

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E
AMBIENTE – PPGAA**

THAÍS GRANDIZOLI MENDONÇA

**IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL DEFICITÁRIA NO CULTIVO DE
TOMATEIRO EM CASA DE VEGETAÇÃO**

ARARAS - SP

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E
AMBIENTE – PPGAA

THAÍS GRANDIZOLI MENDONÇA

IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL DEFICITÁRIA NO CULTIVO DE
TOMATEIRO EM CASA DE VEGETAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA), para obtenção do título de **Mestre em Agricultura e Ambiente**.

Orientador: Prof. Dr. Claudinei
Fonseca Souza

Coorientadora: Dra. Raquel Stucchi
Boschi

ARARAS - SP

2017

Grandizoli Mendonça, Thais

Irrigação subsuperficial deficitária no cultivo de tomateiro em casa de
vegetação / Thais Grandizoli Mendonça. -- 2017.

56 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Araras, Araras

Orientador: Claudinei Fonseca Souza

Banca examinadora: Raquel Stucchi Boschi, Maria Leonor Ribeiro
Casimiro Lopes Assad, Regina Célia de Matos Pires

Bibliografia

1. Irrigação localizada. 2. Profundidade efetiva de raízes. 3. Eficiência no
uso da água. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Thais Grandizoli Mendonça, realizada em 17/04/2017:

Profa. Dra. Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad
UFSCar

Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza
UFSCar

Profa. Dra. Raquel Stucchi Boschi
UFSCar

Profa. Dra. Regina Célia Matos Pires
IAC

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Luís Sérgio e Regina, pelo apoio e incentivo durante a pós-graduação, pela educação que me deram e pelo exemplo de vida e respeito ao próximo.

AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre estar presente em minha vida e por me dar forças, e à Santa Madre Josefa Rosselo por me acompanhar desde o início da minha vida estudantil.

Ao meu orientador Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza, por acreditar no meu potencial e estar sempre disposto a me auxiliar e a sanar minhas dúvidas. Tenho o senhor como exemplo de pesquisador e orientador.

À coorientadora Dra. Raquel Stucchi Boschi pelas sugestões e contribuição no trabalho.

Aos meus irmãos Rafael e Luís Augusto e à minha cunhada Jéssica, que também sempre estiveram ao meu lado nas decisões que tomei.

Ao meu namorado Augusto pelo amor, compreensão e paciência.

À pesquisadora Dra. Regina Célia de Matos Pires e aos professores Dr. José Geanini Peres, Dr. Fernando Cesar Sala e Dra. Priscilla Loiola por sempre estarem dispostos a tirar minhas dúvidas e contribuir com sugestões para a elaboração do projeto. Ao professor Dr. Fernando Sala por fornecer as sementes utilizadas no experimento.

Aos técnicos do DRNPA Anselmo, Gabriela, Juliana e Silvia por me auxiliarem com o experimento e análises, e à secretária Camila pela amizade e ajuda desde a graduação.

Ao auxiliar rural do DBPVA Sr. Eduardo, aos técnicos agrícolas Maurício e Carol, à Seção Agrícola e ao técnico Alexandre pela ajuda na implantação do experimento.

À Ângela, Andressa, João, Julia, Marília e Murilo pelo auxílio na montagem e execução do experimento, em especial à Marília por ter me acompanhado durante o trabalho.

Ao Augusto (Roco) por ter ensinado o uso do scanner de raízes e instalação do tubo de acrílico.

À Crislaine, Glaucia (Grau), Katarina (Ktota), Maira (Migué), Marília (Transfer), Priscila e Vanessa pela amizade e apoio.

À UFSCar, em especial ao CCA, pelo espaço para a realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao PPGAA pela oportunidade de realizar pesquisa e obter o título de mestre. Tenho certeza que estou saindo uma pessoa melhor do que quando entrei no programa.

À professora Roselena Faez e alunos do LabMPB, onde pude realizar as análises.

A todos os professores do DRNPA, pois fizeram parte da minha formação acadêmica e me acolheram com muito carinho no departamento durante o mestrado.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O tomateiro é uma cultura exigente em água e está entre as hortaliças mais consumidas no Brasil. A busca por alternativas que melhorem sua produtividade, bem como reduzam o uso da água no ciclo da cultura, é essencial para a produção agrícola e para o meio ambiente. Este trabalho teve o objetivo avaliar a contribuição da irrigação subsuperficial deficitária na produtividade e qualidade dos frutos de tomateiros Grape e estimar a eficiência no uso da água (EUA). O experimento foi realizado no CCA/UFSCar e consistiu de três tratamentos com doze parcelas em blocos casualizados. O manejo da irrigação levou em consideração a capacidade de água disponível no solo (CAD), sendo a umidade do solo elevada de acordo com a umidade de referência do tratamento, 0,33 (T1), 0,29 (T2) e 0,25 m³ m⁻³ (T3), correspondendo à reposição de 100 % da CAD, e irrigações deficitárias de 75 e 50 % da CAD, respectivamente. A umidade do solo foi monitorada por sondas TDR e o crescimento das raízes por imagens obtidas através de scanner de raízes. As mudas de tomateiro Grape foram transplantadas sob linhas de gotejamento instaladas a 0,20 m de profundidade. Foram avaliados atributos quantitativos e qualitativos dos frutos em relação aos tratamentos propostos, sendo eles: número de frutos por planta, massa média dos frutos e produtividade como atributos quantitativos; diâmetro, comprimento, sólidos solúveis, pH dos frutos e massa seca das folhas e caule como atributos qualitativos. A lâmina total de água aplicada foi 1297 mm em T1, 471 mm em T2 (36 % da lâmina aplicada em T1) e 234 mm em T3 (18 % de T1). Entre os atributos avaliados, o diâmetro e pH dos frutos do tratamento T2 diferiram do T1. Já o tratamento T3 foi igual ao T1 apenas no número de frutos por planta. A massa média dos frutos foi diferente entre todos os tratamentos e não houve diferença no valor de sólidos solúveis. O tratamento T3 obteve maior EUA, seguido por T2 e T1, porém não teve maior produtividade e nem melhores resultados em outros atributos avaliados. A irrigação subsuperficial deficitária de 75 % da CAD não interferiu na produtividade do tomateiro Grape e na qualidade dos frutos, sendo a mais recomendada por apresentar atributos qualitativos e quantitativos similares à irrigação plena e aumentar a EUA. Conclui-se com este trabalho que irrigação subsuperficial deficitária teve produtividade e qualidade de frutos de tomateiro Grape semelhante à irrigação plena quando utilizado 75 % da CAD, aumentou a eficiência no uso da água e contribuiu com a redução no uso da água no ciclo da cultura.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, irrigação localizada, TDR, profundidade efetiva de raízes, eficiência no uso da água.

ABSTRACT

The tomato is a demanding crop in regards to water and is among the most consumed vegetables in Brazil. The search for alternatives to improve tomato productivity, as well as reduce the water use in the crop cycle, is essential for agricultural production and environment. The objectives of this work were to evaluate the contribution of subsurface drip irrigation to yield and fruit quality of Grape tomatoes and to estimate the water use efficiency (EUA). The experiment was carried out in the CCA / UFSCar and consisted of three treatments with four randomized blocks. Irrigation management considered the storage soil water capacity (CAD), the soil moisture being high according to the water content reference of the treatment, 0.33 (T1), 0.29 (T2) and 0.25 m³ m⁻³ (T3), corresponding to 100 % replacement of CAD, and deficit irrigations of 75 and 50 % of CAD, respectively. Water content was monitored by TDR probes and the roots depth obtained through a root images scanner. The Grape tomatoes were transplanted under drip lines installed at 0.20 m depth. Quantitative and qualitative characteristics of the fruits were evaluated in relation to the proposed treatments, being: fruits number per plant, average fruit mass and productivity, quantitative characteristics and; Diameter, length, soluble solids, fruit pH and dry mass of leaves and stem, qualitative characteristics. The total water applied was 1297 mm in T1, 471 mm in T2 (36 % of water applied in T1) and 234 mm in T3 (18 % of T1). Among the characteristics evaluated, the T2 did not differ from the T1 treatment, except in the diameter and pH. The T3 treatment was equal to T1 only in the fruits number per plant. The average fruit mass was different among all treatments and there was no difference between soluble solids values. The T3 treatment obtained higher EUA, followed by T2 and T1, but did not have higher productivity nor better results in other evaluated attributes. Deficit subsurface irrigation of 75 % of CAD did not interfere in Grape tomato productivity and fruit quality, being the most recommended because of qualitative and quantitative attributes similar to full irrigation and to increase the EUA. It is concluded that deficit subsurface irrigation had productivity and fruit quality of Grape tomatoes like full irrigation when used 75 % of CAD, increased the water use efficiency and contributed with water use reduction in crop cycle.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, drip irrigation, TDR, effective root depth, water use efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos, blocos, área útil das parcelas e linha de gotejadores.....	25
Figura 2 – Linhas de gotejadores instaladas a 0,20 m de profundidade em valetas abertas nos canteiros.....	25
Figura 3 – Cabeçal de controle da linha de irrigação de cada tratamento, compostos por (da esquerda para a direita) solenoide, válvula antivácuo, registro de esfera, injetor, filtro de disco, regulador de pressão e manômetro.	27
Figura 4 – Instalação de um dos tubos de acrílico para acesso do scanner de raízes (A), sonda TDR na camada de 0,20 a 0,40 m próxima ao gotejador (B) e posicionamento das sondas a duas profundidades no solo (C).	27
Figura 5 – Muda de tomateiro utilizada no experimento (A), canteiro após o transplântio das mudas (B) e área experimental com o detalhe da adubação em meio lua (C).....	29
Figura 6 – Detalhe do tutoramento dos tomateiros através de fitilhos amarrados em ráfias a diferentes alturas (à esquerda) e do amarrio do fitilho à planta (à direita).....	30
Figura 7 – Detalhe da entrada do scanner de raízes no tubo de acrílico (à esquerda) e leitura com o tubo vedado por saco plástico preto para impedir a entrada de luz (à direita).	31
Figura 8 – Esquema da CAD no solo do experimento e proporção de umidade do solo considerada para cada tratamento.....	33
Figura 9 – Moinho analítico utilizado para triturar as amostras de tomate em laboratório (à esquerda) e material triturado e diluição a 10 % em balão volumétrico de 25 mL (à direita).	35
Figura 10 – Valores médios de umidade relativa do ar e temperatura interna da casa de vegetação obtidos pela estação meteorológica ao longo do ciclo da cultura.....	37
Figura 11 – Perfil do solo dos tratamentos formado a partir de imagens obtidas pelo scanner de raízes aos 76 DAT.	38
Figura 12 – Profundidade máxima das raízes observada através de imagens do sistema radicular das plantas na casa de vegetação e profundidade efetiva das raízes em relação aos dias após o transplântio (DAT).	39
Figura 13 – Imagens do experimento aos 24, 31 e 44 DAT para comparação do rápido crescimento da cultura neste período.....	40
Figura 14 – Umidade volumétrica do solo na camada de 0,20 m a 0,40 m, obtida através das sondas TDR ao longo do ciclo do tomateiro.	41
Figura 15 – Umidade volumétrica do solo considerando os diferentes tratamentos (T1, T2 e T3) e as camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m de profundidade.	42
Figura 16 – Condutividade elétrica do solo na camada de 0,20 m a 0,40 m ao longo do ciclo e períodos em que foi realizada a fertirrigação.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas e químicas do solo, profundidade 0-0,20 m.....	23
Tabela 2 – Parâmetros da qualidade da água de irrigação utilizada no ciclo do tomateiro.....	26
Tabela 3 – Valores mínimo, máximo e médio de condutividade elétrica do solo (dS m^{-1}) no ciclo da cultura.....	43
Tabela 4 – Análise de variância do número médio de frutos por planta, massa média dos frutos e produtividade e comparação das médias através do Teste Tukey a 5 % de significância.	45
Tabela 5 – Análise de variância do diâmetro e comprimento dos frutos, sólidos solúveis, pH e massa seca de folhas e caule, e comparação das médias através do Teste Tukey a 5 % de significância.....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Uso da água e a irrigação no Brasil	14
3.2 Irrigação por gotejamento subsuperficial.....	15
3.3 Irrigação deficitária.....	17
3.4 A cultura do tomateiro	19
3.4.1 Características e consumo de tomate	19
3.4.2 Água no cultivo de tomateiro	20
3.5 Técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR)	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Área experimental.....	23
4.2 Preparo da área experimental, instalação do sistema de irrigação e equipamento de monitoramento	24
4.3 Transplântio das mudas e tratos culturais	28
4.4 Profundidade efetiva das raízes e leituras com TDR.....	30
4.5 Manejo da irrigação	32
4.5 Colheita, análise dos frutos e eficiência no uso da água (EUA).....	34
4.6 Análise dos resultados.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1 Temperatura e umidade relativa do ar	37
5.2 Profundidade efetiva das raízes	38
5.3 Manutenção da umidade do solo e condutividade elétrica	40
5.4 Análise quantitativa	44
5.5 Análise qualitativa	45
5.6 Eficiência no uso da água (EUA).....	47
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
7 CONCLUSÃO.....	49
8 REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem buscado aumento da produtividade com menor impacto ambiental possível, de forma a produzir alimentos sem prejudicar o meio ambiente. Uma das questões enfrentadas pela agricultura é a utilização da água na irrigação, pois tem sido questionada sobre a quantidade de água que utiliza. De acordo com a Agência Nacional de Águas (2013), a vazão de retirada para fins de irrigação no Brasil em 2010 correspondeu a 54 % do total.

A busca pelo uso racional da água se intensificou entre os anos 2013 e 2014, principalmente porque áreas presentes em regiões brasileiras que geralmente não eram afetadas pela escassez de água verificaram queda dos índices pluviométricos e redução nos níveis de seus reservatórios (ALMEIDA; BENASSI, 2015). Os períodos de secas e cheias ficaram mais intensos nos últimos oitenta anos, havendo a necessidade de buscar meios de preservar o meio ambiente e utilizar a água de forma consciente (DIAS et al., 2013).

