de folhas de tomateiro em função da interação entre as doses de nitrogênio da solução nutritiva e os tipos de substratos. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	$K^+_{\text{pecíolo}}$ (mg L ⁻¹)		
	S1 (Fibra de Coco)	S2 (Casca de Pinus)	Média
60	4.902,27 Aa	4.815,91 Aa	4.859,09 a
80	4.865,91 Aa	4.770,45 Aa	4.818,18 a
100	4.768,18 Aa	4.740,91 Aa	4.754,55 a
120	4.786,36 Aa	4.775,00 Aa	4.780,68 a
140	4.838,64 Aa	4.831,82 Aa	4.835,23 a
Média	4.832,27 A	4.786,82 A	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 10 - Teor de potássio na seiva do pecíolo ($K^+_{\text{pecíolo}}$) de folhas de tomateiro ao longo do ciclo de cultivo em função da dose de nitrogênio na solução nutritiva para os dois substratos utilizados no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

N_{folha}

A elevação da concentração de nitrogênio na solução nutritiva resultou no aumento gradativo do teor de nitrogênio na massa seca das folhas (N_{folha}) para ambos os substratos utilizados (Tabela 13). O aumento do teor foliar de N justifica-se, assim como para o NO_3^- pecíolo, pelo aumento da disponibilidade de N às plantas proporcionado pela elevação da concentração de N da solução nutritiva. Resultados semelhantes foram obtidos por Fontes e Ronchi (2002) em tomate e Coelho et al. (2010) e Silva e Fontes (2005) em batata.

As oscilações nos teores de N_{folha} ao longo do ciclo de cultivo provavelmente ocorreram devido ao manejo da fertirrigação, corroborando com os obtidos para teor de NO_3^- pecíolo, onde também foram verificadas oscilações ao longo do ciclo.

De maneira geral, houve um decréscimo gradativo dos valores de N_{folha} ao longo do ciclo de cultivo. Aos 144 DAT, principalmente para o substrato 2, ocorreu uma redução acentuada no teor de N foliar, independente da dose de N utilizada (Figura 11).

A redução gradativa do teor de N_{folha} ao longo do ciclo de cultivo, também verificada por Prado et al. (2011) em tomateiro, pode ser explicada pela diminuição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) durante o ciclo de cultivo do tomateiro. Os teores de N_{folha} aos 15, 50 e 85 DAT (34,6; 27,91 e 21,22 g kg⁻¹) foram inferiores aos obtidos para N_{folha} no presente experimento, que apresentou média geral de 41,19 g kg⁻¹. Isso possivelmente ocorreu, porque Prado et al. (2011) determinaram o teor de N na matéria seca de todas as folhas da planta, ao contrário da metodologia aplicada neste trabalho, que realizou as determinações do estado nutricional em folhas adjacentes aos cachos florais no momento do seu florescimento. Em estudo realizado por Ferreira (2001), entretanto, cujas avaliações foram feitas em folhas adjacentes ao primeiro (35 DAT), terceiro (57 DAT) e quinto (85 DAT) cacho floral, os valores de N_{folha} foram de 45; 40 e 40 g kg⁻¹, respectivamente, valores próximos aos obtidos nesse trabalho.

Tabela 13 - Teor de nitrogênio (N_{folha}) na massa seca de folhas de tomateiro em função da interação entre as doses de nitrogênio da solução nutritiva e os tipos de substratos. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	N_{folha} (g kg ⁻¹)		
	S1 (Fibra de Coco)	S2 (Casca de Pinus)	Média
60	38,20 Ad	38,45 Ad	38,32 d
80	38,73 Bd	40,14 Ac	39,44 d
100	41,23 Ac	41,26 Ac	41,25 c
120	42,55 Ab	43,27 Ab	42,91 b
140	44,32 Aa	44,78 Aa	44,55 a
Média	41,01 A	41,58 A	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 11 - Teor de nitrogênio na massa seca (N_{folha}) de folhas de tomateiro ao longo do ciclo de cultivo em função da dose de nitrogênio na solução nutritiva para os dois substratos utilizados no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

4.3 Características produtivas e qualitativas

Não houve interação entre doses de nitrogênio da solução nutritiva e tipos de substrato para todas as características analisadas (Tabela 14). A dose de N influenciou a massa média dos frutos grandes (MMFG), massa total de frutos grandes (MTFG), massa total de frutos médios (MTFM), massa total de frutos pequenos (MTFP), massa total de frutos rachados (MTFRA), a massa total de frutos por planta (MTFPP), número total de frutos grandes

(NTFG), número total de frutos médios (NTFM), número total de frutos pequenos (NTFP), número total de frutos rachados (NTFRA) e número total de frutos por planta (NTFPP). O tipo de substrato afetou o comprimento médio das hastes (CMH), MTFG, MTFP, NTFG, NTFP e NTFRA. O número de cachos por planta (NCPP) e a massa média dos frutos médios (MMFM) e pequenos (MMFP) não foram influenciados pelos fatores estudados.

