



ANITA CRISTINA COSTA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA USO EFICIENTE DA
ÁGUA EM TOMATEIRO IRRIGADO EM LAVOURA
COMERCIAL**

LAVRAS-MG

2017

ANITA CRISTINA COSTA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA USO EFICIENTE DA ÁGUA EM
TOMATEIRO IRRIGADO EM LAVOURA COMERCIAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo da Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Luiz Antonio Lima
Orientador

LAVRAS-MG
2017

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Anita Cristina Costa da.

Avaliação de tecnologias para uso eficiente da água em
tomateiro irrigado em lavoura comercial / Anita Cristina Costa da
Silva. - 2017.

93 p.

Orientador: Luiz Antonio Lima.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Tomateiro irrigado. 2. Gotejamento por pulsos. 3. Mulching.

I. Lima, Luiz Antonio. II. Título.

ANITA CRISTINA COSTA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA USO EFICIENTE DA ÁGUA EM
TOMATEIRO IRRIGADO EM LAVOURA COMERCIAL**

***EVALUATION OF TECHNOLOGIES FOR EFFICIENT USE OF WATER IN
IRRIGATED TOMATO CROP***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 4 de agosto de 2017.

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto	UFLA
Prof. Dr. Antonio Marciano da Silva	UNIFAL
Prof. Dr. Geraldo Magela Pereira	UFLA
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi	UNIFOR

Prof. Dr. Luiz Antonio Lima
Orientador

LAVRAS-MG
2017

À minha mãe Lázara

Ao meu pai João

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela benção e sucesso da conclusão de mais uma etapa.

Aos meus pais, João e Lázara, pelo incentivo, carinho e confiança.

Aos meus irmãos, Fabrícia, Fernanda, João Carlos e Luciana e à minha tia Maria por todo incentivo, apoio e força.

Ao meu namorado Thiago pelo carinho, força e paciência.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do Doutorado.

À FAPEMIG pelo auxílio financeiro e concessão de bolsa.

Ao meu orientador Prof. Luiz Antonio Lima pelo apoio, compreensão, ensinamentos e exemplo.

Aos professores, funcionários e técnicos do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas.

À empresa Zé Amparo Zil Comércio de Tomate pela infraestrutura e todos os seus funcionários.

Ao Prof. Marco Antônio Rezende Alvarenga pela contribuição e ensinamentos.

Aos membros da banca, Professor Antônio Marciano da Silva, Professor Adriano Valentim Diotto, Professor Geraldo Magela Pereira e Professor Michael Silveira Thebaldi pelas suas contribuições.

Ao João Marcelo pela contribuição na montagem e condução dos experimentos.

Aos amigos Mayra e Flávio que contribuíram para a realização dos experimentos.

A todos que cooperaram com essa realização profissional.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

A presente pesquisa foi realizada com o objetivo de verificar as características produtivas e a eficiência econômica e de uso de água no cultivo comercial de tomateiro com cobertura plástica do solo, diferentes frequências e lâminas de irrigação no Sul de Minas Gerais. Para isso, foram realizados três experimentos no município de Ingaí-MG e os resultados foram descritos em três artigos. No primeiro, as fontes de variação foram a cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas lâminas (164 mm e 188 mm). A altura das plantas e eficiência de uso de água não foram influenciadas pela cobertura do solo nem pela variação das lâminas. O solo com cobertura proporcionou uma menor massa média de frutos, mas com um número maior de frutos por planta o que contribuiu para uma maior produtividade comercial. Houve interação entre os fatores, para a produtividade total e a maior produtividade total foi obtida no solo com cobertura plástica sob a lâmina de 188 mm. As fontes de variação, no segundo experimento, foram a cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas frequências de irrigação (gotejamento contínuo e por pulsos). Neste último, o potencial matricial se manteve dentro dos limites recomendados pela literatura para o tomateiro. Não houve diferença significativa para a altura das plantas. O solo com cobertura proporcionou uma maior massa média de frutos e houve interação entre a cobertura do solo e a frequência de irrigação. Com irrigação contínua, os tratamentos sob cobertura plástica apresentaram maiores produtividades total e comercial, maior eficiência de uso de água, eficiência econômica e maior número de frutos por planta. No gotejamento por pulsos, o solo nu apresentou melhores resultados, para as produtividades total e comercial, número de frutos por planta, eficiência de uso da água e eficiência econômica da água. No último artigo, as fontes de variação foram também a cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas lâminas de irrigação (167 mm e 206 mm). Os valores do potencial osmótico, nos tratamentos com cobertura, mantiveram-se maiores nos tratamentos sem cobertura plástica. As fontes de variação não interferiram na massa média de fruto. Houve interação entre a lâmina e a cobertura do solo para as variáveis: frutos por planta, produtividades total e comercial e eficiência de uso de água. A maior lâmina aplicada ocasionou a maior produtividade comercial do tomateiro. O uso de cobertura plástica do solo pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência de uso de água e a produção do tomateiro irrigado por gotejamento.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L. Horticultura irrigada. Manejo de irrigação. Cobertura plástica. Eficiência econômica.