Quanto ao uso da água pela agricultura irrigada, o volume é elevado devido à demanda pelas culturas e também falta de manejo adequado e uso ineficiente da irrigação (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000). Visando o aumento da produtividade e a redução no uso da água, pesquisas voltadas à irrigação deficitária têm sido desenvolvidas. A irrigação deficitária é a redução na aplicação de água com o mínimo impacto possível sobre a produção (PADRÓN et al., 2014) e é vantajosa em locais onde a falta de água afeta o cultivo agrícola, além de possibilitar menor incidência de doenças por manter baixa umidade próxima à cultura (GEERTS; RAES, 2009).

A irrigação localizada através de gotejamento subsuperficial também tem se mostrado ferramenta que colabora com a produção e uso da água na agricultura. O gotejamento subsuperficial tem se destacado por favorecer a redução da evaporação da água, melhorar a eficiência da aplicação dos fertilizantes, reduzir o total de água requerida, reduzir a população de plantas infestantes e o acúmulo de sais na superfície, entre outras vantagens (ANDRADE JUNIOR et al., 2012).

Quando comparado a outros sistemas de irrigação, o gotejamento subsuperficial tem resultado em aumento da produção e economia no uso da água. Em experimento realizado por Enciso et al. (2015) no cultivo de cebola, o gotejamento subsuperficial resultou em maior produção e economia de água de 44 % em relação à irrigação por sulco. Leopoldo et al. (2013)

obtiveram maior produção de tomates com o gotejamento subsuperficial em relação ao cultivo com gotejamento superficial.

O uso da irrigação deficitária conjuntamente com o gotejamento subsuperficial pode ser viável na agricultura em áreas em que a escassez de água pode afetar a produção e para redução no uso da água em culturas mais exigentes e com maiores riscos relacionados à sanidade, como é o caso do tomateiro.

O tomateiro é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil, com uma produção em 2014 de 4,3 milhões de toneladas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017). É uma cultura que pode ser cultivada ao longo do ano e que pode ser produzida em campo ou em ambiente protegido. Devido à incidência de doenças e pragas, o tomateiro torna-se cultura que exige maiores cuidados pelo produtor.

Ele apresenta grande exigência em água, que corresponde a 90 % da massa dos tomates e é determinante para o tamanho e qualidade dos frutos (HO; GRANGE; PICKEN, 1987). A irrigação com volumes de água menores pode favorecer a produção dos tomateiros quando realizada com cautela e sem prejudicar as plantas. O gotejamento subsuperficial também pode minimizar os danos mecânicos no sistema de irrigação durante os tratamentos culturais e colheitas, reduzir a incidência de doenças e favorecer a economia de água e energia no ciclo da cultura.

A hipótese deste trabalho é que a irrigação deficitária através de gotejamento subsuperficial contribui com a eficiência no uso da água (EUA) no cultivo de tomateiro Grape e com a qualidade do fruto.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo avaliar a contribuição da irrigação subsuperficial deficitária na produtividade e qualidade de frutos de tomateiros Grape e estimar a eficiência no uso da água (EUA).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Uso da água e a irrigação no Brasil

Estima-se que em 2050 o planeta contará com população mundial de 9,15 bilhões e a produção de alimentos será 60 % maior do que em 2005/07 (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2012). Entretanto, o aumento da produção de alimento não será a única consequência, pois quanto maior a população, maior o consumo de recursos naturais. Sendo assim, no que diz respeito à água, haverá aumento no uso não apenas na irrigação visando o aumento da produtividade agrícola, mas também no consumo de água per capita e pelos demais setores da sociedade (CARMO; DAGNINO; JOHANSEN, 2014).

Segundo Almeida e Benassi (2015), a escassez de água atingia, quase exclusivamente, a região nordeste do país, mas em 2013/2014 ocorreu escassez na região sudeste com baixo nível dos reservatórios de água e queda dos volumes pluviométricos. O uso racional da água tem sido preocupação crescente no Brasil, levando a busca por economia de água e estudos sobre uso e eficiência. De acordo com Selborne (2001), a produção nacional de alimentos pode se tornar limitada por causa da escassez de água, que pode gerar mudanças na estrutura da sociedade e da economia.

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (2013), a vazão de retirada, que corresponde à água captada destinada aos diversos usos, para fins de irrigação no Brasil correspondeu a 54 % do total, estando o restante distribuído para área urbana (22 %), indústria (17 %), criação animal (6 %) e área rural (1 %).

Atualmente a área irrigada no Brasil corresponde a 5,6 milhões de hectares e houve um aumento nos últimos 16 anos de aproximadamente 45 % da área (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2017). Em 1980 correspondia a 3 % da área cultivada e em 2013 a aproximadamente 8,3 %, o que se deve a maiores incentivos através de programas do governo. A tendência é que haja aumento das áreas irrigadas no Brasil, pois o país apresenta baixa utilização de áreas potencialmente irrigáveis, o que torna necessário trabalhar com o uso racional da água na agricultura (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013).

A quantidade de água utilizada na agricultura é elevada devido à demanda das culturas e o desperdício causado por manejo inadequado e uso ineficiente de sistemas e métodos

de irrigação. Dessa forma, a melhoria de práticas de irrigação, bem como outras práticas agrícolas, permite o controle de risco de degradação do solo e aumento dos níveis de produtividade e preservação das condições ambientais (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

De acordo com Lima et al. (2014), para uso eficiente da irrigação, é preciso investimentos em pesquisa e desenvolvimento e buscar tecnologias de baixo custo para o produtor, acessíveis e adaptáveis à situação ou região.

A agricultura brasileira tem grande potencial para trabalhar com irrigação de forma a contribuir com o aumento de sua produtividade e essa realidade se tornará possível com o aumento da eficiência na utilização da irrigação. Porém, pensar numa agricultura irrigada, envolve mais do que produtividade e aumento da renda, ela precisa ser sustentável, ou seja, levar também em consideração seus impactos no meio ambiente e o que pode trazer de benefício para a sociedade. A irrigação na agricultura precisa de mais pesquisas e ser divulgada para os agricultores, para que a água seja utilizada de forma racional e tenha resultados positivos no campo.

3.2 Irrigação por gotejamento subsuperficial

A irrigação localizada é um método no qual a água é aplicada próxima a planta e tem como sistemas o gotejamento superficial ou subsuperficial, *bubbler* e microaspersão. Dentre suas vantagens está a redução da necessidade de água e dos custos de operação, menor incidência de plantas daninhas em relação aos outros métodos de irrigação e aplicação de fertilizantes com a água de irrigação (KELLER; BLIESNER, 1990).

A irrigação por gotejamento subsuperficial consiste na aplicação de água abaixo da superfície do solo através de emissores de irrigação localizada, com vazão geralmente na mesma faixa de irrigação por gotejamento superficial (CAMP, 1998; LAMM; CAMP, 2007). Diversos trabalhos na área têm mostrado as vantagens para a produção agrícola e aperfeiçoamento do sistema.

Dentre as vantagens, o gotejamento subsuperficial favorece a melhora no crescimento, rendimento e qualidade das culturas, permite colheitas múltiplas por não haver a necessidade de instalar e retirar as linhas gotejadoras em cada cultivo, é capaz de aplicar produtos químicos na área mais ativa da zona radicular, reduz incidência de doenças em plantas por manter a superfície do solo seca, tem maior controle sobre a água aplicada resultando em

menos água e perda de nutrientes por percolação profunda, menor risco de danos na linha de gotejamento causados pelo cultivo e outras operações, e permite irrigação utilizando água de reúso (AYARS et al., 1999; LAMM; CAMP, 2007; THOMPSON; HUAN-CHENG; YU-YI, 2009).

Em trabalho realizado por Geisenhoff et al. (2015), o gotejamento subsuperficial apresentou resultados melhores no cultivo de brócolis de cabeça em Latossolo Vermelho distroférico quando comparado a outros sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão, mangueira de irrigação microperfurada e aspersão), pois proporcionou maior produtividade, maior diâmetro de inflorescência e menor lâmina de água ao longo do ciclo.

Enciso et al. (2015) obtiveram melhor resultado com o gotejamento subsuperficial no cultivo de cebola ao compararem com a irrigação por sulco, havendo maior tamanho da cebola e maior produção, além de economia de 44 % no uso da água. Leopoldo et al. (2013) obtiveram produção de tomates com melhor qualidade comercial (massa do fruto superior a 150 g) com a irrigação por gotejamento subsuperficial a 0,25 m de profundidade quando comparado ao gotejamento superficial e à irrigação por gotejadores enterrados a 0,125 m.

Experimentos comparando os sistemas de gotejamento superficial e subsuperficial quanto à reserva de umidade, mostraram que em Latossolo Amarelo com textura argilosa o sistema subsuperficial proporcionou armazenamento de água 17 % superior (SOUZA; COELHO; PAZ, 2007) e em Argissolo um armazenamento de água 29 % maior (NOGUEIRA; COELHO; LEÃO, 2000).

Com a preocupação quanto ao uso da água na agricultura, pesquisas sobre gotejamento subsuperficial têm sido realizadas para aplicação de água de reúso no cultivo agrícola gotejamento subsuperficial, resultando em mais segurança ao operador, em não contaminação dos alimentos por *Escherichia coli* (FORSLUND et al., 2012) e produtividade maior quando comparada à irrigação com água de abastecimento (THEBALDI et al., 2013; TRIPATHI et al., 2016).

Dentre as desvantagens do sistema há o alto investimento de implantação, necessidade de mão de obra qualificada, possível dificuldade em avaliar a operação do sistema e a uniformidade de aplicação, dificuldade de germinação das sementes dependendo da profundidade de instalação e das propriedades do solo, e entupimento dos gotejadores por intrusão radicular e partículas do solo (AYARS et al., 1999; CAMP, 1998; LAMM; CAMP, 2007). Segundo Camp (1998), o sistema tem vida útil longa quando manejado devidamente, sendo necessário sistema para lavagem dos tubos, boa qualidade e filtração da água

O entupimento dos gotejadores enterrados devido à intrusão radicular foi avaliado por Cunha et al. (2014b), que consideraram como tratamentos diferentes níveis de reposição hídrica no cultivo de cana-de-açúcar e concluíram que o grau de entupimento e a intrusão radicular diminuem com o aumento da lâmina de irrigação. Já no experimento realizado por Cunha et al. (2016) com pinhão manso em vaso, o entupimento dos emissores foi mais severo na lâmina de 100 % da reposição hídrica.

Pesquisas com diferentes culturas visando o aprofundamento no conhecimento da intrusão radicular nos emissores mostram a aplicação de pequenas doses do herbicida trifluralina diretamente nas linhas de gotejadores enterrados. Segundo Lima et al. (2014), para a cultura do café não houve intrusão radicular mesmo sem a aplicação do herbicida. Já de acordo com o trabalho de Dalri et al. (2015) com cana de açúcar, recomenda-se a aplicação de trifluralina a partir do oitavo mês após a germinação.

Apesar de ser sistema cuja aquisição teve maior custo em relação aos sistemas de microaspersão, mangueira de irrigação microperfurada e aspersão, Oliveira et al. (2016) concluíram que o gotejamento subsuperficial foi o mais viável economicamente no cultivo de brócolis, pois resultou em melhor produtividade, receita bruta e receita líquida, além de menor lâmina de água ao longo do ciclo.

O gotejamento subsuperficial apresenta diversas vantagens em relação a outros métodos, dentre elas a redução da evaporação da água e a possibilidade de aplicação de adubos via fertirrigação diretamente no sistema radicular da planta. Apesar do alto custo de implantação deste sistema, o mesmo pode se mostrar viável para a redução do uso da água na agricultura e ter seu custo de implantação compensado pelo aumento da produtividade e retorno econômico. O estudo do sistema de gotejamento subsuperficial em diferentes culturas e ambientes pode contribuir com a decisão por sua escolha ou não no campo.

3.3 Irrigação deficitária

Estudos têm sido realizados com a irrigação deficitária em diferentes culturas e métodos de irrigação visando a redução do uso da água na agricultura irrigada juntamente com o aumento da produtividade. De acordo com Fereres e Soriano (2007), a irrigação deficitária corresponde à aplicação de água abaixo do requerido pela evapotranspiração e, segundo Padrón et al. (2014), refere-se à redução da aplicação de água com o mínimo impacto possível sobre a produção.

Segundo Geerts e Raes (2009), a irrigação deficitária é vantajosa em locais onde a água é fator limitante para a produção agrícola, podendo nestes casos o uso eficiente da água ser mais rentável para o produtor do que o aumento da produtividade. Outra vantagem é a menor umidade próxima à cultura, pois não favorece a incidência de doenças fúngicas.

Pesquisas científicas a respeito de irrigação deficitária, em sua maioria, consideram a evapotranspiração da cultura para o manejo da irrigação, sendo poucos os trabalhos que consideram o conteúdo de água no solo. Em trabalho realizado por Zwirtes et al. (2015), por exemplo, foram avaliados diferentes manejos de irrigação deficitária com gotejamento superficial na cultura do sorgo e a produtividade da água através de reposições da evapotranspiração da cultura. Os autores concluíram que irrigação deficitária resultou em redução linear na altura, no índice de área foliar e no rendimento de grãos, conforme era reduzida a reposição a cada 25 %, porém aumentou a produtividade da água irrigada.

Patanè, Tringali e Sortino (2011) também levou em consideração a ET_c para o manejo da irrigação deficitária através de gotejamento superficial em tomateiro de indústria cultivado no campo. Para as condições de semiárido do experimento, a reposição de 100 % da ET_c foi considerada ideal para a produtividade da cultura, mas a irrigação deficitária favoreceu a qualidade dos frutos e o teor de vitamina C, e foi recomendada para o uso em tomates cujo destino é a indústria e para áreas com escassez de água.