Tabela 14 - Valor de F para as características número de cacho por planta (NCPP), comprimento médio das hastes (CMH), massa média dos frutos grandes (MMFG), médios (MMFM) e pequenos (MMFP), massa total de frutos grandes (MTFG), médios (MTFM), pequenos (MTFP) e rachados (MTFRA), massa total de frutos por planta (MTFPP), número total de frutos por planta (NTFPP), número total de frutos grandes (NTFG), médios (NTFM), pequenos (NTFP) e rachados (NTFRA), teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT) e concentração de ácido ascórbico (AA) em frutos frescos de minitomate em função das doses de nitrogênio (N) da solução nutritiva e do tipo de substrato (S). Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Fator	NCPP	CMH	MMFG	MMFM	MMFP
Dose de N (N)	0,43 ns	0,78 ns	4,98 **	0,85 ns	2,75 ns
Substrato (S)	1,54 ns	5,62 *	0,26 ns	0,03 ns	3,31 ns
N x S	0,86 ns	0,10 ns	2,01 ns	1,38 ns	0,68 ns
C.V.	4,40	3,19	3,43	5,58	10,28
Média geral	44,41	6,72	15,12	8,81	4,19
Fator	MTFG	MTFM	MTFP	MTFRA	MTFPP
Dose de N (N)	3,97 **	5,01 **	2,14 *	4,56 **	16,04 **
Substrato (S)	15,00 **	0,13 ns	6,24 *	0,22 ns	0,01 ns
N x S	0,65 ns	0,50 ns	1,04 ns	0,45 ns	0,28 ns
C.V.	7,83	6,87	2,36	17,93	4,65
Média geral	237,17	5.318,67	1.109,15	1.059,07	6.667,64
Fator	NTFG	NTFM	NTFP	NTFRA	NTFPP
Dose de N (N)	3,35 *	3,28 *	3,02 *	7,55 **	4,24 **
Substrato (S)	15,56 **	1,19 ns	4,82 *	16,90 **	0,99 *
N x S	0,61 ns	0,18 ns	1,16 ns	0,16 ns	0,34 ns
C.V.	39,78	9,54	21,29	13,35	11,33
Média geral	15,52	605,58	273,26	123,66	890,39
Fator	TSS		AT	AA	
Dose de N (N)	1,74 ns		1,62 ns	0,39 ns	
Substrato (S)	1,88 ns		1,46 ns	1,14 ns	
N x S	0,77 ns		0,28 ns	0,82 ns	
C.V.	4,00		3,16	10,97	
Média geral	7,49		0,38	11,51	

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

O comprimento médio das hastes (CMH) foi maior (6,80 m) nas plantas cultivadas no substrato 1 (Tabela 15). Elas apresentaram hastes 16 cm mais longas em relação ao substrato 2. Apesar de estatisticamente significativo, esse aumento (2,41%) foi pequeno e não interferiu nos tratamentos culturais e na produtividade de frutos. Considerando que cada planta produziu em média 44,4 cachos, 22,2 cachos por haste, a distância média entre os cachos foi de 15,0 e 15,3

cm para o substrato 1 e 2, respectivamente. Esse fato pode estar relacionado ao maior aporte de N ao substrato 1, que foi 9% superior em relação ao substrato 2, estimulando, assim, um maior crescimento das hastes.

A MMFG foi superior com a adição de 140% de N em relação às doses de 60 e 80% (Tabela 15). Esse aumento da MMFG ocorreu devido ao maior suprimento de fotoassimilados pelas partes fotossintéticas das plantas, que se elevou devido à maior disponibilidade de nitrogênio às plantas. A capacidade fotossintética das plantas relaciona-se com a concentração de N, principalmente devido às proteínas do ciclo de Calvin e os tilacóides, que representam a maior parte desse elemento nas folhas (EVANS, 1989). Com a maior produção de esqueletos carbônicos nas folhas, aumentou-se o potencial das fontes (folhas) em produzir fotoassimilados e, conseqüentemente, supri-los aos drenos (frutos) (EVANS, 1989; FERREIRA; FERREIRA; FONTES, 2010). O aumento da massa média dos frutos em função do incremento da oferta de N ao tomateiro também foi observado por Djidonou et al. (2013) e por Ferreira, Ferreira e Fontes (2010).

Tabela 15 - Número de cachos por planta (NCPP), comprimento médio das hastes (CMH), massa média dos frutos grandes (MMFG), massa média dos frutos médios (MMFM) e massa média dos frutos pequenos (MMFP) em função das doses de nitrogênio (N) da solução nutritiva e do tipo de substrato (S) utilizado no cultivo no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	NCPP	CMH (m)	MMFG (g)	MMFM (g)	MMFP (g)
60	45,04 a	6,63 a	14,59 b	8,93 a	4,41 a
80	44,67 a	6,69 a	14,76 b	8,84 a	4,44 a
100	43,88 a	6,73 a	15,03 ab	8,75 a	4,01 a
120	44,33 a	6,75 a	15,24 ab	8,89 a	4,02 a
140	44,17 a	6,81 a	15,96 a	8,65 a	4,08 a
Substrato					
S1	44,80 a	6,80 a	15,10 a	8,63 a	4,15 a
S2	44,03 a	6,64 b	15,14 a	9,00 a	4,24 a

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento da dose de N elevou o NTFG, NTFM, NTFP, NTRA e o NTFPP. Os maiores valores de NTFG, NTFM e NTFP foram obtidos na dose de 140% de N, sendo 20,66; 644,27 e 308,09 frutos planta⁻¹, respectivamente. Contudo, esses valores somente diferiram dos valores obtidos na menor dose (60%). As maiores doses de N (120 e 140%) apresentaram as maiores quantidades de frutos rachados (139,91 e 140,79 frutos planta⁻¹) em relação as

doses de 80% e 100% de N. Já no tratamento 60% de N o NTRA não diferiu dos demais tratamentos. O NTFPP aumentou com a adição de 140% de N em relação às doses de 60 e 80% de N (Tabela 16).

O aumento do número de frutos por planta pode estar relacionado ao aumento da síntese de giberelina (GA) no ápice dos brotos e nas folhas em expansão proporcionado pela maior disponibilidade de N às plantas (FERREIRA; FERREIRA; FONTES, 2010). Esse hormônio estimula o florescimento, o desenvolvimento inicial e o crescimento do fruto (TAIZ; ZEIGER, 2013; REBERS et al., 1999), repercutindo no aumento do número de frutos por planta (KHAN et al., 2006) e em maiores produtividades (FELIPE; CASANOVA, 2000).