ABSTRACT

The present research was carried out to verify the productive characteristics and the economic efficiency of water use in an irrigated tomato crop with plastic mulch, different frequencies and water depths in the South of Minas Gerais region. Three experiments were carried at city of Ingaí-MG and the results were described in three articles. In the first, the sources of variation were soil mulch (without and with plastic mulch) and two water depths for the whole cycle (164 mm and 188 mm). The plant height and water use efficiency were not influenced by use of mulching nor the water depths. Plastic mulch provided lower average fruit mass, but with higher number of fruits per plant, which contributed to higher commercial productivity. There was interaction between the factors for total productivity, being the greater total productivity obtained with plastic mulch associated with 188 mm of water depth. The sources of variation in the second experiment were soil mulch (without and with plastic mulch) and two irrigation frequencies (continuous and pulsed drip). In this, the matric potential remained within the limits recommended by the literature for tomato. There was no significant difference in plant height. Use of mulching provided higher average fruit mass and an interaction was observed between mulching and irrigation frequency. With continuous irrigation, the treatments under plastic mulch generated higher total and commercial productivity, higher efficiency of water use, economic efficiency and more fruits per plant. In pulse drip irrigation, without plastic mulch soil presented better results for total and commercial productivity, number of fruits per plant and efficiency of water use. In the last article, the sources of variation were also the soil mulch (without and with plastic mulch) and two irrigation depths (167 mm and 206 mm). Osmotic potential values in the treatments with plastic mulch remained more intense than at treatments without plastic mulch. There was interaction between water depths and soil mulch for variables responses: fruits per plant, total and commercial productivity and efficiency of water use. The larger water depth applied resulted in greater commercial productivity. The use of plastic mulch can be an alternative to increase the efficiency of water use and the production of tomato irrigated by drip irrigation.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L. Irrigated horticulture. Irrigation management. Plastic mulch. Economic efficiency.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	9
1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Cultura do tomateiro	10
2.2 Irrigação do tomateiro	12
2.3 Irrigação por pulsos	13
2.4 Cobertura do solo	14
2.5 Estado energético e movimento de água no solo	16
2.6 Eficiência de uso de água	19
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS	22
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	26
ARTIGO 1 - EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA EM CULTIVO COMERCIAL DE TOMATEIRO SOB DUAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E MULCHING	26
ARTIGO 2 - EFICIÊNCIA ECONÔMICA E DE USO DE ÁGUA EM LAVOURA COMERCIAL DE TOMATEIRO COM DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO E FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO	48
ARTIGO 3 - POTENCIAL OSMÓTICO E MATRICIAL DE ÁGUA NO SOLO NO TOMATEIRO COMERCIAL IRRIGADO COM MULCHING	74

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola representa um dos setores mais importantes para a economia brasileira, com grande participação na geração de renda e empregos. O tomateiro é uma hortaliça de grande importância para o país, uma vez que movimentava milhões de reais no mercado hortigranjeiro do Brasil.

O fruto é produzido, em todas as regiões do país, mas as maiores produções estão concentradas na região Sudeste, nos estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais. Em busca de diferentes condições climáticas, para aumentar o seu calendário de produção e, também, pelo fácil escoamento, para a capital paulista, a região do Sul de Minas Gerais tornou-se uma grande produtora de tomate.

O tomateiro é uma cultura exigente em água e, para se obter boas produtividades, é preciso adotar o uso da irrigação. Em virtude do interesse pelo melhor aproveitamento dos recursos hídricos, torna-se necessária a utilização de sistemas de irrigação que visem à economia de água e, ao mesmo tempo, aumento de produtividade. Neste contexto, a irrigação por gotejamento pode ser uma alternativa, uma vez que a aplicação da água é apenas na faixa de cultivo, formando uma porcentagem de área molhada que pode variar de 30% a 60%.