A irrigação deficitária também foi estudada com a finalidade de observar se atua diferente para cada cultivar de uma mesma cultura. No trabalho de Sharma et al. (2014) com cultivo de meloeiro por gotejamento subsuperficial houve economia de água de 40 % no uso da irrigação deficitária e a mesma foi recomendada para duas cultivares das três avaliadas. Lahoz et al. (2016) avaliaram duas cultivares de tomateiro destinado à indústria irrigados por gotejamento superficial e concluíram que a irrigação deficitária correspondente a 75 % da ET_c melhorou a qualidade dos frutos em ambas variedades.

A irrigação deficitária também foi estudada em trabalhos que levaram em consideração para o manejo a umidade do solo na capacidade de campo. Ismail e Almarshadi (2013) trabalharam com irrigação deficitária em alfafa através de gotejamento subsuperficial. O manejo foi realizado com sensores Watermark de forma a retomar a umidade do solo nos tratamentos a 100, 85 e 70 % da capacidade de campo e tiveram como resultado economia de água, mas redução da produtividade.

Bogale et al. (2016) utilizaram a irrigação de 100 % da capacidade de campo, irrigação deficitária regular (50 % da capacidade de campo) e irrigação parcial das raízes em tomateiros em vaso (50 % da capacidade de campo em um lado das raízes), sendo avaliados o

efeito da irrigação deficitária em duas cultivares. Os resultados mostraram que ambos tratamentos com irrigação deficitária podem aumentar o conteúdo de vitamina C, licopeno e betacaroteno em frutas, porém esse aumento ocorreu de maneira diferente em cada cultivar.

O estudo da irrigação deficitária é essencial para a redução no uso da água na agricultura, bem como para possível uso em áreas onde a escassez de água afeta a produção agrícola. Entretanto, esta técnica de irrigação não tem o mesmo efeito para todas as culturas e também pode não ser igual para todas variedades, o que mostra a importância em estudar seu uso caso a caso.

3.4 A cultura do tomateiro

3.4.1 Características e consumo de tomate

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) pertence à família botânica Solanaceae. É originária da América do Sul, nas regiões andinas do Peru, Bolívia e Equador, crescendo bem em regiões de clima tropical de altitude e subtropical com bastante luminosidade (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1993). É uma planta que pode se desenvolver de forma rasteira, como é o caso de tomateiros destinados à indústria, semiereta ou ereta, geralmente utilizada no cultivo de tomate de mesa. Suas variedades podem ser de crescimento determinado ou indeterminado (ALVARENGA, 2004), podendo o sistema radicular da planta atingir 0,40 m de profundidade efetiva (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1993).

O tomateiro pode ser cultivado ao longo do ano devido à sua tolerância a variações de temperatura, porém ela pode propiciar o desenvolvimento de doenças na cultura e interferir no pegamento dos frutos, além de influenciar no crescimento da planta e desenvolvimento dos tomates, sendo necessário manter a temperatura próxima das condições ideais (KRUMBEIN; SCHWARZ; KLÄRING, 2006; MAKISHIMA; CARRIJO, 1998; VAN DER PLOEG; HEUVELINK, 2005). De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1993), a melhor época de plantio do tomateiro é aquela que apresenta em todo ciclo da cultura temperaturas médias variando de 18°C a 25°C, baixa umidade relativa do ar e baixos índices de chuvas por um período de 5 a 6 meses consecutivos.

Seus tratos culturais envolvem o tutoramento, amarração, desbrota, controle fitossanitário, adubação de plantio e de cobertura, capina e irrigação. O tutoramento é utilizado

no cultivo de variedades de crescimento indeterminado, evitando que a planta se desenvolva apoiada no solo, e pode ser realizado com o uso de duas estacas de madeira ou bambu, apenas uma estaca, arames ou fitilhos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1993).

O tomateiro está entre as hortaliças mais consumidas no mundo, com produção de 170,8 milhões de toneladas em 502,4 milhões de hectares de área cultivada em 2014. Neste mesmo ano, a produção brasileira de tomate foi de 4,3 milhões de toneladas, com área plantada de 64.363 hectares (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017).

Segundo os hábitos de consumo de tomate de mesa, as principais características são o sabor e o aroma, mas para a seleção do fruto também são levados em consideração a aparência, firmeza, textura, matéria seca e propriedades organolépticas (aroma, açúcar e teor de ácido) e nutricionais. Estes fatores dependem das condições em que os tomateiros são cultivados e da variedade da cultura (DORAIS; PAPADOPOULOS; GOSSELIN, 2001).

Dentre os grupos de tomate presentes no mercado atualmente, existe o segmento do minitomate, no qual fazem parte os tipos cereja, Sweet Grape, Grape e tipo italiano, diferindo entre si pelo sabor, tamanho, formato, teor de sólidos solúveis (considerado responsável pela doçura do fruto) e coloração (SABIO; VENTURA; CAMPOLI, 2013). É um tomate de mesa que tem crescido na produção e comercialização no país, sendo considerado um produto *gourmet* e consumido geralmente *in natura* (PRECZENHAK et al., 2014).

3.4.2 Água no cultivo de tomateiro

O tomateiro é uma cultura exigente em água, elemento que corresponde a pouco mais de 90 % da massa dos tomates e que é determinante para o tamanho e qualidade dos frutos (ALVARENGA, 2004; HO; GRANGE; PICKEN, 1987; LUENGO et al., 2011). A água necessária à irrigação do tomateiro pode variar de 350 mm a 750 mm por ciclo, dependendo das condições climáticas, do sistema de irrigação e da cultivar (MAROUELLI et al., 2011).

De acordo com a Marouelli et al. (2011), o tomateiro apresenta quatro estádios de desenvolvimento relacionados às necessidades hídricas:

- Estádio inicial: corresponde ao período do transplântio até o estabelecimento inicial das plantas, sendo que o excesso de irrigação favorece a incidência de doenças e pode matar as plântulas, e a falta pode prejudicar o pegamento das mudas.

- Estádio vegetativo: compreende o período entre o estabelecimento inicial da planta e a frutificação, sendo menos crítico para o tomateiro quanto ao déficit hídrico.
- Estádio de frutificação: compreende o período de frutificação até o início da maturação e senescência da planta, sendo o mais crítico em relação à deficiência de água no solo e quando a planta atinge a máxima demanda de água. Neste período, o déficit hídrico reduz a viabilidade do pólen e o tamanho dos frutos, enquanto o excesso de água causa crescimento excessivo da planta ao invés da produção de frutos e favorece o aparecimento de doenças de solo e parte aérea.
- Estádio de maturação: período entre o declínio do vigor vegetativo até a última colheita. Neste estágio, há redução do consumo de água pela planta.

O déficit hídrico moderado na fase de amadurecimento e o genótipo da cultura favorecem a qualidade dos frutos, principalmente quanto ao sabor, porém no período de frutificação pode afetar o desenvolvimento e resultar em baixa produção (RIPOLL et al., 2016).

Em trabalho realizado por Lahoz et al. (2016), a irrigação deficitária considerando a evapotranspiração no cultivo de tomateiro industrial resultou em frutos com maior teor de sólidos solúveis, porém houve redução na produção, o que segundo os autores deve ser levado em consideração para se avaliar a viabilidade deste método de produção.

Além da redução na produtividade, o déficit hídrico no cultivo de tomateiro, quando não manejado com cuidado, pode causar rachaduras nos frutos. As rachaduras ocorrem geralmente devido a longo período de seca seguido por chuva intensa, ou seja, quando há baixos níveis de umidade do solo e esta é rapidamente elevada devido à chuva ou irrigação (PEET, WILLITS, 1995; PEET, 2009), afetando assim a resistência da pele do tomate (PEET, 1992).

3.5 Técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR)

Quando se trata do uso eficiente da água na agricultura, deve-se pensar em uma série de soluções tecnológicas e gerenciais capazes de reduzir o consumo de água, como o uso de programação da irrigação, aperfeiçoamento das técnicas de irrigação, manejo do solo e das espécies cultivadas e a utilização de plantas de cobertura (FAGGION; OLIVEIRA; CHRISTOFIDIS, 2009).

O uso eficiente da água na agricultura tem relação direta com o manejo da irrigação, sendo que este envolve os fatores de quando irrigar, quanto aplicar de água, uniformidade de aplicação e eficiência de aplicação. De acordo com Hernandez et al. (2001), o

manejo da irrigação pode ser realizado através de processos baseados nas condições atmosféricas ou processos baseados nas condições do solo.

O manejo que leva em consideração a água armazenada no solo, trabalha com a quantidade de água disponível no intervalo entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente, o que corresponde à disponibilidade real de água no solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009). Segundo Coelho, Coelho Filho e Oliveira (2005), neste manejo se faz a irrigação quando o déficit hídrico for superior ao permitido, de forma que a umidade do solo retorne ao valor referente à capacidade de campo.

Este manejo pode ser realizado através de método direto, que envolve mais tempo para obter resultado, ou método indireto, como o uso de sondas TDR, FDR ou de nêutrons e tensiômetros, capazes de quantificar o conteúdo de água no solo de forma precisa, rápida e em diferentes profundidades (SOUZA et al., 2013).

Os métodos indiretos precisam de calibração para que os resultados sejam mais precisos. Souza et al. (2013) realizaram um experimento no qual compararam as sondas TDR e FDR em condições laboratoriais para a estimativa do conteúdo de água no solo. Os autores concluíram que os métodos estimaram os valores de forma diferente quando comparados ao método gravimétrico, em que o FDR subestimou os valores e o TDR superestimou.

A técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) é muito utilizada em hidrologia e ciências do solo, medindo de forma precisa a água no solo (THOMSEN; HANSEN; SCHELDE, 2000), tendo a capacidade de determinar a constante dielétrica do solo através da medição do tempo de passagem de um pulso eletromagnético lançado através de hastes metálicas (DALTON; VAN GENUCHTEN, 1986; NOBORIO, 2001).

Segundo Carvalho e Oliveira (2012), “o equipamento é um transmissor/capacitor de ondas, que emite um sinal de onda ou um pulso no solo. Este sinal interage com o meio onde se deseja medir a umidade e um sensor realiza a leitura do seu comportamento”. De acordo com Dalton e van Genuchten (1986), a técnica TDR permite medições rápidas e o uso de uma sonda de detecção simples e relativamente barata.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área experimental

O ensaio foi realizado em ambiente protegido (casa de vegetação) do tipo arco-simples de dimensões 6,40 x 20 m, altura de cinco metros e coberto com filme de polietileno transparente (150 microns) instalado na área experimental do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), localizada no município de Araras, estado de São Paulo, tendo-se as seguintes coordenadas geográficas: 22° 18' de latitude sul e 47° 23' de longitude oeste. A altitude média da área é de aproximadamente 600 m. O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos.

O solo predominante na área de realização do experimento é um Latossolo Vermelho, muito argiloso, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013). As análises para caracterização dos atributos físicos e químicos do solo (Tabela 1) foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e no Laboratório de Física do Solo, ambos pertencentes à UFSCar, em conformidade com os métodos descritos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011).

Tabela 1 – Características físicas e químicas do solo, profundidade 0-0,20 m.

Atributos	Unidades	Teor
Areia	%	20
Silte	%	19
Argila	%	61
Capacidade de campo	m ³ m ⁻³	0,33
Ponto de murcha permanente	m ³ m ⁻³	0,17
Porosidade	m ³ m ⁻³	0,51
Densidade do solo	kg m ⁻³	1300
Densidade de partículas	kg m ⁻³	2650
Capacidade de infiltração	cm h ⁻¹	13,20
pH em água	-	5,30
Fósforo	mg dm ⁻³	62,00
Matéria orgânica	%	25
Acidez potencial	mmol _c dm ⁻³	33,00
Potássio	mmol _c dm ⁻³	3,70
Cálcio	mmol _c dm ⁻³	35,00
Magnésio	mmol _c dm ⁻³	17,00
Soma de bases	mmol _c dm ⁻³	55,60
Capacidade de troca catiônica	mmol _c dm ⁻³	88,60
Saturação de bases	%	63
Enxofre	mg dm ⁻³	46,00
Boro	mg dm ⁻³	0,21

Cobre	mg dm ⁻³	3,70
Ferro	mg dm ⁻³	11,00
Manganês	mg dm ⁻³	42,3
Zinco	mg dm ⁻³	3,00

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo e Laboratório de Física do Solo, CCA/UFSCar.

O experimento teve início em 26 de fevereiro de 2016 e conclusão em 12 de julho de 2016, totalizando o ciclo da cultura do tomateiro de 137 dias.

Os tratamentos avaliados foram: aplicação de lâmina de água para manter a umidade do solo em 100 % de sua capacidade de água disponível (CAD) (T1); irrigação deficitária mantendo a umidade do solo em 75 % de sua CAD (T2); e irrigação deficitária mantendo a umidade do solo em 50 % de sua CAD (T3).