Resultados semelhantes, do efeito da disponibilidade de N às plantas sobre o número de frutos por planta, também foram observados por Adams, Winsor e Donald (1973), Djidonou et al. (2013), Felipe e Casanova (2000), Ferreira, Ferreira e Fontes, 2010, Huett e Dettmann (1988).

O tipo de substrato também influenciou o número de frutos por planta. O maior NTFG foi obtido no substrato 2 enquanto que o maior NTFPP, NTFP, e NTFRA ocorreu no substrato 1 (Tabela 16). A variação nos resultados de NTFG e NTFP entre os substratos pode ter ocorrido devido ao maior valor de NTFPP apresentado pelo substrato 1, que foi 7,4% superior em relação ao substrato 2. Esse aumento no número de frutos por planta alterou a relação fonte:dreno, aumentando, de maneira geral, a massa média dos frutos. Com isso, os frutos ficaram maiores, alterando a proporção de frutos por categoria. O substrato 1 apresentou 1,3; 66,4 e 32,3% de frutos grandes, médios e pequenos, respectivamente, enquanto que o substrato 2 teve 2,2; 69,1 e 28,7% de cada categoria, respectivamente.

O aumento no NTFPP no substrato 1, por sua vez, pode estar relacionado ao estado nutricional das plantas, uma vez que, quando cultivadas no substrato 1, apresentaram teores de NO_3^- no pecíolo das folhas mais elevados.

O NTFRA, que foi afetado tanto pela dose de N quanto pelo tipo de substrato, é um distúrbio fisiológico influenciado por diversos fatores, como o rápido e excessivo crescimento do fruto, variações bruscas da disponibilidade de água às raízes, baixa concentração de Ca no fruto, dentre outras (PEET, 1992). O crescimento rápido e excessivo dos frutos promovido pelo aumento da dose de N pode ter causado o incremento de frutos rachados nas maiores doses de N (120 e 140%). O aumento do NTFRA no substrato 1 pode ter sido influenciado pela menor assimilação de Ca pelas plantas cultivadas nele, que apresentaram teores foliares desse nutriente significativamente inferiores em relação ao substrato 2 (dados não apresentados). Possivelmente este fato ocorreu devido ao menor teor inicial de Ca e a menor

CTC apresentada por esse substrato, reduzindo a disponibilidade desse nutriente aos frutos em relação ao substrato 2 (Tabela 1). Aliado a isso, plantas cultivadas no substrato 1 apresentaram maior teor de NO_3^- no pecíolo e teor de K e P nas folhas (dados não apresentados), condições que favorecem o crescimento dos frutos.

Tabela 16 - Comparação de médias para os valores de número total de frutos por planta (NTFPP), número total de frutos grandes (NTFG), número total de frutos médios (NTFM), número total de frutos pequenos (NTFP) e número total de frutos rachados (NTFRA) em função das doses de nitrogênio (N) da solução nutritiva e do tipo de substrato (S) utilizado no cultivo no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	NTFG	NTFM	NTFP	NTFRA	NTFPP
60	10,39 b	558,60 b	220,09 b	120,64 ab	789,08 c
80	12,89 ab	584,72 ab	254,10 ab	109,85 b	851,34 bc
100	15,94 ab	598,80 ab	298,46 ab	107,15 b	893,67 ab
120	17,70 ab	641,53 ab	285,58 ab	139,91 a	944,86 ab
140	20,66 a	644,27 a	308,09 a	140,79 a	973,00 a
Substrato					
S1	11,81 b	615,55 a	299,38 a	134,40 a	922,28 a
S2	19,22 a	595,62 a	247,14 b	112,93 b	858,50 b

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A MTFG, a MTFM, a MTFP, a MTFRA e a MTFPP aumentaram com a elevação da dose de N da solução nutritiva. Os valores mais elevados de MTFG e MTFP foram obtidos na dose de 140% de N, 331,05 e 1.249,82 g planta⁻¹, respectivamente. Esses valores, entretanto, diferiram significativamente somente em relação a menor dose de N (60%). As maiores MTFM foram obtidas nas doses de 120% e 80% de N, em relação a menor dose de N. A menor MTFRA foi obtida na dose de 100% de N, 921,60 g planta⁻¹, valor significativamente inferior em relação às doses de 120 e 140% de N. As maiores MTFPP foram alcançadas pelas doses de 120 e 140% de N em relação às demais (Tabela 17).

A produtividade do tomateiro é determinada pelo número de frutos por planta e sua massa individual (HO; HEWITT, 1986). Contudo, nesse experimento, o aumento da produção por planta ocorreu principalmente devido ao aumento do número de frutos, uma vez que somente a MMFG foi influenciada tanto pela dose de N quanto pelo tipo de substrato. Além disso, essa categoria de frutos representou a menor fração do total produzido.

Resultados semelhantes foram obtidos por Felipe e Casanova (2000), onde o aumento do fornecimento de N às plantas elevou a produtividade do tomateiro não pelo aumento da massa média dos frutos e sim devido ao maior número de frutos produzidos planta. Santos, Scott e Ramírez-sánchez (2010) também verificaram aumento produtivo no tomateiro com o aumento da dose de N. Os autores alcançaram a produtividade máxima com 307 kg de N ha⁻¹, significativamente superior às obtidas nas demais doses, 229 e 268 kg de N ha⁻¹.

Contudo, a aplicação de N pode não favorecer o aumento da produtividade ou até mesmo reduzi-la. Zotarelli et al. (2009), por exemplo, não verificaram incremento na produtividade com a elevação da dose de N (176, 220 e 230 kg de N ha⁻¹). Djidonou et al. (2013), avaliando diferentes doses de N (56, 112, 168, 224, 280 e 336 kg ha⁻¹) observaram que o aumento da dose de N elevou a produtividade do tomateiro, contudo, acima de 168 kg ha⁻¹ os incrementos não foram significativas, constituindo, assim, um consumo de luxo e uma possível contaminação ambiental pelo excesso de fertilizantes no solo (HAGIN; LOWERGART, 1996; OZORES-HAMPTON et al., 2012; ZHU et al., 2005;). Nesse contexto, Muñoz et al. (2008) verificaram que a redução da concentração de N da solução nutritiva de 11mM para 7mM diminuiu em 70% a lixiviação de N sem reduzir a produtividade e a qualidade dos frutos.