Outra técnica importante para o aumento da produção de alimentos é a cobertura plástica do solo conhecida como “mulching”. Seu uso proporciona maior controle das plantas invasoras, proporciona menor consumo de água de irrigação, pois o processo de evaporação é quase nulo e, também, facilita a colheita e comercialização, pois os frutos produzidos, nesse sistema de cultivo, são mais limpos e sadios.

Assegurar a produção de alimentos dentro dos limites da natureza significa utilizar os recursos de maneira eficiente e, no que diz respeito à agricultura irrigada, adotar tecnologias de irrigação com maior eficiência produtiva deve tornar-se um instrumento para a racionalização e conservação dos recursos hídricos.

Com isso, objetivou-se, com este trabalho, verificar as características produtivas e a eficiência econômica e de uso de água no cultivo comercial de tomateiro com cobertura plástica do solo, diferentes frequências e lâminas de irrigação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do tomateiro

Difícilmente haverá outra hortaliça mais cosmopolita e amplamente disseminada que o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). Em contraposição, não há, na agricultura brasileira, outra cultura de tão grande complexidade, do ponto de vista agrônomo e de tão elevado risco econômico (FILGUEIRA, 2007).

O tomate é produzido e consumido, em muitos países, ao natural ou industrializado. No Brasil, introduzido por imigrantes europeus, ao final do século XIX, tornou-se a segunda hortaliça em importância econômica, sendo cultivado na maioria dos estados. A maior parte da colheita nacional destina-se à mesa; porém a produção destinada às agroindústrias vem crescendo, especialmente na região dos cerrados (FILGUEIRA, 2007).

As cultivares de tomate, plantadas no Brasil, são divididas em cinco grupos destinados para consumo *in natura*, conforme as características do fruto e da planta. Estes grupos são conhecidos como: Santa Cruz, Caqui, Salada, Italiano e Minitomate (ALVARENGA; MELO; SHIRAHIGE, 2013).

Os frutos de tomate do grupo Santa Cruz se caracterizam por apresentarem frutos oblongos, com diâmetro transversal menor que o diâmetro longitudinal, bi ou trilobulares, resistentes ao transporte e massa média variando de 80 a 200 gramas. O hábito de crescimento das plantas é indeterminado e o porte, geralmente, é alto (ALVARENGA; MELO; SHIRAHIGE, 2013).

Os tomates do grupo Caqui se caracterizam por apresentarem frutos graúdos, pluriloculares, de cor vermelha ou rosada, massa média acima de 280 g, formato globular achatado, com diâmetro transversal maior que o diâmetro longitudinal, consistência mole, cicatriz peduncular grande e plantas de hábito de crescimento indeterminado (ALVARENGA; MELO; SHIRAHIGE, 2013). No mercado brasileiro, as cultivares do grupo Salada são confundidas com as do tradicional grupo Caqui. Neste grupo, enquadram-se os híbridos Salada longa vida, os quais podem ter plantas de hábito de crescimento indeterminado ou determinado. Os frutos são pluriloculares, formato globular achatado, sendo menores que os do grupo Caqui, com massa média entre 180 e 280 g (ALVARENGA; MELO; SHIRAHIGE, 2013).

O grupo Minitomate representa os tomates cereja, “grape”, coquetel, mini-italiano e “tomatoberry”. Em geral, esses tomates são mais adocicados que aqueles dos demais grupos consumidos ao natural e são considerados como um produto “gourmet”. Os frutos são pequenos

(abaixo de 30 g), arredondados, dispostos em cachos, enquanto as plantas são de hábito de crescimento indeterminado e de porte alto (ALVARENGA; MELO; SHIRAHIGE, 2013).

Já o grupo Saladete (Italiano) tem tomates alongados (7 a 10 cm), com diâmetro transversal de 3 a 5 cm, cor vermelha intensa, biloculares, parede espessa, sabor adocicado e maturação uniforme dos frutos. Os frutos das cultivares disponíveis no mercado têm excelente qualidade gustativa e versatilidade de uso culinário. A sua demanda tem sido crescente e os preços alcançados no mercado são ligeiramente superiores aos do grupo Santa Cruz (ALVARENGA; MELO; SHIRAHIGE, 2013).