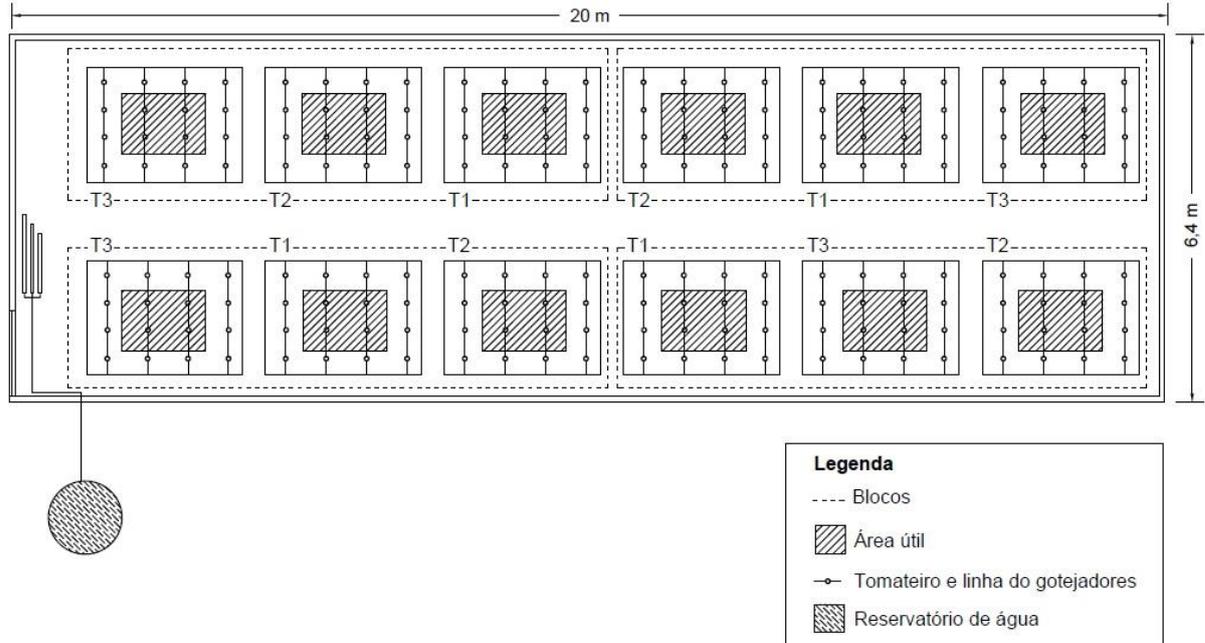
O manejo dos tratamentos era realizado mantendo a umidade do solo de acordo com valores de umidade de referência (θ_R), sendo 0,33 m³ m⁻³ para T1, 0,29 m³ m⁻³ para T2 e 0,25 m³ m⁻³ para T3. Trabalhou-se com irrigação diária e lâmina de água parcelada em três horários ao longo do dia (8h, 12h e 17h).

4.2 Preparo da área experimental, instalação do sistema de irrigação e equipamento de monitoramento

O solo foi preparado com o auxílio de um micro trator com enxada rotativa (tobata). A calagem foi realizada com calcário dolomítico um mês antes do transplante das mudas seguindo a recomendação do Boletim Técnico 100, RAIJ et al. (1997).

Foram construídos doze canteiros na área experimental, com 0,30 m de espessura. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições totalizando 12 parcelas (Figura 1). Cada parcela consistiu de um canteiro de 2,7 m de largura por 2,0 m de comprimento, correspondendo a área de 5,4 m². A área considerada útil nos canteiros para as avaliações foi de 2,1 m² (Figura 1).

Figura 1 – Croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos, blocos, área útil das parcelas e linha de gotejadores



Fonte: Arquivo pessoal.

A irrigação foi realizada por gotejamento subsuperficial, utilizando tubos gotejadores com emissores não autocompensantes espaçados 0,50 m, com vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$ e pressão de serviço de 100 kPa, da marca Drip-Plan*, modelo Drip-Tech, conforme o consumo hídrico dos diferentes tratamentos. Em cada canteiro foram instalados a 0,20 m de profundidade quatro tubos gotejadores espaçados 0,70 m, com quatro emissores em cada linha (Figura 2).

Figura 2 – Linhas de gotejadores instaladas a 0,20 m de profundidade em valetas abertas nos canteiros.



Fonte: Arquivo pessoal.

* Referência à marca registrada não constitui endosso pelos autores.

A água utilizada na irrigação foi caracterizada conforme parâmetros apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros da qualidade da água de irrigação utilizada no ciclo do tomateiro.

Parâmetros	Unidades	Água de irrigação
RAS	meq L ⁻¹	1,48 ± 0,06
Condutividade elétrica	dS m ⁻¹	0,19 ± 0,09
pH	-	7,93 ± 0,29
Cloro	mg L ⁻¹	<0,5*
Fósforo	mg L ⁻¹	0,47 ± 0,06
Magnésio	mg L ⁻¹	1,53 ± 1,66
Cálcio	mg L ⁻¹	9,25 ± 3,41
Potássio	mg L ⁻¹	2,31 ± 0,581
Sódio	mg L ⁻¹	16,97 ± 0,64
Nitrogênio Inorgânico Total	mg L ⁻¹	0,21 ± 0,18

* não há desvio padrão para essas médias.

Fonte: Urbano et al. (2017)

Antes de cobrir os tubos gotejadores, fez-se o teste de uniformidade medindo a vazão por minuto de um gotejador aleatório por linha com o auxílio de béquer e proveta, totalizando 48 gotejadores, sendo aplicada no cálculo do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (CUNHA et al., 2014a) (Equação 1). O CUC resultou em uniformidade de 97,6 %.

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right\} \quad (1)$$

em que,

n – número de gotejadores observados;

X_i – vazão de cada gotejador, em L h⁻¹;

\bar{X} – vazão média dos gotejadores, em L h⁻¹.

Cada tratamento contou com uma linha de irrigação própria, com cabeçal de controle contendo uma solenoide conectada a um controlador digital, válvula antivácuo, um registro de esfera, um injetor, um filtro de disco, um regulador de pressão de aproximadamente 137,9 kPa e um manômetro (Figura 3).

Figura 3 – Cabeçal de controle da linha de irrigação de cada tratamento, compostos por (da esquerda para a direita) solenoide, válvula antivácuo, registro de esfera, injetor, filtro de disco, regulador de pressão e manômetro.

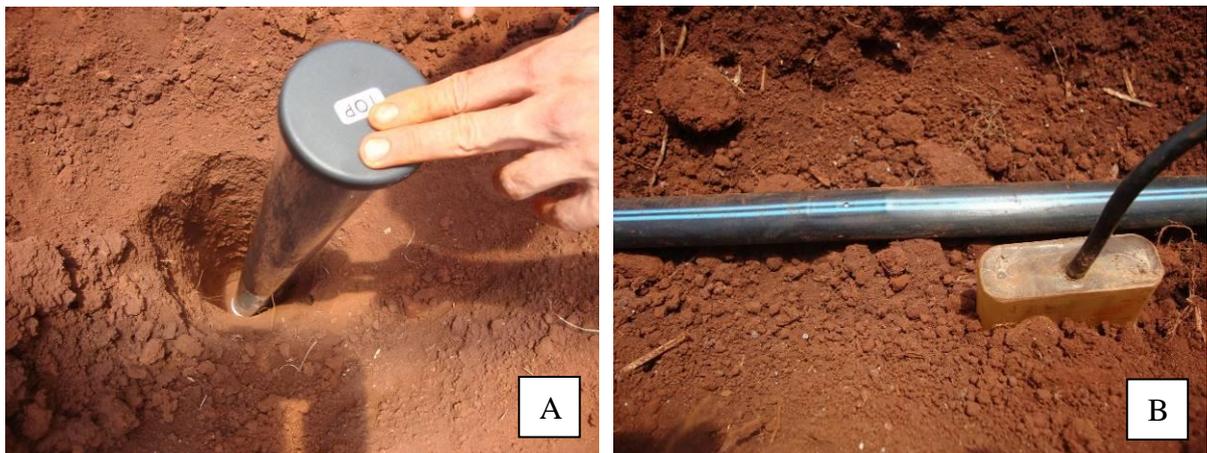


Fonte: Arquivo pessoal.

Em cada canteiro também foi instalado tubo de acrílico para acesso do scanner de raiz CI-600 da CID BioScience*, com a finalidade de monitorar a profundidade efetiva das raízes a ser utilizada para o manejo da irrigação (Figura 4A) até 0,60 m de profundidade. Os mesmos foram instalados a aproximadamente 0,07 m de uma das plantas presentes na área útil do canteiro.

Também foram instaladas quatro sondas TDR com hastes de 0,20 m por canteiro, duas na camada de 0 a 0,20 m e duas de 0,20 m a 0,40 m, próximas a dois gotejadores da área útil (Figura 4B e 4C).

Figura 4 – Instalação de um dos tubos de acrílico para acesso do scanner de raízes (A), sonda TDR na camada de 0,20 a 0,40 m próxima ao gotejador (B) e posicionamento das sondas a duas profundidades no solo (C).





Fonte: Arquivo pessoal.

Foram instaladas nas extremidades das linhas de plantio duas estacas de madeira de 2,5 m de altura a 0,50 m de profundidade, nas quais foram amarradas ráfias para o tutoramento dos tomateiros, auxiliando na sustentação das plantas.

No centro da casa de vegetação foi instalada estação meteorológica automática, contendo sensores de temperatura e umidade relativa do ar instalados a 1,5 m de altura, programada para coletar os dados a cada quatro horas ao longo do experimento.

4.3 Transplântio das mudas e tratamentos culturais

As mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) variedade Milla, grupo Grape, foram transplantadas no estágio de quatro folhas definitivas. As mudas foram transplantadas sobre a linha dos gotejadores, espaçadas 0,50 m entre plantas e 0,70 m entre linhas.

A adubação de plantio foi realizada com superfosfato simples, aplicado na cova das mudas de forma a não entrar em contato com as raízes, e nitrato de potássio, aplicado em meia lua por planta e as dosagens de acordo com RAIJ et al. (1997) (Figura 5).

Figura 5 – Muda de tomateiro utilizada no experimento (A), canteiro após o transplântio das mudas (B) e área experimental com o detalhe da adubação em meio lua (C).



Fonte: Arquivo pessoal.

Devido ao sistema radicular das plantas não alcançar inicialmente a profundidade de 0,20 m, durante dez dias uma irrigação por aspersão foi necessária diariamente para manter a capacidade de campo ($0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) até o pegamento das plantas no solo.

A adubação de cobertura para nitrogênio e potássio foi parcelada em seis vezes, sendo realizada 21, 40, 59, 77, 101 e 122 DAT via fertirrigação por uma bomba injetora, sendo utilizado nitrato de potássio e nitrato de cálcio como fontes nutricionais.

Com a finalidade de evitar o entupimento dos gotejadores por intrusão radicular, injetou-se aos 18 DAT (dia após o transplântio) 0,125 mL de herbicida por emissor, cujo ingrediente ativo foi a trifluralina. Na literatura não foi encontrado recomendação para o volume a ser aplicado de trifluralina na cultura de tomateiro ou outras hortaliças, entretanto, Dalri et al. (2015) e Lima et al. (2014) recomendam a aplicação de 0,250 mL por emissor para as culturas de cana-de-açúcar e café, respectivamente. Desta forma, optou-se utilizar a metade da dose sugerida pelos autores.

No decorrer do experimento, fez-se o tutoramento dos tomateiros amarrando a haste principal em ráfias a diferentes alturas com fitilhos. Também foi realizada a desbrota das plantas de forma a mantê-las com apenas uma haste. Aos 66 DAT, fez-se a despona dos tomateiros para limitar a altura das plantas e para que todas tivessem apenas seis cachos (GUIMARÃES et al., 2007) (Figura 6).

Figura 6 – Detalhe do tutoramento dos tomateiros através de fitilhos amarrados em ráfias a diferentes alturas (à esquerda) e do amarrão do fitilho à planta (à direita).



Fonte: Arquivo pessoal.

Também foram aplicados inseticida sistêmico do grupo químico neonicotinóides (i.a. Imidacloprido) e inseticida de contato e ingestão do grupo piretróide (i.a. Deltametrina). O controle de plantas infestantes foi manual.

4.4 Profundidade efetiva das raízes e leituras com TDR

Aos 20 DAT teve início a coleta de imagens do sistema radicular das plantas. Semanalmente, enquanto a profundidade das raízes ainda não havia atingido 0,60 m, e quinzenalmente foram obtidas imagens do sistema radicular de uma das plantas da área útil de cada canteiro com o scanner de raízes. As leituras foram realizadas no período da manhã para reduzir a interferência da luz solar nas imagens. Os tubos de acrílico foram vedados com saco plástico preto durante as leituras para impedir a entrada de luz (Figura 7).

Figura 7 – Detalhe da entrada do scanner de raízes no tubo de acrílico (à esquerda) e leitura com o tubo vedado por saco plástico preto para impedir a entrada de luz (à direita).



Fonte: Arquivo pessoal.

O sistema radicular foi observado até 0,60 m de profundidade e, a partir dessas imagens, foi possível monitorar o crescimento radicular pelo software CI-690 RootSnap* e utilizar a informação no cálculo da lâmina de água.

A profundidade efetiva de raízes é aquela em que se encontra a maior parte do sistema radicular, correspondendo de 80 a 85 % das raízes, e onde ocorre maior absorção de água e nutrientes pelas plantas (BIZARI et al., 2010; MAROUELLI; SILVA, 2002). Considerando que cerca de 70 % da água absorvida pelas plantas decorre da metade superior da zona radicular (SCHERER; FRANZEN; CIHACEK, 2013), trabalhou-se com manejo racional da irrigação em que se considerou como profundidade efetiva das raízes dos tomateiros 50 % da profundidade das raízes observada nas imagens.

Entre 10 e 19 DAT, a profundidade efetiva das raízes considerada no cálculo da lâmina de água foi de 0,10 m, pois ainda não havia iniciado a obtenção de imagens com o scanner.

Quanto à umidade do solo, foi utilizado TDR100 da Campbell Scientific* para leituras das sondas instaladas na área útil dos canteiros. Com o equipamento e com o software PCTDR, eram obtidos os valores da constante dielétrica aparente do solo (K_a), convertidos em umidade volumétrica do solo (θ) a partir da Equação 2 (BACALHAU; PAVÃO; SOUZA, 2012). As leituras foram realizadas três vezes por semana e foram consideradas as médias de cada tratamento na leitura do dia.

$$\theta = 0,000005Ka^3 - 0,0003Ka^2 + 0,0161Ka + 0,0132 \quad (2)$$

em que,

θ - umidade do solo para o tratamento;

Ka - constante dielétrica aparente do solo, adimensional.