Tabela 17 - Comparação de médias para os valores de massa total de frutos por planta (MTFPP), massa total de frutos grandes (MTFG), massa total de frutos médios (MTFM), massa total de frutos pequenos (MTFP) e massa total de frutos rachados (MTFRA) em função das doses de nitrogênio (N) da solução nutritiva e do tipo de substrato (S) utilizado no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	MTFG (g)	MTFM (g)	MTFP (g)	MTFRA (g)	MTFPP (g)
60	151,94 b	4.979,16 c	965,87 b	1.002,86 ab	6.096,97 c
80	191,28 ab	5.147,03 bc	1.118,08 ab	945,28 ab	6.456,39 bc
100	239,29 ab	5.240,99 abc	1.072,36 ab	921,60 b	6.565,82 b
120	272,32 ab	5.687,39 a	1.139,65 ab	1.208,33 a	7.099,37 a
140	331,05 a	5.538,79 ab	1.249,82 a	1.217,29 a	7.119,66 a
Substrato					
S1	180,50 b	5.298,11 a	1.187,96 a	1.073,10 a	6.671,84 a
S2	293,85 a	5.339,24 a	1.030,36 b	1.045,05 a	6.663,45 a

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação às características organolépticas dos frutos, tanto o aumento da dose de N quanto o tipo de substrato não afetaram significativamente o teor de sólidos solúveis (TSS), a acidez titulável (AT) e o conteúdo de ácido ascórbico (AA) dos frutos de minitomates (Tabela 18). Os valores médios encontrados de TSS, AT e AA foram, respectivamente, 7,49 °Brix; 0,38 % de ácido cítrico e 11,51 mg 100 g⁻¹ nos frutos.

O teor de açúcares é resultado de processos fisiológicos, metabólicos e genéticos do fruto que ocorrem durante o seu desenvolvimento (HO; HEWITT, 1986). A produção de açúcares inicia-se com a fotossíntese foliar. As folhas produzem fotoassimilados que são translocados para os frutos em desenvolvimento. A capacidade de translocar carboidratos para os frutos é definido pela relação fonte:dreno e influencia a distribuição de açúcares na planta. Todos esses processos são fortemente influenciados pelas condições de cultivo como a salinidade do meio de cultivo, a disponibilidade de água e de nutrientes, estágio de maturação dos frutos, sistema de produção, dentre outros (BECKLES, 2012).

Os resultados qualitativos apresentados nesse trabalho mostram que apesar das variações nas condições de cultivo causadas pelas doses de N e pelos substratos de cultivo, estas não foram suficientes para alterar o TSS, a AT e a AA dos frutos. Resultados semelhantes, onde a variação da dose de N não alterou os valores de TSS, AT e AA foram observados por Ferreira et al. (2006) e Ozores-Hampton et al. (2012).

Contudo, diversos outros estudos apontam uma relação inversa entre disponibilidade de N às plantas e TSS (BENARD et al., 2009; PARISI et al., 2006). Bernard et al. 2009 avaliaram os efeitos da redução da dose de N sobre a produtividade e qualidade do tomateiro e verificaram que a redução da dose de N teve pouco impacto sobre a produção de frutos e ainda reduziu a acidez total e aumentou o teor de sólidos solúveis, melhorando o sabor dos frutos. Kuscu et al. (2014) e Wang et al. (2007) verificaram o oposto, ou seja, o aumento da dose de N elevou o teor de açúcares e a acidez titulável em frutos de tomate.

Tabela 18 - Comparação de médias para os valores de teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT) e ácido ascórbico (AA) na polpa do fruto em função das doses de nitrogênio (N) da solução nutritiva e do tipo de substrato (S) utilizado no cultivo no cultivo de minitomate. Piracicaba, ESALQ/USP, 2013/2014

Dose de N (%)	TSS (°Brix)	AT (% de ácido cítrico)	AA (mg 100 g ⁻¹)
60	7,68 a	0,387 a	11,70 a
80	7,53 a	0,382 a	11,49 a
100	7,52 a	0,379 a	11,46 a
120	7,36 a	0,380 a	11,61 a
140	7,35 a	0,392 a	11,09 a
Substrato			
S1	7,55 a	0,39 a	11,20 a
S2	7,42 a	0,38 a	11,74 a

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

3 CONCLUSÃO

O aumento da adubação nitrogenada na relação de 15% de N-amoniacal e 85% de N-nítrico acidifica e aumenta a salinidade do meio de cultivo;

O índice SPAD tem correlação positiva com o teor de N nas folhas e pode ser usado para monitorar a adubação nitrogenada do minitomate;

A maior produção de frutos foi alcançada com 117,78 mg L⁻¹ de N na fase vegetativa e 145,22 mg L⁻¹ na fase reprodutiva, respectivamente;

A qualidade dos frutos não foi afetada pelas doses de N e pelos substratos;

Com base nos resultados obtidos, o aumento do fornecimento de N às plantas em 20% em relação à dose padrão elevou a produtividade total de minitomate cultivado em substrato. Dose superior a essa, além de não ter elevado a produção, reduziu excessivamente o pH do meio radicular e aumentou a lixiviação de NO₃⁻ e K⁺.

O monitoramento das características do meio de cultivo e sua correção devem ser realizados com frequência maior que uma vez por semana a fim de evitar a sua salinização e as oscilações na disponibilidade de nutrientes às plantas. Isso reduzirá as flutuações no estado nutricional das plantas e os problemas relacionados a isso, como a redução de produtividade e ocorrência de distúrbios fisiológicos, como a rachadura dos frutos.