No mundo, o tomateiro é a segunda hortaliça cultivada, sendo apenas superada pela batata. Segundo Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2014), a produção mundial de tomate, no ano de 2014, foi de mais de 170 milhões de toneladas. A China é o maior produtor e representa 30,88% de toda a produção mundial. Segundo o levantamento sistemático da produção agrícola, realizado no ano de 2015, a produção nacional de tomate foi de 4.187.729 toneladas, numa área de 63.571 ha, com média de 65,87 t ha⁻¹. Considerando-se o panorama nacional, São Paulo foi o maior produtor, com produção de 1.097.937 toneladas (produtividade igual a 73,37 t ha⁻¹); seguido por Goiás com uma produção de 912.976 toneladas (85,70 t ha⁻¹); e Minas Gerais, com 9.758,06 ha de área e 715.890 toneladas (73,36 t ha⁻¹) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016).

A região do Sul de Minas Gerais é uma grande produtora de tomate. No ano de 2015, representou a maior área colhida de tomate no estado, com 23,93% e produtividade média de 62,79 t ha⁻¹ (IBGE, 2016). A cultura está concentrada em grandes propriedades que comercializam no mercado de São Paulo. Em busca de diferentes condições climáticas, para aumentar o seu calendário de produção e, também, pelo fácil escoamento para a capital paulista, o Sul de Minas é o destino de muitos produtores que, também, cultivam nas regiões paulistas de Itapeva, Mogi Guaçu e Sumaré (ZAGATI; BRAGA, 2013).

O tomateiro é uma das hortaliças mais exigentes em água, e a umidade no solo deve variar pouco. A irrigação influencia não apenas a produtividade, mas também a qualidade dos frutos e reduz a incidência de anomalias fisiológicas, como a podridão apical. As raízes necessitam encontrar um teor mínimo de 80% de água disponível no solo, ao longo do ciclo da cultura. Na fase inicial, a necessidade de água é pequena, aumentando substancialmente, durante as fases de vegetação, frutificação e colheita (FILGUEIRA, 2007).

O ciclo do tomateiro varia de 145 a 160 dias e pode ser dividido em três fases. A primeira fase vai do transplântio das mudas até o início do florescimento. A segunda fase inicia-se no

florescimento e termina com início da colheita. A terceira fase vai do início ao final da colheita (ALVARENGA; MELO; SHIRAHIGE, 2013).

2.2 Irrigação do tomateiro

Com a irrigação por gotejamento, é possível aplicar água com frequência maior e com alta eficiência de aplicação, utilizando pouca mão de obra, além de permitir o uso da fertirrigação. Suas vantagens incluem conservação da água e redução dos impactos nocivos ao uso excessivo da água, em decorrência do grande potencial para alta eficiência de aplicação e para automação, melhoria da qualidade e da produtividade das culturas, facilidade de aplicação de agroquímicos, menor desenvolvimento de plantas daninhas, redução da exigência de mão de obra para operação, redução do consumo de energia, facilitação das práticas culturais, além de possibilitar o uso de terras marginais na agricultura (FRIZZONE et al., 2012).

A irrigação por gotejamento aplica pequenos volumes de água no solo, permite a redução da percolação profunda e das perdas por evaporação, refletindo em economia de água e fertilizantes. O conteúdo de água na fração do volume de solo que contém o sistema radicular permanece alto, com pequenas variações, pela característica de aplicação frequente da irrigação. Isto mantém alto o potencial total da água no solo sem reduzir o nível de aeração, evitando a ocorrência de estresse hídrico na planta (FRIZZONE et al., 2012).

A cultura do tomateiro é muito sensível à falta de água. O déficit hídrico prolongado limita o crescimento e reduz a produtividade. A demanda máxima ocorre durante o período de floração e crescimento dos frutos (ALVARENGA et al., 2013).

O manejo adequado da irrigação, na cultura do tomateiro, é fator primordial, pois o tomateiro é classificado como planta muito sensível ao estresse hídrico. Tanto o déficit de água quanto o excesso resultam em danos à cultura, como rachaduras nos frutos, podridão apical, queda de flores e frutos, frutos ocos, menor produção de matéria seca, alteração na troca gasosa, número de frutos comerciais, ataque de doença, alteração genética, no uso eficiente da água, na qualidade nutricional do tomate, entre outros danos (FILGUEIRA, 2007; MUKHERJEE; SARKAR; CHAKRABORTY, 2012; OZBAHCE; TARI, 2010; SÁ et al., 2005; WANG; LIU; JENSEN, 2012).