As sondas TDR também forneceram a condutividade elétrica aparente do solo, a qual foi estimada na Equação 3 para o ajuste da condutividade elétrica referente a pasta saturada (BACALHAU et al., 2013).

$$CE = [0,0303 + (4,602 \times CE_{TDR}) - (0,7 \times \theta)] \quad (3)$$

em que,

CE - condutividade elétrica pasta saturada, $dS\ m^{-1}$;

CE_{TDR} - condutividade elétrica fornecida pelo TDR, $dS\ m^{-1}$;

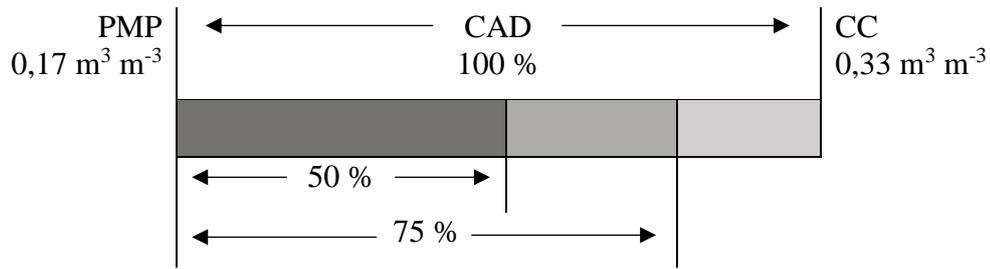
θ - umidade do solo de acordo com a Equação 1.

4.5 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação teve início 10 DAT, considerando a Capacidade de Água Disponível (CAD) no solo. Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2009), a CAD corresponde a quantidade de água disponível no intervalo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murchamento permanente (PMP).

Foram necessários cálculos para obter a umidade de referência (θ_R) de cada tratamento a ser considerada no manejo da irrigação, sendo que a umidade do solo no experimento deveria ser elevada à umidade de referência estipulada. O tratamento T1 correspondeu a 100 % da CAD, intervalo entre PMP ($0,17\ m^3\ m^{-3}$) e CC ($0,33\ m^3\ m^{-3}$), ou seja, a umidade de referência para o manejo da irrigação de T1 (θ_{RT1}) foi de $0,33\ m^3\ m^{-3}$. Proporcionalmente se considerou os 75 e 50 % de T2 e T3 (Figura 8).

Figura 8 – Esquema da CAD no solo do experimento e proporção de umidade do solo considerada para cada tratamento.



Fonte: Arquivo pessoal.

A umidade de referência para T2 e T3 foi calculada a partir da CAD (mm) em T1 (Equação 4).

$$CAD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times z \times 1000 \quad (4)$$

em que,

CAD - capacidade de água disponível para T1, mm;

θ_{CC} - umidade volumétrica do solo na capacidade de campo referência para T1, $m^3 m^{-3}$;

θ_{PMP} - umidade volumétrica do solo no Ponto de Murchamento Permanente, $m^3 m^{-3}$;

z - profundidade efetiva das raízes, m.

A partir do resultado da Equação 4, foram calculadas lâminas de água (L_{RT}) considerando 75 % da CAD para T2 e 50 % para T3, sendo estes valores substituídos na Equação 5.

$$\theta_{RT} = \left(\frac{L_{RT}}{z \times 1000} \right) + \theta_{PMP} \quad (5)$$

em que,

θ_{RT} - umidade volumétrica do solo de referência para o tratamento, $m^3 m^{-3}$;

L_{RT} - lâmina de água do tratamento, mm;

θ_{PMP} - umidade volumétrica do solo no Ponto de Murchamento Permanente, $m^3 m^{-3}$;

z - profundidade efetiva das raízes, m.

A umidade de referência para T2 foi de $0,29 m^3 m^{-3}$ e T3 foi de $0,25 m^3 m^{-3}$, com faixa de variação entre $0,17$ a $0,29 m^3 m^{-3}$ e $0,17$ a $0,25 m^3 m^{-3}$, respectivamente.

Para calcular a lâmina de água a ser aplicada diariamente nos tratamentos, inicialmente foram considerados os valores de umidade do solo obtidos nas leituras das sondas

na camada de 0 a 0,20 m. A partir das imagens do scanner de raízes, passou-se a considerar apenas as médias das sondas na camada de 0,20 a 0,40 m quando se notou que o sistema radicular já se encontrava a 0,20 m de profundidade.

O valor de umidade do solo (θ) da Equação 2 foi utilizado na Equação 6 para calcular a lâmina de água do tratamento (L_T) a ser aplicada no dia da leitura com o TDR e reaplicada no dia seguinte. A lâmina de água calculada era parcelada em três irrigações ao longo do dia.

$$L_T = [\theta_R - \theta] \times z \times 1000 \quad (6)$$

em que,

L_T - lâmina de água do tratamento, mm;

θ_R - umidade do solo de referência para o tratamento;

θ - umidade do solo obtida a partir da Equação 2;

z - profundidade efetiva das raízes, m.

Ao final do ciclo da cultura, foi obtida a lâmina total de água aplicada em cada tratamento a partir da soma da lâmina aplicada diariamente.

4.5 Colheita, análise dos frutos e eficiência no uso da água (EUA)

As colheitas tiveram início no 67 DAT, sendo colhidos os frutos das plantas referentes à área útil de cada canteiro. Foram selecionados os frutos de acordo com a coloração, ou seja, aqueles que apresentaram vermelho mais intenso, mantendo assim um padrão para as análises laboratoriais de sólidos solúveis e pH.

Foram avaliados atributos quantitativos e qualitativos dos frutos em relação aos tratamentos propostos. Os atributos quantitativos foram número de frutos por planta, massa média dos frutos e produtividade e os qualitativos foram diâmetro, comprimento, sólidos solúveis, pH dos frutos e massa seca das folhas e caule.

Em cada colheita foram avaliados o número de frutos por planta, massa de frutos por planta (através de balança de precisão) e diâmetro e comprimento dos frutos (com paquímetro).

As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório de Materiais Poliméricos e Biossolventes, no CCA/UFSCar, sendo obtidos valores de sólidos solúveis (%)

com refratômetro portátil (modelo RHB-32ATC) e de pH com o auxílio do pHmetro de bancada da Denver Instrument* (modelo UltraBasic).

Primeiramente as amostras foram divididas em quartis até se obter amostras menores, aproximadamente quatro frutos por amostra, e suficientes para as análises, trabalhando-se assim com quatro amostras e garantindo também a seleção aleatória dos tomates. Depois as amostras foram trituradas em moinho analítico da marca IKA* (modelo A11 Basic) de 28000 rpm (Figura 9).

Figura 9 – Moinho analítico utilizado para triturar as amostras de tomate em laboratório (à esquerda) e material triturado e diluição a 10 % em balão volumétrico de 25 mL (à direita).



Fonte: Arquivo pessoal.

Para obter o valor de sólidos solúveis, foi utilizada pipeta de Pasteur para coletar parte do material triturado. Colocaram-se aproximadamente três gotas do triturado sobre a lâmina do refratômetro, que ao ser direcionado contra a luz permitiu a leitura da porcentagem de sólidos solúveis presentes no material.

Para análise do pH, trabalhou-se com a diluição do material a 10 % (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). O procedimento consistiu primeiramente na pesagem em balança analítica de 2,5 mL do material triturado, depois o material foi despejado dentro de um balão volumétrico de 25 mL com o auxílio de um funil e o mesmo completado com água destilada. O material foi depositado em béquer de 25 mL e o pH mensurado no pHmetro de bancada.

Ao final do experimento, a parte aérea dos tomateiros da área útil das parcelas foi cortada com o auxílio de uma tesoura de poda. Ela foi dividida em folhas e caule (haste + cacho), o material foi pesado em balança de precisão e depois seco em estufa de secagem da Ethik Technology* (modelo 400-8D) a 65°C até obtenção de massa constante. O material foi acondicionado em sacos de papel durante a secagem.

Foi obtida a eficiência no uso da água (EUA), estimada em kg m^{-3} através da divisão da produtividade (kg ha^{-1}) de cada tratamento pela lâmina de água (mm) aplicada durante o ciclo.

4.6 Análise dos resultados

A partir dos resultados obtidos, foram realizadas a análise de variância (ANOVA) e a comparação das médias com o Teste Tukey a 5 % de significância com o auxílio do software R, versão 3.2.0 (R CORE TEAM, 2015).

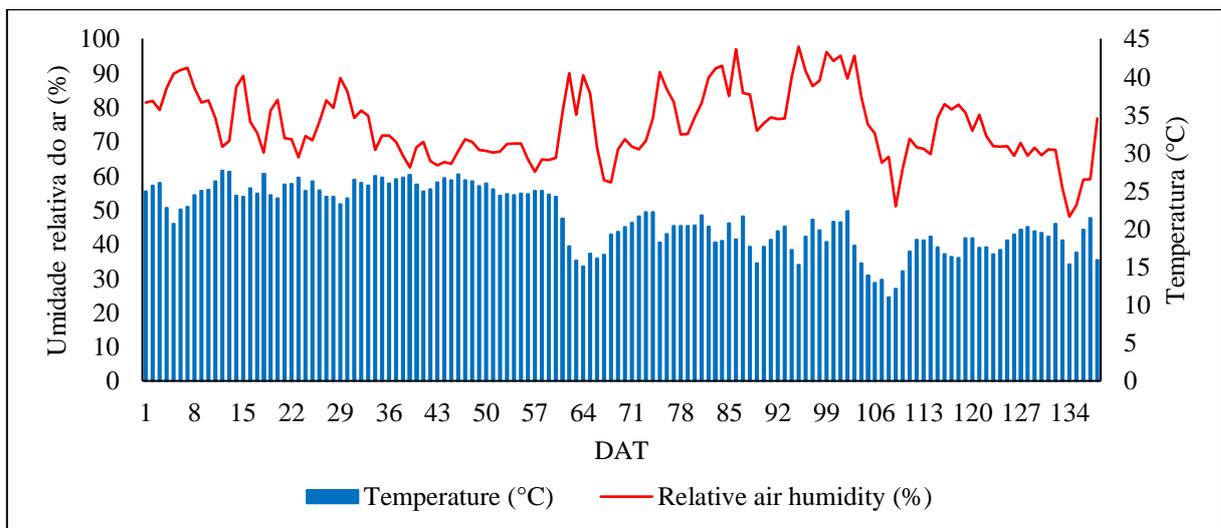
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Temperatura e umidade relativa do ar

A temperatura média no interior da casa de vegetação ao longo do experimento foi de 21,6 °C, com temperatura mínima de 11 °C e máxima de 27,7 °C. A umidade relativa do ar média foi de 74,5 %, com mínima 48 % e máxima 97,7 % (Figura 10). Temperaturas médias variando de 18 a 25 °C favorecem o desenvolvimento vegetativo do tomateiro e baixa umidade relativa do ar contribui com menor incidência de pragas e doenças, sendo importante considerar esses dois fatores para o cultivo de tomateiro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1993).

No caso deste experimento, houve grande variação de temperatura e umidade relativa do ar, pois o ciclo da cultura abrangeu parte do verão e do inverno. Estes fatores climáticos não interferiram na produção dos tomateiros e não favoreceram a proliferação de pragas e doenças que pudessem afetar a cultura provavelmente devido ao cultivo em casa de vegetação e pelos tratos culturais realizados durante o experimento.

Figura 10 – Valores médios de umidade relativa do ar e temperatura interna da casa de vegetação obtidos pela estação meteorológica ao longo do ciclo da cultura.

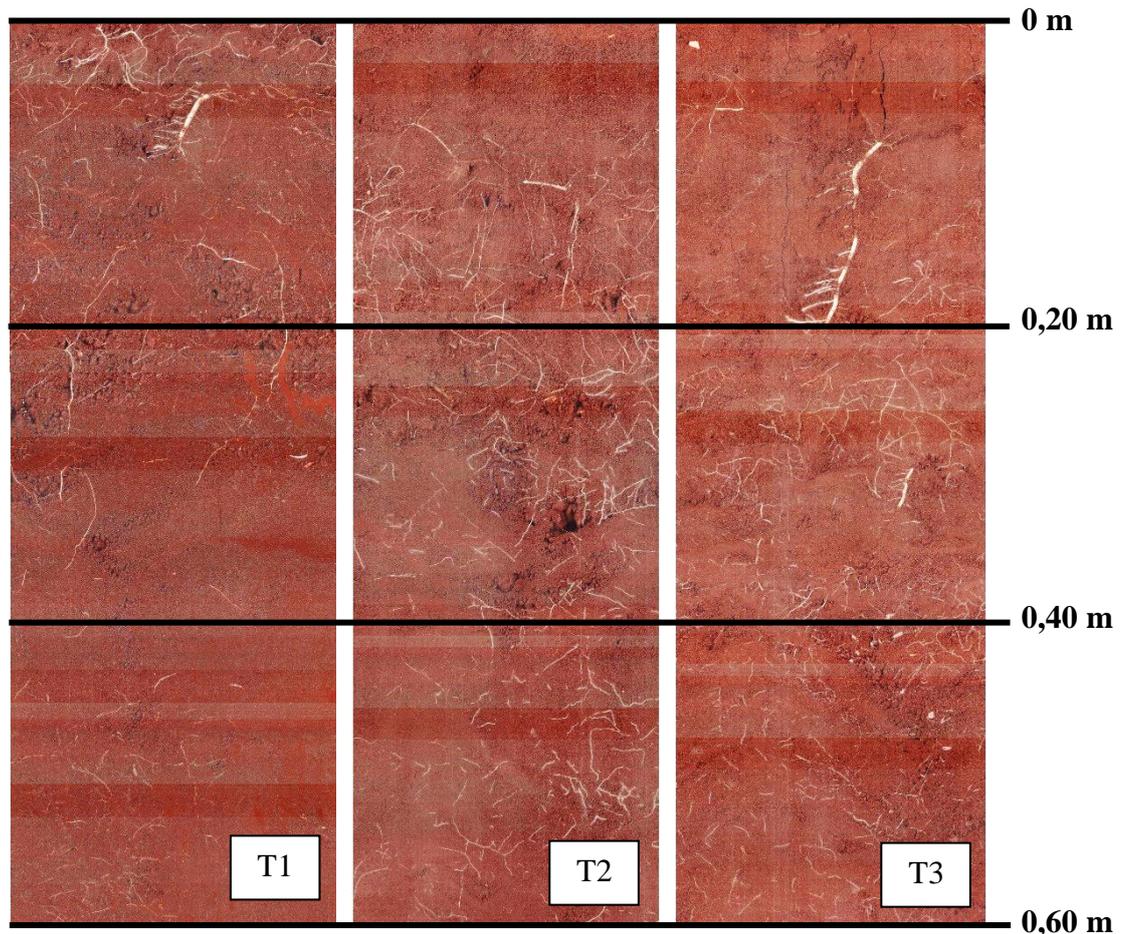


Fonte: Dados da pesquisa.