REFERÊNCIAS

- ABAD BERJÓN, M.; NOGUERA MURRAY, P. Substratos para el cultivo sin suelo y fertirrigation. In: LOPES, C.C. (Coord.) **Fertirrigation horticolas y ornamentales**. Madrid: Mundi-Prensa. 1998. p. 287-342.
- ABAD-BERJÓN, M.; NOGUERA-MURRAY, P.; CARRIÓN-BENEDITO, C. Los substratos em los cultivos sin suelo. In: GAVILÁN, M.U. **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: Mundi Prensa, 2004. cap. 4, p. 113-158.
- ABAD, M.; NOGUERA, P.; PUCHADES, R.; MAQUIEIRA, A.; NOGUERA, V. Physico-chemical and chemical properties of some coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. **Biosource Technology**, Barking, v. 82, n. 3, p. 241-245, May. 2002.
- ADAMS, P. Aspectos de la nutrición mineral em cultivos sin suelo em relación al suelo. In: GAVILÁN, M.U. (Coord.). **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: Mundi Prensa, 2004. cap. 3, p. 81-111.
- ADAMS, P.; WINSOR, G.W.; DONALD, J.D. The effects of nitrogen, potassium, and sub-irrigation on the yield, quality and composition of single-truss tomatoes. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v. 48, n. 1, p. 123-133, 1973.
- ALVARENGA, M.A.R. Origem, Botânica e Descrição da Planta. In: ALVARENGA, M.A.R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013, cap. 1, p.13-29.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999. 142p.
- ANDRIOLO, J.L.; WITTER, M.; DAL ROSS, T.; GODÓI, R.S. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com reutilização da solução nutritiva drenada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 485-489, Jul-Sept. 2003.
- ASIAH, A., MOHD, R.I., MOHD, K.Y., MARZIAH, M., SHAHARUDDIN, M. Physical and chemical properties of coconut coir dust and oil palm empty fruit bunch and the growth of hybrid heat tolerant cauliflower plant. **Journal of Tropical Agricultural**, New Delhi, v. 27, n. 2, p. 122-133, 2004.
- BAR-YOUSEF, B. Fertilization under drip irrigation. In: PALGRAVE, D.A. (Ed.) **Fluid fertilizer: science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. cap. 14, p. 285-329.
- BASTOS, A.R.R.; ALVARENGA, M.A.R.; CARVALHO, J.G.C. PINHO, P.J. Nutrição mineral e adubação. In: ALVARENGA, M.A.R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. cap. 5, p. 65-130.
- BECKLES, D.M. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 63, n. 1, p. 129-140, Jan. 2012.

BELTRÃO, J.; TRINDADE, D.; CORREIA, P.J. Lettuce yield response to salinity of sprinkle irrigation water. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 449, p. 623-627, 1997.

BÉNARD, C.; GAUTIER, H.; BOURGAUD, F.; GRASSELLY, D.; NAVEZ, B.; CARIS-VEYRAT, C.; WEISS, M.; GÉNARD, M. Effect of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 57, p. 4112-4123, 2009.

BORGES, A.L.; SILVA, D.J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 771p.

BORGOGNONE, D.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; SCHWARZ, D. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 149, n. 4, p. 61-69, Jan. 2013.

BOUMA, D. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. In: LAUCHELI, A.; BIELESKI, R. L. (eds.) **Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of Plant Physiology**, New Series. Berlin: Heidelberg, Springer-Verlag, v. 15A, p. 120-146, 1983.

BRESLER, E.; HOFFMAN, G.J. Irrigation management for soil salinity control: theories and tests. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 6, p. 1552-1560, Nov. 1986.

CAMPBELL, R.J.; MOBLEY, K.N.; MARINI, R.P.; PFEIFFER, D.G. Growing conditions alter the relationship between SPAD-501 values and apple leaf chlorophyll. **HortScience**, Alexandria, v. 25, p. 330-331, 1990.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, Dez. 2002.

CARRIJO, O.A.; MAKISHIMA, N. Cultivo do tomateiro em casa de vegetação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n. 219, p. 98-107, 2003.

CATI. Levantamento censitário das unidades de produção agropecuária do Estado de São Paulo (LUPA). **Distribuição espacial de Benfeitorias, 2007/2008: Estufas**. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

CAVINS, T.J.; WHIPKER, B.E.; FONTENO, W.C. Establishment of Calibration Curves for Comparison of Pour Thru and Saturated Media Extract Nutrient Values. **HortScience**, Alexandria, v. 39, n. 7, p. 1635-1639, Dec. 2004.

_____. Timing of Pour Thru Affects pH, Electrical Conductivity, and Leachate Volume. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, p. 1573-1581, 2005.

CEAGESP. Cotações: Preço no atacado. Disponível em:
<<http://www.ceagesp.gov.br/cotacoes/>>. Acesso em: 03 dez. 2014.

CERMEÑO, Z.S. **Estufas: Instalação e manejo**. Lisboa: Litexa, 1990. 355p.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L.; SILVA, M.C. de. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1175-1183, 2010.

COLTMAN, R.R. Yields of greenhouse tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels. **HortScience**, Alexandria, v. 23, n. 1, p. 148-151, 1988.

CUARTERO, J.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 78, p. 83-125, 1999.

DJIDONOU, D.; ZHAO, X.; SIMONNE, E.H.; KOCH, K.E. Yield, water-, and nitrogen-use efficiency in field-grown, grafted tomatoes. **HortScience**, Alexandria, v. 48, n. 4, p. 485-492, Apr. 2013.

DORAIS, M.; PAPADOPOULOS, A.P.; GOSSELIN, A. Greenhouse Tomato Fruit Quality. **Horticultural Reviews**, New York, v. 26, p. 239-306, Jul. 2001a.

_____. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. **Agronomie**, Paris, v. 21, n. 4, p. 367-383, May-Jun. 2001b.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 22p.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. **Oecologia**, Berlin, v. 78, p. 9-19, 1989.

EVANS, M.R.; KONDURU, S.; STAMPS, R.H. Source Variation in Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust. **HortScience**, Alexandria, v. 31, n. 6, p. 965-967, Oct. 1996.

FAO. Faostat. **Production, Crop**: Tomato yield from 1980 to 2012. Disponível em:
<<http://fao.faostat.org>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

FERREIRA, M.M.M. **Índice de nitrogênio para diagnóstico do estado nutricional do tomateiro em presença e ausência de adubação orgânica**. Viçosa: UFV, 2001. 145p. (Tese de Doutorado).

FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R. Eficiência da adubação nitrogenada do tomateiro em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 263-273, Mar-Abr. 2010.

FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R.; DANTAS, J.P. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 141-145, May. 2006.

FIGUEIREDO, G. **Panorama da produção em ambiente protegido**. Casa da agricultura, produção em ambiente protegido. 2011. Disponível em:
<<http://www.asbraer.org.br/arquivos/bibl/56-ca-producao.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

FNP- CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2008**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2008. 504p.

FOELKEL, E.; FOELKEL, C. Produção e uso do composto de casca de pínus. *Pinus Letter*, Porto Alegre, n. 11, 2008. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_11.html>. Acesso em: 26 ago. 2010.

FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: O autor, 2011. 296p.

FONTES, P.C.R.; ARAUJO, C. de. **Adubação nitrogenada de hortaliças**. Viçosa: UFRV, 2007. 148p.

FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G. Nutrição mineral do tomate para mesa. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n. 219, p. 27-34, Jul. 2003.

FONTES, P.C.R.; RONCHI, C.P. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 37, p. 1421-1429, 2002.

FURLANI, P.R.; FAQUIN, V.; ALVARENGA, M.A.R.; SENO, S. Produção em substrato e em hidroponia. In: ALVARENGA, M.A.R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. cap. 9, p. 247-273.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P. BOLONHEZI, D.; FAQUIM, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo. 1999. 52p.

GIANNAKOULA, A.E.; ILIAS, I.F. The effect of water stress and salinity on growth and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Archives of Biological Science**, Belgrade, v. 65, n. 2, p. 611-620, 2013.

GOTO, R.; HORA, R.C.da.; DEMANT, L.A.R. Cultivo protegido no Brasil: histórico, perspectivas e problemas enfrentados com sua utilização. In: BELLO FILHO, F.; SANTOS, H.P. dos; OLIVEIRA, P.R.D. **Seminário de Pesquisa sobre Fruteiras Temperadas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005, p. 27-29.

GUIMARAES, T.G.; FONTE, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ, V.H.V.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

GÜLER, S.; BÜYÜK, G. Relationships among chlorophyll-meter reading value, leaf n and yield of cucumber and tomatoes. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 729, p. 307-311, 2007.

HAAG, H.P.; DECHEN A.R.; CARMELLO, Q.Q.C.; MONTEIRO, F.A. Princípios de nutrição mineral: aspectos gerais. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE HORTALIÇAS. **Anais**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993, p. 51-73.

HAGIN, J.; LOWENGART, A. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 43, n. 1-3, p. 5-7, 1995.

HO, L.C.; HEWITT, J.D. Fruit Development. In: ATHERTON, J.G.; RUDICH, J. **The tomato crop**. London: A Scientific Basis for Improvement, 1986. p. 201-239.

HORINO, Y.; MAKISHIMA, N.; REIS, N.V.; CORDEIRO, C.M.T. Produção de tomate e pepino sob cobertura de plástico para proteção contra a chuva. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 61, 1987.

HORINO, Y.; PESSOA, H.B.S.V. Avaliação de cultivares de tomate sob proteção plástica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 7, n. 1, p. 57, 1989.

HUETT, D.O. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hidroponic lettuce in response to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 45, n. 1, p. 251-267, 1994.

HUETT, D.O.; DETTMANN, E.B. Effect of nitrogen on growth, fruit quality and nutrient uptake of tomatoes grown in sand culture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v. 28, n. 39, p. 1-9, 1988.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA). Informações sobre culturas temporárias: **Quantidade produzida, valor da produção, área plantada e área colhida**: tomate, 2012. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em: 02 dez. 2014.

JAMIL, M.; REHMAN, S.; RHA, E.S. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 39, n. 3, p. 753-760, 2007.

JONES, Jr., J.B. **Hydroponics**: A practical guide for the soilless grower. 2 ed., Boca Raton: CRC Press, 2005. 419p.

KALLENBACH, R.L. Monitoring potassium in alfafa using a hand-held ion-specific electrode. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, p. 1529-1535, 1997.

KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. **Substrato para plantas**: a base para produção vegetal em recipiente. Porto Alegre: Gênesis, 2000. 312p.

KHAN, M.M.A.; GAUTAM, C.; MOHAMMAD, F.; SIDDIQUI, M.H.; NAEEM, M.; KHAN, M.N. Effect of Gibberellic Acid Spray on Performance of Tomato. **Turkish Journal of Biology**, Turkey, v. 30, p. 11-16, Jan. 2006.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A.C.; DE SOUZA, P.V. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SUBSTRATOS RENOVÁVEIS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, Nov. 2013.

LI, Y.L.; STANGHELLINI, C.; CHALLA, H. Response of tomato plants to a step-change in root-zone salinity under two different transpiration regimes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 93, n. 3-4, p. 267-279, Apr. 2002.

LÓPEZ, C.C. **Fertirrigación – Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2005. 681p.