5.2 Profundidade efetiva das raízes

Aos 20 DAT teve início o manejo da irrigação considerando as imagens obtidas através do scanner de raízes. A Figura 11 apresenta o sistema radicular de um dos tomateiros de cada tratamento no perfil de 0-0,60 m do solo, representando as imagens coletadas no 76 DAT, período em que todos os tratamentos foram considerados com profundidade efetiva das raízes de 0,30 m. Nota-se que o sistema radicular atingiu a profundidade de 0,60 m e foi além do que era possível observar nas imagens.

Figura 11 – Perfil do solo dos tratamentos formado a partir de imagens obtidas pelo scanner de raízes aos 76 DAT.



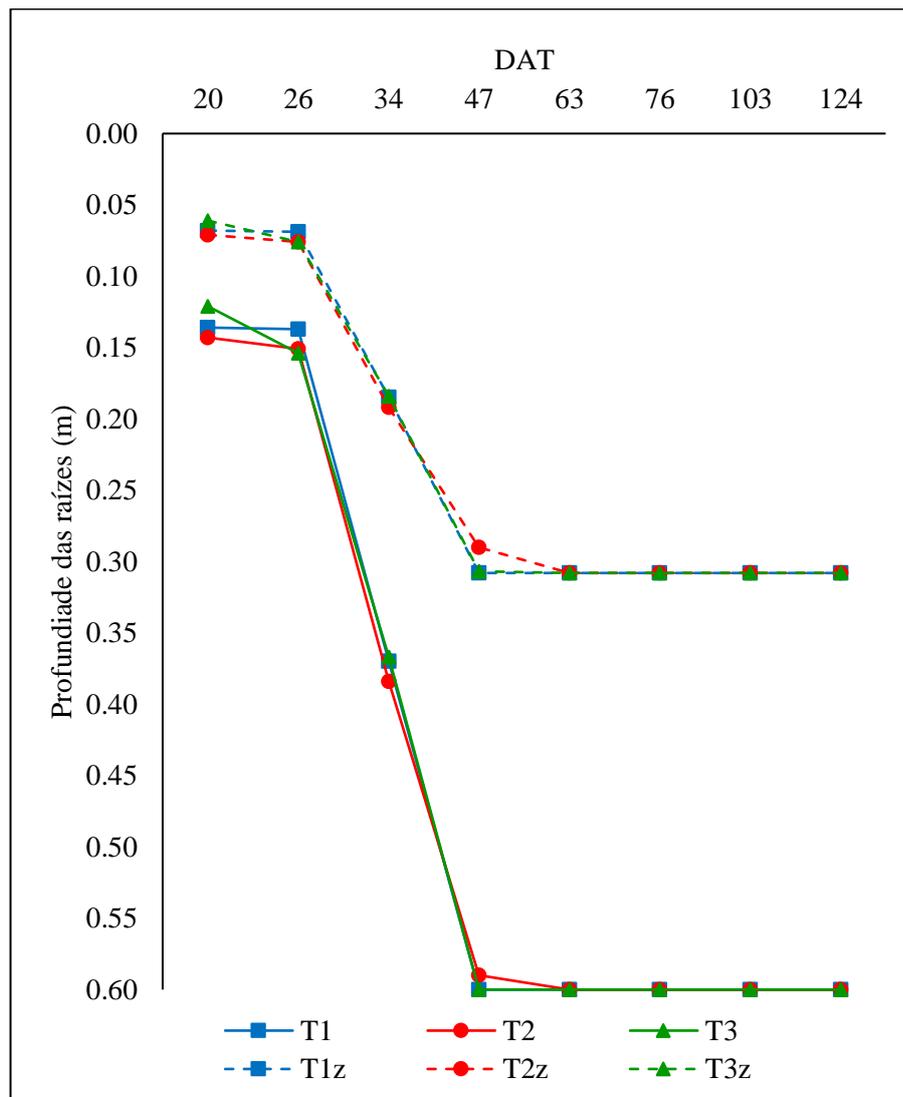
T1: Tratamento com 100 % da CAD; T2: 75 % da CAD; T3: 50 % da CAD.

Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 12 mostra a profundidade das raízes observada ao longo do experimento e, conseqüentemente, a profundidade efetiva das raízes considerada no manejo da irrigação. A profundidade de instalação dos tubos de acrílico para acesso do scanner de raízes a 0,60 m foi um fator limitante para a observação de camadas mais profundas. Desta forma, a

partir do 63 DAT padronizou-se a profundidade efetiva do sistema radicular em 0,30 m (50 % da profundidade total observada), pois a raiz de todos os tratamentos havia atingido a profundidade de 0,60 m. A profundidade adotada corrobora com o valor encontrado em outros trabalhos, entre 0,10 e 0,40 m, onde havia a concentração de 80 a 85 % das raízes acumuladas ao longo do perfil do solo (MAROUELLI; SILVA, 2002; SILVA et al., 2003).

Figura 12 – Profundidade máxima das raízes observada através de imagens do sistema radicular das plantas na casa de vegetação e profundidade efetiva das raízes em relação aos dias após o transplante (DAT).



T1: Tratamento com 100 % da CAD; T2: 75 % da CAD; T3: 50 % da CAD; z: profundidade efetiva das raízes.
Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 12 também é possível observar que entre 26 e 47 DAT houve rápido crescimento das raízes dos tomateiros. Este crescimento acompanhou o desenvolvimento da parte aérea das plantas, como demonstrado na Figura 13. Este período coincidiu com as duas

primeiras fertirrigações do experimento realizadas aos 21 e 40 DAT, com a aplicação de nitrato de cálcio e nitrato de potássio diretamente na zona radicular das plantas.

Figura 13 – Imagens do experimento aos 24, 31 e 44 DAT para comparação do rápido crescimento da cultura neste período.



Fonte: Arquivo pessoal.

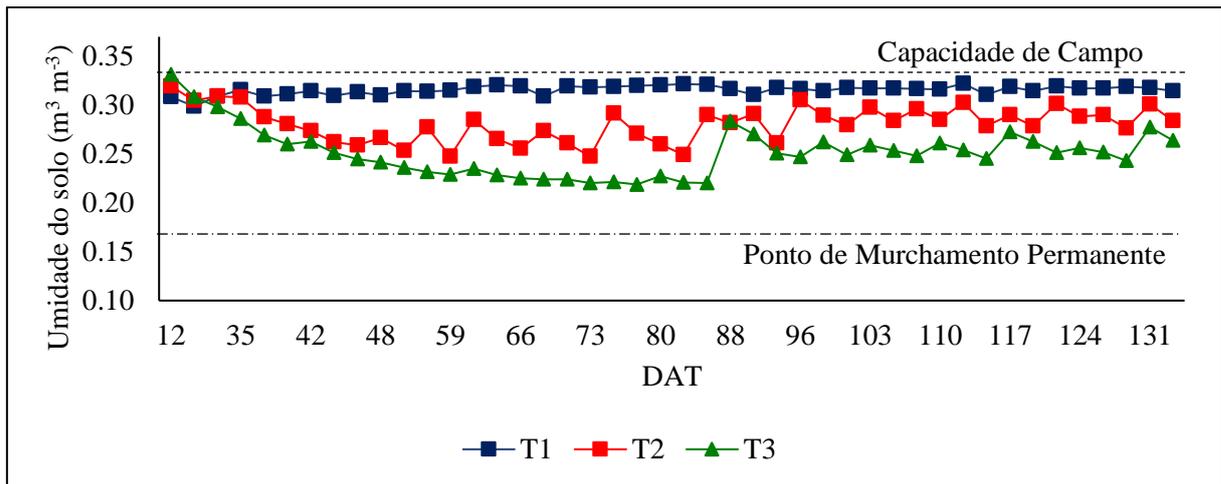
5.3 Manutenção da umidade do solo e condutividade elétrica

A Figura 14 mostra que a umidade do solo foi mantida entre o ponto de murchamento permanente e a capacidade de campo na camada entre 0,20 e 0,40 m. Observa-se em T2 e T3 valores de umidade acima de suas umidades de referência. A aplicação de lâminas de água era baseada em leituras da umidade do solo realizadas a cada dois dias com o TDR, ou seja, a lâmina era re aplicada no dia seguinte à leitura e, conseqüentemente, a variação de

umidade no solo se mantinha temporariamente acima da referência, sendo reajustada a partir dos dados da leitura seguinte.

A lâmina total de água aplicada foi 1297 mm em T1, 471 mm em T2 e 234 mm em T3. Comparando as lâminas da irrigação deficitária com a lâmina da irrigação plena em T1, tem-se que em T2 a lâmina total de água foi referente a 36 % da aplicada em T1 e que em T3 foi 18 % de T1.

Figura 14 – Umidade volumétrica do solo na camada de 0,20 m a 0,40 m, obtida através das sondas TDR ao longo do ciclo do tomateiro.

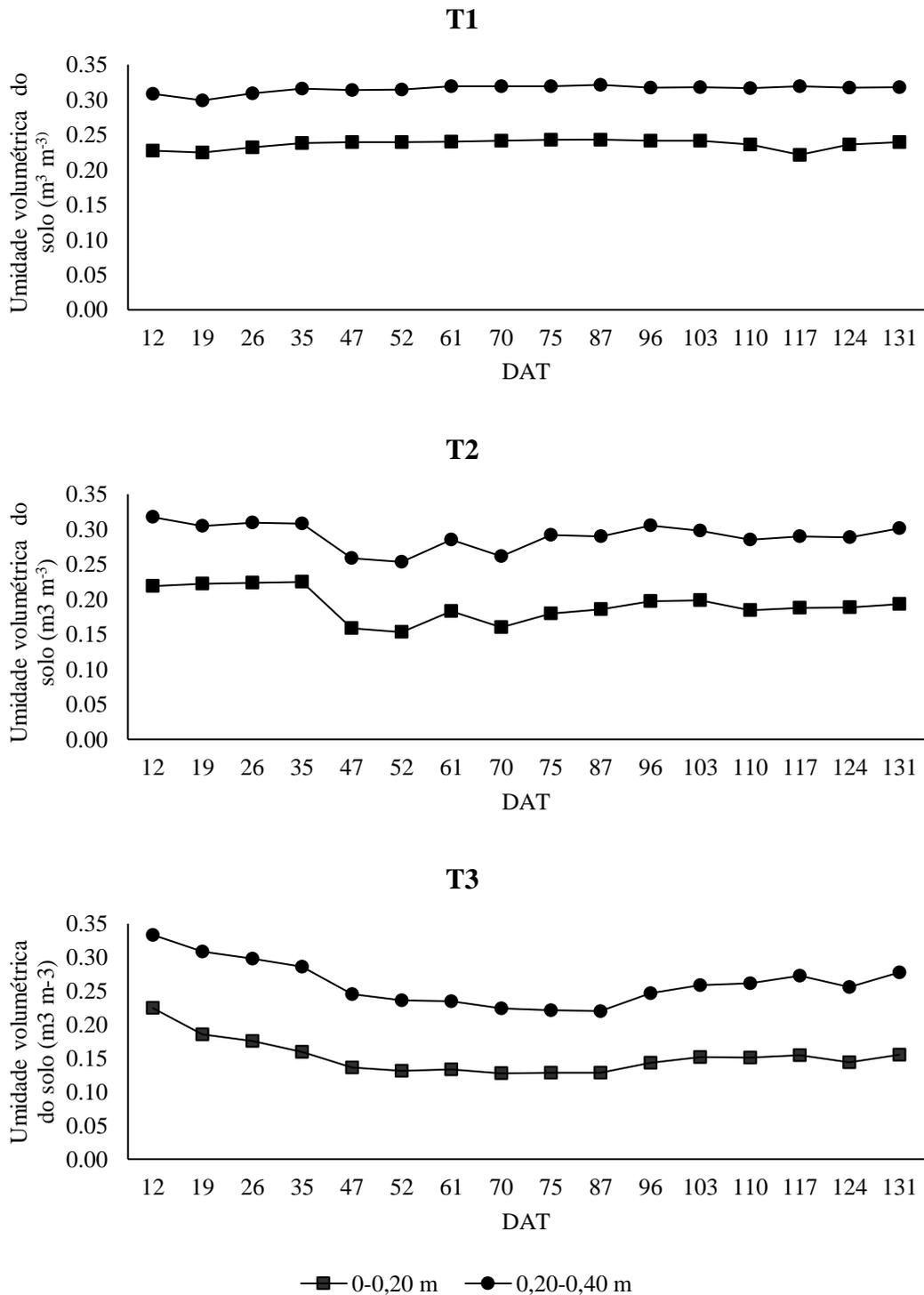


T1: Tratamento com 100 % da CAD; T2: 75 % da CAD; T3: 50 % da CAD.

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 15 apresenta o perfil de umidade do solo entre as camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m. Estes resultados mostram que na camada de 0-0,20 m a umidade foi menor em relação à camada 0,20-0,40 m em todos os tratamentos. A irrigação por gotejamento subsuperficial possibilita a formação do bulbo molhado próximo ao emissor enterrado e, conseqüentemente, dificulta as perdas por evaporação pela superfície do solo. Em experimento realizado por Martínez e Reca (2014) com oliveiras, o gotejamento subsuperficial resultou em menores perdas por evaporação quando comparado ao gotejamento superficial devido ao efeito da gravidade, que fez com que a água fosse em direção à superfície mais lentamente, favorecendo também melhor redistribuição da água próximo ao sistema radicular.

Figura 15 – Umidade volumétrica do solo considerando os diferentes tratamentos (T1, T2 e T3) e as camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m de profundidade.



T1: Tratamento com 100 % da CAD; T2: 75 % da CAD; T3: 50 % da CAD.