MAROUELLI, W.A.; ZOLNIER, S.; CARRIJO, A.O. 2002. Variabilidade espacial e temporal da tensão de água em substratos, acondicionados em contentores tipo bisnaga, com plantas de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 380, Jul. 2002.

MARQUARD, R.D.; TIPTON, J.L. Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 6, p. 1327, 1987.

MARTINEZ, H.E.P.; BARBOSA, J.G. **Substratos para hidroponia**. Belo Horizonte: Informe Agropecuário, 1999. p. 81-89.

MARTÍNEZ, P.F. Manejo de substratos para horticultura. In: FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; ABREU, M.F.; ABREU, C.A.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; MINAMI, K. (Coord.). **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2002. p. 79.

MARTINS, G.; CASTTELANE, P.D.; VOLPE, C.A.; BANZATTO, C.A. Uso da casa de vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão. Desenvolvimento e produção. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 60, 1992.

MENGEL, K; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MINAMI, K. **Produção de Mudas de Alta Qualidade**. Piracicaba: Degaspari, 2010. 440p.

MUÑOZ, P.; ANTÓN, A.; PARANJE, A.; ARIÑO, J.; MONTERO, J.I. High decrease in nitrate leaching by lower N input without reducing greenhouse tomato yield. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 28, n. 4, p. 489-495, Dec. 2008.

NANAWATI, G.C., MALIWAL, G.L., Note on the effects of salts on the growth, mineral nutrition and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, Barking, v. 43, p. 612-614, 1974.

NOGUERA, P.; ABAD, M.; NOGUERA, V.; PURCHADES, R.; MAQUIERA, A. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 517, p. 279-286, 2000.

NORTON, J.M.; STARK, J.M. Regulation and Measurement of Nitrification in Terrestrial Systems. In: KLOTZ, M.G. **Methods in Enzymology**. Burlington: Academic Press, 2011. p. 343-368.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In.: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.133-204.

OZORES-HAMPTON, M.; SIMONNE, E.; ROKA, F.; MORGAN, K.; SARGENT, S.; SNODGRASS, C.; MCAVOY, E. Nitrogen Rates Effects on the Yield, Nutritional Status, Fruit Quality, and Profitability of Tomato Grown in the Spring with Subsurface Irrigation. **HortScience**, Aledrandia, v. 47, n. 8, p. 1129-1135. Aug. 2012.

PADILLA, F.M.; PEÑA-FLEITAS, M.T.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R.B. Evaluation of optical sensor measurements of canopy reflectance and of leaf flavonols and chlorophyll contents to assess crop nitrogen. **European Journal of Agronomy**, v. 58, p. 39-52, 2014.

PANNIRSELVAM, P.V.; LIMA, F.A.M.; DANTAS, B.S.; SANTIAGO, B.H.S.; FERNANDES, M.R.P. Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 15, p. 56-62, Jul. 2005.

PAPADOPOULOS, A.P. **Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media**. Canada: Agriculture Canada Publication, 1991. 79p.

PAPADOPOULOS, I.; RENDIG, V.V. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 73, n. 1, p. 47-57, 1983.

PARISI, M.; GIORDANO, L.; PENTANGELO, A.; D'ONOFRIO, B.; VILLARI, G. Effects of different levels of nitrogen fertilization on yield and fruit quality in processing tomato. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 700, p. 129-132, 2006.

PEET, M.M. Fruit Cracking in Tomato. **HortTechnology**, Alexandria, v. 2, p. 2, Apr-Jun. 1992.

POLSTON, J.E.; ANDERSON, P.K. Surgimiento y distribución de geminivirus transmitidos por mosca blanca em tomate en el Hemisferio Occidental. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Costa Rica, v. 53, p. 24-42, 1999.

PRADO, R.M.; SANTOS, V.H.G.; GONDIM, A.R.O.; ALVES, A.U. CECÍLIO FILHO, A.B.; CORREIA, M.A.R. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes em tomateiro cultivar Raísa cultivado em sistema hidropônico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 19-30, 2011.

PURQUERIO, L.F.V.; TIVELLI, S.W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. **Informações Tecnológicas**, Campinas, 2006. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/MANEJO_Cultivo_Protegido/Manejo_Cultivo_protegido.htm. Acesso em: 30 nov. 2014.

REBERS, M.; KANETA, T.; KAWAIDE, H.; YAMAGUCHI, S.; YANG, Y.Y.; IMAI, R.; SEKIMOTO, H.; KAMIYA, Y. Regulation of gibberellin biosynthesis genes during flower and early fruit development of tomato. **The Plant Journal**, Malden, v. 17, n. 3, p. 241-250, Nov. 1999.

REIS, N.V.B.; HORINO, Y.; OLIVEIRA, C.A.S.; BOITEUX, L.S.; LOPES, J.F. Avaliação do uso de estufas plásticas para produção de pepino, na região do Distrito Federal, durante a estação invernal. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 55, 1991.

RÖBER, R. Substratos hortícolas: possibilidades e limites de sua composição e uso; exemplos de pesquisa, da indústria e do consumo. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. (eds). **Substrato para plantas – a base da produção vegetal em recipiente**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 123-138.

RODRIGUES, L.R.F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: Funep, 2002. 762p.

SAINJU, U.M.; DRIS, R.; SINGH, S. Mineral nutrition of tomato. **Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 1, n. 2, p. 176-183, Apr. 2003.

SANDOVAL-VILLA, M.; WOOD, C.W.; GUERTAL, E.A. Tomato leaf chlorophyll meter readings as affected by variety, nitrogen form, and nighttime nutrient solution strength. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 10, p. 2129-2142, 2002

SANJUÁN, M.C.S.; GAVILÁN, M.U. Métodos de Riego y fertirrigación em cultivo sin suelo. In: GAVILÁN, M.U. **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: Mundi Prensa, 2004. cap. 5, p. 161-237.

SANTOS, B.M.; SCOTT, J.W.; RAMÍREZ-SÁNCHEZ, M. In-row distances and nitrogen fertilization programs for 'Tasti-Lee' specialty tomato. **HortTechnology**, Alexandria, v. 20, n. 3, p. 579-584, Jun. 2010.

SIBOMANA, I.C.; AGUYOH, J.N.; OPIYO, A.M. Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. **Global Journal of Bio-Science and Biotechnology**, New Delhi, v. 2, n. 4, p. 461-466, 2013.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R. Teores de nitrato na seiva da batateira determinados por microeletrodo portátil e fita colorimétrica em função de doses de nitrogênio em época seca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, suplemento CR-Rom, 2005.

SONNEVELD, C. La nutrición mineral y salinidade em los cultivos sin suelo: su manejo. In: GAVILÁN, M.U. **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: Mundi Prensa, 2004. cap. 8 p. 305-367.

SOUSA, D.M.G de; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do Solo e sua Correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

STANGHELLINI, C.; MEURS, W.T.H.M.; CORVER, F.; DULLEMEN, E.; SIMONSE, L. Combined effect of climate and concentration of the nutrient solution on a greenhouse tomato crop. II: Yield quantity and quality. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 458, p. 231-237, 1998.

SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R.; WIEBOLD, W.J.; BATCHELOR, W.D.; BOLLERO, G.A.; BULLOCK, D.G.; CLAY, D.E.; PALM, H.L.; PIERCE, F.J.; SCHULER, R.T.; THELEN, K.D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 46, n. 1-3, p. 263-283, Mar. 2005

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

TIVELLI, S.W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. (Org.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. Botucatu: UNESP, 1998. p. 15-30.

ULISSI, V.; ANTONUCCI, F.; BENINCASA, P.; FARNESELLI, M.; TOSTI, G.; GUIDUCCI, M. TEI, F.; COSTA, C.; PALLOTTINO, F.; PARI, L.; MENESATTI, P. Nitrogen Concentration Estimation in Tomato Leaves by VIS-NIR Non-Destructive Spectroscopy. **Sensor**, Basel, v. 11, n. 6, p. 6411-6424, 2011.

WANG, Y.T.; HUANG, S.W.; LIU, R.L.; JIN, J.Y. Effects of nitrogen application on flavor compounds of cherry tomato fruits. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Barking, v. 170, n. 4, p. 461–468, Aug. 2007.

WARNER, J.; ZHANG, T.Q.; HAO, X. Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 84, n. 8, p. 865-871, Jul. 2004.

WIJNANDS, J. The international competitiveness of fresh tomatoes, peppers and cucumber. **Acta Horticulturae**, The Hage, v. 611, p. 79-90, 2003.

WITTEWER, S.H.; CASTILLA, N. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. **HortTechnology**, Barking, v. 5, n. 5, p. 6-23, Jan. 1995.

YAMAMOTO, A.; NAKAMURA, T.; ADU-GYAMFI, J.J.; SAIGUSA, M. Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeonpea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 10, p. 2295-2301, 2002.

ZAFALON, M. **Tomate ganha importância na agricultura**. Folha de São Paulo, São Paulo, 26 jun. 2014. Folha Vaivém. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/colunas/vaivem/2014/06/1476366-tomate-ganha-importancia-na-agricultura.shtml>. Acesso em: 02 dez. 2014.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; COSTA, H. **Controle de doenças de plantas: hortaliças**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2000. v. 1, 2.

ZOTARELLI, L.; SCHOLBERG, J.M.; DUKES, M.D.; MUÑOZ-CARPENA, R.; ICERMAN, J. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 23-34, Jul. 2009.

APÊNDICES

Apêndice A – Estufa agrícola onde foi conduzido o experimento

(A) Estufa climatizada; (B) Estrutura de condução das plantas; (C) Mini estação meteorológica; (D) Distribuição dos vasos na área; (E) e (F) Sistema de irrigação e fertirrigação

Apêndice B – Mudanças de minitomate

(A), (B) e (C) Mudanças de minitomate produzidas em bandejas plásticas de 128 células; (D) mudas transplantada para área de cultivo.

Apêndice C – Instalação do experimento

(A) e (B) Mudas transferidas para vasos com 8 litros de substratos; (C) Mudas transplantadas no substrato à base de casca de pinus e (D) Mudas transplantadas no substrato fibra de coco.

Apêndice D – Equipamentos utilizados durante o experimento

(A) Laboratório de análise de plantas hortícolas; (B) Condutivímetro e pHmetro utilizados no monitoramento da solução drenada pelos vasos; (C) Clorofilômetro; (D) Medidor de íons específico de NO_3^- ; (E) medidor de íons específicos de K^+ ; (F) Refratômetro digital.

Apêndice E – Estádios de desenvolvimento dos frutos de minitomate

(A) Cacho floral; (B) Frutos em início de desenvolvimento; (C) e (D) Frutos iniciando o amadurecimento; (E) Frutos no ponto de colheita; (F) Frutos rachados.

Apêndice F – Sistema de condução das plantas

(A), (B), (C), (D) (E) e (F) – Etapas da condução das plantas no sistema contínuo.

Apêndice G – Colheita dos frutos

(A) Frutos verdes; (B) Frutos no ponto de colheita; (C) e (D) Colheita realizada em caixas plásticas individuais para cada parcela com auxílio de uma cesta plástica.

Apêndice H – Avaliação dos frutos

(A) Organização das caixas por parcela; (B) e (C) Classificação dos frutos por categorias; (D) Pesagem dos frutos por categoria.

Apêndice I – Extração da seiva do pecíolo

(A) Detalhes dos equipamentos e materiais utilizados na extração da seiva do pecíolo. (B) Medidores de íons específicos; (C) e (D) Retirada da seiva com auxílio de seringas.