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores de condutividade elétrica aparente do solo no experimento foram apresentados na Tabela 3. Nota-se que a condutividade elétrica média e os valores máximos observados em todos os tratamentos ficaram abaixo dos valores indicados por Keller e Bliesner

(1990), de 2,5 e 12,5 dS m⁻¹ de condutividade elétrica no solo para o cultivo de tomateiro, como valor que não reduz a produção e valor que atinge um nível teórico de salinidade do solo que reduz a produção a zero, respectivamente.

Tabela 3 – Valores mínimo, máximo e médio de condutividade elétrica do solo (dS m⁻¹) no ciclo da cultura.

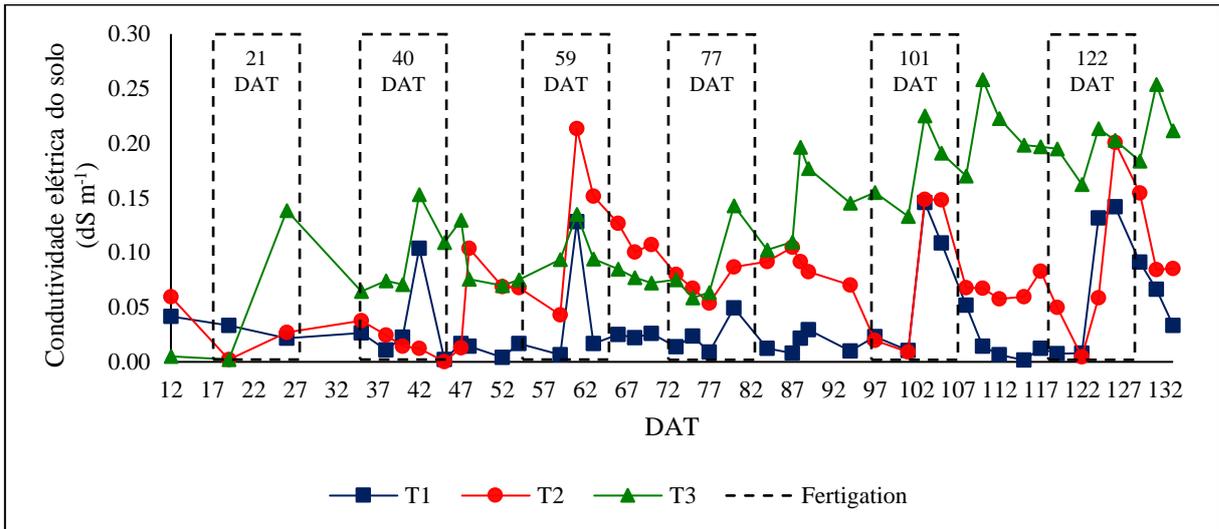
	T1	T2	T3
Mínimo	0,002	0,002	0,002
Máximo	0,146	0,213	0,258
Médio	0,036	0,076	0,134

Fonte: Dados da pesquisa.

Segundo Medeiros et al. (2012), o tomateiro é uma cultura sensível à salinidade do solo causada por sais fertilizantes. Ao trabalharem com seis níveis de salinidade em solo franco-argiloso (1, 2, 3, 4, 5 e 6 dS m⁻¹) observaram tendência de maior produtividade em solos com níveis mais baixos e obtiveram uma salinidade máxima aceitável de 1,3 dS m⁻¹. Considerando os resultados de Medeiros et al. (2012), os valores apresentados na Tabela 3 estiveram abaixo da salinidade máxima aceitável em todos os tratamentos.

A Figura 16 mostra os valores de condutividade elétrica do solo na camada de 0,20-0,40 m e é possível observar que T1 apresentou condutividade elétrica menor em relação aos outros tratamentos. Isso ocorreu devido à maior lâmina de água aplicada neste tratamento em relação aos demais tratamentos, os quais não apresentaram redução na concentração devido à diluição de sais.

Figura 16 – Condutividade elétrica do solo na camada de 0,20 m a 0,40 m ao longo do ciclo e períodos em que foi realizada a fertirrigação.



T1: Tratamento com 100 % da CAD; T2: 75 % da CAD; T3: 50 % da CAD.

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 16 também apresenta em destaque os seis dias em que os tomateiros foram fertirrigados. Observa-se em todos os tratamentos a ocorrência de picos na condutividade elétrica no solo logo após as fertirrigações e em T3 a tendência em aumentar com o tempo a condutividade elétrica no solo, sendo verificada de forma mais pronunciada que os demais tratamentos. A menor lâmina de irrigação aplicada explica a existência de picos mais acentuados e o aumento da condutividade elétrica no solo para T3, pois os sais aplicados tiveram uma maior interação com o solo e menor interação com a solução do solo devido à existência de menos água livre ($0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

5.4 Análise quantitativa

A análise quantitativa dos tomateiros mostrou que a irrigação deficitária de 50 % da CAD resultou em redução no número de frutos por planta e, conseqüentemente, na produtividade. Na Tabela 4 são apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) e comparação das médias.

Tabela 4 – Análise de variância do número médio de frutos por planta, massa média dos frutos e produtividade e comparação das médias através do Teste Tukey a 5 % de significância.

Análises	T1	T2	T3	p
Frutos por planta	94,06 ab	107,40 a	74,94 b	0,0055
Massa média dos frutos (g)	9,04a	7,49b	6,22c	1,72e ⁻¹²
Produtividade (kg ha⁻¹)	25,04 a	19,37 ab	12,98 b	0,0282

T1: Tratamento com 100 % da CAD; T2: 75 % da CAD; T3: 50 % da CAD. Médias seguidas de mesma letra (na horizontal) não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5 % de significância.

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota-se na Tabela 4 que T2 e T3 foram estatisticamente diferentes quanto ao número médio de frutos por planta e T2 apresentou maior média entre os tratamentos com irrigação deficitária.

Todos os tratamentos diferiram estatisticamente quanto à massa média dos frutos, sendo que T1 apresentou a maior média e T3 a menor, mostrando que a irrigação deficitária resultou em frutos com menor massa.

O tratamento T2 não interferiu na produtividade dos tomateiros e foi estatisticamente igual a T1 e T3. Entretanto, a produtividade média com o T1 foi maior do que em T3, ou seja, a irrigação deficitária de 50 % da CAD reduziu a produtividade de tomateiro Grape em 48 %.

Ismail e Almarshadi (2013) trabalharam com irrigação deficitária no cultivo de alfafa através de gotejamento subsuperficial, utilizando sensores Watermark, e obtiveram economia no uso da água correspondente, respectivamente, a 13 e 27 % para tratamentos de 80 e 75 % da umidade na capacidade de campo capacidade de campo, entretanto houve redução da produtividade nos dois tratamentos. Neste trabalho, a irrigação deficitária resultou em menores lâminas de água no cultivo de tomateiro, porém apenas em T2 não houve redução da produtividade quando comparado a T1.

5.5 Análise qualitativa

A análise qualitativa dos tomateiros mostrou que T3 diferiu estatisticamente de T1, com exceção dos sólidos solúveis, e que T2 foi semelhante a T1 na maioria dos parâmetros avaliados. Na Tabela 5 foram apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) e comparação das médias das análises quantitativas.

Tabela 5 – Análise de variância do diâmetro e comprimento dos frutos, sólidos solúveis, pH e massa seca de folhas e caule, e comparação das médias através do Teste Tukey a 5 % de significância.

Análises	T1	T2	T3	p
Diâmetro do fruto (m)	2,12 a	1,95 b	1,87 b	2,88e ⁻¹²
Comprimento do fruto (m)	3,34 a	3,16 a	2,89 b	1,43e ⁻¹⁰
pH	4,14 a	4,10 b	4,12 b	0,000325
Sólidos solúveis (%)	6,93 a	7,11 a	7,19 a	0,1372
Massa seca das folhas (kg)	0,073 a	0,066 a	0,043 b	2,03e ⁻⁵
Massa seca do caule (kg)	0,062 a	0,062 a	0,046 b	0,00581

T1: Tratamento com 100 % da CAD; T2: 75 % da CAD; T3: 50 % da CAD. Médias seguidas de mesma letra (na horizontal) não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5 % de significância.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quanto a análise referente ao tamanho dos frutos, T2 diferiu estatisticamente de T1 no diâmetro do fruto e de T1 e T3 no comprimento do fruto, mostrando que a irrigação deficitária de 50 % da CAD resultou em fruto de tamanho menor.

Houve diferença de pH entre os tratamentos, havendo maior média em T1, porém em nenhum dos tratamentos houve valor fora da faixa recomendada para o tomate. Segundo Azeredo (2012), o pH é um fator intrínseco do alimento capaz de afetar a capacidade de sobrevivência ou crescimento de microrganismos. Para que não haja interferência por bactérias e toxinas no fruto durante a estocagem, o valor de pH deve estar entre 4,0 e 4,5, estando os dados obtidos dentro do intervalo recomendado pelo autor.

Não houve diferença entre os tratamentos quanto à porcentagem de sólidos solúveis. Os valores obtidos foram próximos ao teor de sólidos solúveis de 7,63 % em mini tomates do tipo Sweet Grape utilizados em experimento sobre estocagem de tomates de Sandri et al. (2015).

O tomate do grupo Grape é conhecido por maior valor de sólidos solúveis em relação a outros tipos de tomate, como salada e italiano, com aproximadamente 4 % de sólidos solúveis (GUIMARÃES et al., 2008; MONTEIRO et al., 2008). De acordo com Guimarães et al. (2008), no que diz respeito ao sabor, o teor de sólidos solúveis está entre as características mais importantes do tomate, pois nesta fração estão presentes os açúcares e ácidos.

A irrigação deficitária do tratamento T3 afetou a massa seca das folhas e do caule, e resultou em tamanho de frutos menores, o que demonstra que irrigações deficitárias usando 50 % da CAD afetam o desenvolvimento da planta e dos frutos.

5.6 Eficiência no uso da água (EUA)

A EUA para T1, T2 e T3 foi, respectivamente, de 1,19 kg m⁻³, 2,74 kg m⁻³ e 3,70 kg m⁻³. Estes resultados mostram que a irrigação deficitária aumentou a EUA, porém não proporcionalmente ao aumento da produtividade, pois T3 apresentou maior EUA e menor produtividade (Tabela 4), enquanto T2 teve a segunda maior EUA e produtividade semelhante a T1. Ismail e Almarshadi (2013), ao trabalharem com irrigação deficitária em alfafa concluíram que houve redução na produtividade de plantas irrigadas com 70 e 85 % da umidade na capacidade de campo, porém a redução no fornecimento de água aumentou a EUA e a economia de água. Segundo os autores, isso indicou que as plantas usaram a água de forma eficiente.

Segundo Al-Jamal, Ball e Sammis (2001), a EUA pode ser afetada pela água de irrigação perdida através da drenagem, interceptação do dossel, tipo de solo, práticas culturais e escolha da variedade, entretanto também pode aumentar quando se trabalha com irrigação deficitária. Este aumento pode ser observado nos resultados de T2 e T3 nos quais se trabalhou com irrigação deficitária, havendo aumento da EUA conforme foi aplicado menor lâmina de água na irrigação. Possivelmente a irrigação subsuperficial também contribuiu com a EUA dos tratamentos, pois impediu a perda de água por evaporação e, conseqüentemente, uso de menor lâmina de água no ciclo da cultura.

A EUA não é o suficiente para a recomendação do uso de irrigação deficitária no cultivo de tomateiro Grape, sendo necessário considerar outros fatores que foram avaliados neste trabalho, como o método de irrigação utilizado, a produtividade, atributos qualitativos e quantitativos da cultura e do fruto, e redução da água lâmina de água. Pensando nestes fatores, a EUA é mais interessante para justificar a recomendação no T2, tratamento capaz de contribuir com a redução no uso da água no cultivo de tomateiro e contribuir com a produção de tomateiro Grape.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, sugere-se o uso da irrigação deficitária de 75 % da CAD no cultivo de tomateiro Grape irrigado por gotejamento subsuperficial. Este tratamento se mostrou interessante devido à produtividade, número de frutos, comprimento do fruto, sólidos solúveis e massa seca da parte aérea serem similares aos resultados do tratamento com 100 % da CAD, além de resultar na aplicação de 36 % de sua lâmina de água. A irrigação deficitária no cultivo de tomateiro Grape não é recomendada quando trabalhada com 50 % da CAD, pois, apesar da lâmina aplicada ser 18 % da lâmina aplicada em 100 % da CAD, os resultados mostram que este tratamento foi prejudicial aos atributos quantitativos e qualitativos da cultura. A irrigação deficitária proporcionou redução no uso da água no ciclo da cultura e aumento na EUA, porém estes resultados juntamente com os aspectos positivos que o tratamento de 75 % da CAD apresentou, comprovam sua viabilidade no cultivo de tomateiro Grape, contribuindo também com a redução do uso da água na agricultura.

7 CONCLUSÃO

A irrigação subsuperficial deficitária teve produtividade e qualidade de frutos de tomateiro Grape semelhante à irrigação plena quando utilizado 75 % da CAD, aumentou a eficiência no uso da água e contribuiu com redução no uso da água no ciclo da cultura.

8 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília: ANA, 2013. 432p.
- AL-JAMAL, M.S.; BALL, S.; SAMMIS, T.W. Comparison of sprinkler, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v.46, p.253-266, 2001.
- ALMEIDA, D.L.; BENASSI, R.F. Crise hídrica e de energia elétrica entre 2014-2015 na região Sudeste. **Revista Hipótese**, Itapetininga, v.1, n.2, p.65-76, 2015.
- ALVARENGA, M.A.R. Sistemas de produção em campo aberto e em ambiente protegido. In.: ALVARENGA, M.A.R. (Ed.) **Tomate, produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. 1 ed. Lavras: Editora UFLA. 2004. p.161-190.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; DUARTE, J.A.L.; BRAGA, D.L.; NOLETO, D.H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p.76-84, jan. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS (ABIMAQ). **Atualização da área irrigada no Brasil**. Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação, 2017.
- AYARS, J.E.; PHENE, C.J.; HUTMACHER, R.B.; DAVIS, K.R.; SCHONEMAN, R.A.; VAIL, S.S.; MEAD, R.M. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v.42, p.1-27, 1999.
- AZEREDO, H.M.C.; PINTO, G.A.; BRITO, E.S.; AZEREDO, R.M.C. Alterações microbiológicas em alimentos durante a estocagem. In.: AZEREDO, H.M.C. (Ed.) **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 2.ed. Brasília: Embrapa. 2012. p.15-38.
- BACALHAU, F.B.; PAVÃO, G.C.; SOUZA, C.F. Determinação da umidade em Latossolo Vermelho distrófico por sondas de TDR. In: XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2012, 41, Londrina. **Anais...** . Londrina: SBEA, 2012. p.1-6.
- BACALHAU, F.B.; BERTOLETTE, H.P.; PAVAO, G.C.; SOUZA, C.F. Calibração da técnica de TDR para a estimativa da condutividade elétrica em Latossolo Vermelho distrófico. In: XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2013, Fortaleza. **Anais...** . Fortaleza: SBEA, 2013.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2009. 625p.
- BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; CHAMLET, J.; MESQUITA, M.; SALVADOR, C.A. Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n. 3, p.172-183, 2010.

BOGALE, A.; NAGLE, M.; LATIF, S.; AGUILA, M.; MÜLLER, J. Regulated deficit irrigation and partial root-zone drying irrigation impact bioactive compounds and antioxidant activity in two select tomato cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v.213, p.115-124, 2016.

CAMP, C.R. Subsurface drip irrigation: a review. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.41, n.5, p.1353-1376, 1998.

CARMO, R.L.; DAGNINO, R.S.; JOHANSEN, I.C. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, v.31, n.1, p.169-190, jan./jun. 2014.

CARVALHO, D.F.; OLIVEIRA, L.F.C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. 22.ed., p.34. Viçosa: UFV, 2012. 239 p.

COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.C.; OLIVEIRA, S.L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, Salvador, v.7, n.1, set. 2005.

CUNHA, F.N.; SILVA, N.F.; TEIXEIRA, M.B.; CARVALHO, J.J.; MOURA, L.M.F.; SANTOS, C.C. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.8, n.6, p.444-454, 2014a.

CUNHA, F.N.; SILVA, N.F.; TEIXEIRA, M.B.; CARVALHO, J.J.; MOURA, L.M.F.; SANTOS, C.C. Intrusão radicular em irrigação localizada subsuperficial na cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.8, n. 6, p.455-465, 2014b.

CUNHA, F.N.; SILVA, N.F.; TEIXEIRA, M.B.; MOURA, L.M.F.; CABRAL FILHO, R.F.; GOMES, F.H.F. Grau de entupimento de um sistema de gotejamento subsuperficial na cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.10, n.3, p.695-704, 2016.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L.; FARIA, R.T.; AZZONETTO, F.M; CORBANI, R.Z. Uso da trifluralina no controle de intrusão radicular em gotejadores enterrados sob a cultura da cana- de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.20, n.1, p.82-91, jan./mar, 2015.

DALTON, F.N.; VAN GENUCHTEN, M. Th. The time-domain reflectometry method for measuring soil water content and salinity. **Geoderma**, Amsterdã, n. 38, p.237-250, 1986.

DIAS, M.A.F.S.; DIAS, J.; CARVALHO, L.M.V.; FREITAS, E.D.; DIAS, P.L.S. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, Nova Iorque, n.116, p.705-722, 2013.

DORAIS, M.; PAPADOPOULOS, A.P.; GOSSELIN, A. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. **Agronomie**, Avignon, v.21, n.4, p.367-383, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **A cultura do tomateiro (para mesa)**. Brasília: EMBRAPA-SPI, Coleção Plantar, v.5, 1993. 92p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011. 230 p.

ENCISO, J.; JIFON, J.; ANCISO, J.; RIBERA, L. Productivity of onions using subsurface drip irrigation versus furrow irrigation systems with an internet based irrigation scheduling program. **International Journal of Agronomy**, Nova Jersey, 2015. 8p.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C.A.S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.2, n.1, jan./abr. 2009.

FERERES, E.; SORIANO, A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.58, p.147-159, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO). **FAOSTAT: Statistics Division**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 revision**. 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/esag/docs/AT2050_revision_summary.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2016.

FORSLUND, A.; ENSINK, J.H.J.; MARKUSSEN, B.; BATTILANI, A.; PSARRAS, G.; GOLA, S.; SANDEI, L.; FLETCHER, T.; DALSGAARD, A. *Escherichia coli* contamination and health aspects of soil and tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) subsurface drip irrigated with on-site treated domestic wastewater. **Water Research**, Londres, v.46, p.5917-5934, 2012.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v.96, p.1275-1284, 2009.

GEISENHOFF1, L.O., OLIVEIRA, F.C.; BISCARO, G.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SCHWERZ, F. Produtividade do brócolis-de-cabeça sob diferentes sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.5, p.863-874, set./out. 2015.

GUIMARÃES, M.A.; SILVA, D.J.H.; FONTES, P.C.R.; CALIMAN, F.R.B.; LOOS, R.A.; STRINGHETA, P.C. Produção e sabor dos frutos de tomateiro submetidos a poda apical e de cachos florais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, p.265-269, 2007.

GUIMARÃES, M.A.; SILVA, D.J.H.; FONTES, P.C.R.; MATTEDI, A.P. Produtividade e sabor dos frutos de tomate do grupo salada em função de podas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.1, p.32-38, jan./mar. 2008.

HERNANDEZ, F.B.T.; ALVES JÚNIOR, J.; LOPES, A.S. **Irrigação na cultura da pupunha**. In: CURSO SOBRE CULTIVO PROCESSAMENTO E COMERCIALIZAÇÃO DE PALMITO PUPUNHA, 2001. Londrina: IAPAR, p.107-126, 2001.

HO, L.C.; GRANGE, R.I.; PICKEN, A.J. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. **Plant, Cell and Environment**, Nova Jersey, v.10, p.157-162, 1987.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. cap.4, p.104-105.

ISMAIL, S.M.; ALMARSHADI, M.H. Maximizing productivity and water use efficiency of alfalfa under precise subsurface drip irrigation in arid regions. **Irrigation and Drainage**, Nova Jersey, v.62, p.57–66, 2013.

KELLER, J; BLIESNER, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. Nova Iorque: AVI, 1990. p. 652.

KRUMBEIN, A.; SCHWARZ, D.; KLÄRING, H. Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill.) grown in a greenhouse. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Quedlinburgo, v.80, p.160-164, 2006.

LAHOZ, I.; PÉREZ-DE-CASTRO, A.; VALCÁRCEL, M.; MACUA, J.I.; BELTRÁN, J.; ROSELLÓ, S.; CEBOLLA-CORNEJO, J. Effect of water deficit on the agronomical performance and quality of processing tomato. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v.200, p.55-65, 2016.

LAMM, F.R.; CAMP, C.R. Subsurface drip irrigation. In: LAMM, F.R.; AYARS, J.E.; NAKAYAMA, F.S. **Microirrigation for crop production design, operation, and management**. Elsevier B. V., v.13, 2007. cap.13, p.473-549. (Developments in Agricultural Engineering).

LEOPOLDO, G.; ANDREAU, R.; ETCHEVERS, P.; ZABALA, S.M.; CHALE, W.; ETCHEVERRY, M.; ROMAY, C.; SALGADO, H. Respuesta productiva del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo cubierta a la distribución de la humedad generada por riego por goteo subterráneo y superficial. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v.112, n.1, p.18-26, 2013.

LIMA, P.L.T.; COLOMBO, A.; LIMA, L.A.; THEBALDI, M.S.; COLARES, M.F.B.; GATTO, R.F. Doses e frequência de trifluralina como inibidor de intrusão radicular no gotejamento enterrado em lavoura cafeeira. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.1, p.25-34, jan./mar. 2014.

LUENGO, R.F.A.; PAMAGNANI, R.M.; PARENTE, M.R.; LIMA, M.F.B.F. **Tabela de composição nutricional das hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011.

MAKISHIMA, N.; CARRIJO, O.A. **Cultivo protegido do tomateiro**. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças 13, Brasília, 1998.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Profundidade de instalação da linha de gotejadores em tomateiro para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.206-210, jun. 2002.

MAROUELLI, W.A.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, R.B.; SILVA, W.L.C. Irrigação e fertirrigação na cultura do tomate. In: SOUZA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. cap.26, p.740-769.

MARTÍNEZ, J.; RECA, J. Water use efficiency of surface drip Irrigation versus na alternative subsurface drip irrigation method. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.140, n.10, 2014. 9p.

MEDEIROS, P.R.F.; DUARTE, S.N.; UYEDA, C.A.; SILVA, E.F.F.; MEDEIROS, J.F. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1, p.51–55, 2012.

MONTEIRO, C.S.; BALBI, M.E.; MIGUEL, O.G.; PENTEADO, P.T.P.S.; HARACEMIV, S.M.C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.1, p.25-31, jan./mar. 2008.

NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdã, n. 31, p.213-237, 2001.

NOGUEIRA, C.C.P.; COELHO, E.F.; LEÃO, M.C.S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.315-320, 2000.

OLIVEIRA, F.C.; GEISENHOF, L.O.; ALMEIDA, A.C.S.; LIMA JUNIOR, J.; LAVANHOLI, R. Economic feasibility of irrigation systems in broccoli crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.3, p.460-468, maio/jun. 2016.

PADRÓN, R.A.R.; RAMÍREZ, L.R.; SWAROWSKY, A.; DABOÍN, J.R. Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. **Interciencia**, Caracas, v.39, n.8, p.591-596, ago. 2014.

PATANÈ, C.; TRINGALI, S.; SORTINO, O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v.129, p.590-596, 2011.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PEET, M.M. Fruit Cracking in Tomato. **HortTechnology**, Virgínia, v.2, n.2, p.216-223, abr./jun. 1992.

PEET, M.M. Physiological Disorders in Tomato Fruit Development. **Acta Horticulturae**, Lovaina, v.821, p.151-160, 2009.

PEET, M.M.; WILLITS, D.H. Role of Excess Water in Tomato Fruit Cracking. **HortScience**, Virgínia, v.30, n.1, p.65-68, 1995.

PRECZENHAK, A.P.; RESENDE, J.T.V.; CHAGAS, R.R.; SILVA, P.R.; SCHWARZ, K.; MORALES, R.G.F. Caracterização agrônômica de genótipos de minitomate. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.32, p.348-356, 2014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Viena, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 28 jun. 2015.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas/Fundação IAC, 1997. 285p. Boletim Técnico 100.

RIPOLL, J.; URBAN, L.; BRUNEL, B.; BERTIN, N. Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdã, v.190, p. 26–35, 2016.

SANDRI, D.; RINALDI, M.M.; ISHIZAWA, T.A.; CUNHA, A.H.N.; PACCO, H.C.; FERREIRA, R.B. 'Sweet Grape' tomato post harvest packaging. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.6, p.1093-1104, nov./dez. 2015.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SABIO, R.P.; VENTURA, M.B.; CAMPOLI, S.S. Mini e "baby" frutas e hortaliças. **Hortifruti Brasil**, Piracicaba, p.8-20, jan./fev. 2013.

SELBORNE, L. **A Ética do Uso da Água Doce: um levantamento**. Brasília: UNESCO, v.3, 2001. 80p. (Série Meio Ambiente).

SHARMA, S.P.; LESKOVAR, D.I.; CROSBY, K.M.; VOLDER, A.; IBRAHIM, A.M.H. Root growth, yield, and fruit quality responses of *reticulatus* and *inodorus melons* (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v.136, p.75-85, 2014.

SCHERER, T.T.; FRANZEN, D.; CIHACEK, L. **Soil, water and plant characteristics important to irrigation**. North Dakota State University, Fargo, 2013. 16p.

SILVA, J.B.C.; GIORDANO, L.B.; FURUMOTO, O.; BOITEUX, L.S.; FRANÇA, F.H.; BÔAS, G.L.V.; BRANCO, M.C.; MEDEIROS, M.A.; MAROUELLI, W.; SILVA, W.L.C.; LOPES, C.A.; ÁVILA, A.C.; NASCIMENTO, W.M.; PEREIRAI, W. Cultivo de tomate para industrialização. **Embrapa Hortaliças**, 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/irrigacao.htm>>. Acesso em: 6 mar. 2017.

SOUZA, C.F.; PIRES, R.C.M.; MIRANDA, D.B.; VARALLO, A.C.T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, Botucatu, v.18, n.4, p.597-606, out./dez., 2013.

SOUZA, E.A.; COELHO, E.F.; PAZ, V.P.S. Distribuição da umidade num perfil de solo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1161-1166, jul./ago. 2007.

THEBALDI, M.S.; ROCHA, M.S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A.B. Características produtivas do tomate irrigado por diferentes sistemas de irrigação e qualidades de água. **Irriga**, Botucatu, v.18, n.1, p.43-58, jan./mar. 2013.

THOMPSON, T.L.; HUAN-CHENG, P.; YU-YI, L. The potential contribution of subsurface drip irrigation to water-saving agriculture in the Western USA. **Agricultural Sciences in China**, Amsterdã, v.8, n.7, p.850-854, jul. 2009.

THOMSEN, A.; HANSEN, B.; SCHELDE, K. Application of TDR to water level measurement. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v.236, p.252-258, 2000.

TRIPATHI, V.K.; RAJPUT, T.B.S.; PATEL, N.; KUMAR, P. Effects on growth and yield of eggplant (*Solanum melongema* L.) under placement of drip laterals and using municipal wastewater. **Irrigation and Drainage**, Nova Jersey, v.65, p.480-490, 2016.

URBANO, V.R.; MENDONÇA, T.G; BASTOS, R.G.; SOUZA, C.F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v.181, p.108-115, 2017.

VAN DER PLOEG, A.; HEUVELINK, E. Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Oxford, v.80, n.6, p.652–659, 2005.

ZWIRTES, A.L.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; KUNZ, J.; REIMANN, G.K. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.676-688, jul./ago. 2015.