Algumas pesquisas já foram realizadas relacionando a produtividade do tomateiro com a variação de lâminas de água. Monte et al. (2013) avaliaram a influência da lâmina de irrigação no crescimento e na produção de frutos do tomateiro híbrido, Débora Plus, sendo a lâmina de 80% da ETc a que resultou no maior crescimento vegetativo do tomateiro e maior produção total de frutos.

Silva et al. (2013), também, avaliaram o efeito de taxas de reposição da evapotranspiração da cultura sobre a produção do tomateiro, cultivar “Caline IAP 6”, em que as reposições de 100% e 133% da ETc proporcionaram mais frutos por planta, maior produção e melhor eficiência no uso da água.

Santana, Vieira e Barreto (2009), estudando o efeito dos níveis de água no solo na produtividade do tomateiro, observaram que lâminas menores ou maiores que 100% do consumo da planta afetam, de forma negativa, o número de frutos produzidos.

O aumento da lâmina de irrigação em 125% da necessária, para atingir a condição de capacidade de campo, proporcionou aumento no diâmetro e na massa dos frutos do tomateiro “Heinz 9498” (KOETZ et al., 2010).

Já Rodrigues et al. (2016) estudaram a influência de seis tensões de água no solo sobre o desenvolvimento do tomateiro “Dominador F1”, em ambiente protegido e observaram que a tensão de água no solo, a 0,20 cm de profundidade, deve ser mantida em torno de 20 kPa para maior altura de planta, número de cachos e número de frutos.

2.3 Irrigação por pulsos

Uma característica desejável à relação água-solo-planta é uma pequena taxa de aplicação de água, que ocorre no gotejamento. Desta forma, Karmelli e Peri (1974) introduziram o termo de irrigação por pulsos, que pode ser definida como uma série de ciclos, em que cada ciclo consiste de uma fase de irrigação e uma de repouso, de forma a não deixar secar o bulbo úmido formado no solo. Assouline et al. (2006) relataram que a irrigação por pulsos reduz o avanço do bulbo úmido, verticalmente, diminuindo a perda de água por percolação e aumentando o uso eficiente da água de irrigação.

A irrigação por pulsos tem um papel importante na agricultura, por seus efeitos positivos sobre o aumento de produtividade, melhoria da qualidade dos produtos, economia no uso da água e redução do consumo de energia (BAKEER et al., 2009).

Segundo Zin El-Abedin (2006), a aplicação por pulsos da água permite reduzir a taxa média de irrigação para um nível que coincida com condutividade hidráulica do solo e minimiza a percolação abaixo da zona radicular efetiva. Os pulsos podem ser aplicados, em qualquer método de irrigação, embora seja aplicado, principalmente, em sistemas de irrigação por gotejamento.

Um benefício do gotejamento por pulsos foi relatado por Abdelraouf et al. (2012) sobre o entupimento dos gotejadores com vazão de 2,1 L h⁻¹, na cultura da batata; os autores observaram uma redução proporcional ao número de pulsos, em virtude de a técnica de pulsos

criar uma turbulência no fluxo de água, evitando o acúmulo de partículas suspensas no canal do fluxo e nas saídas dos emissores.

O gotejamento por pulsos foi utilizado em alguns países, como, por exemplo, nos Estados Unidos, no tomateiro (WARNER; HOFFMAN; WILHOIT, 2009); no Egito, nas culturas do milho e da batata (ABDELRAOUF et al., 2012) e da soja (EID; BAKRY; TAHA, 2013); em Israel, na cultura do pimentão (ASSOULINE et al., 2006) e, no Brasil, na cultura da alface (ALMEIDA; LIMA; PEREIRA, 2015).

Na pesquisa realizada por Warner, Hoffman e Wilhoit (2009) com a cultura do tomateiro, a irrigação por gotejamento por pulsos foi capaz de reduzir o uso de água em cerca de 40%, sem afetar a qualidade e a produção do tomateiro.

Zin El-Abedin (2006) relatou aumento da produtividade em 11,8% e do uso eficiente da água em 13,5%, na cultura do milho, pela irrigação por pulsos, em intervalos de 5 minutos por pulsos. Abdelraouf et al. (2012) e Bakeer et al. (2009) relataram aumento no rendimento da batata e maior eficiência de uso da água em função do gotejamento por pulsos.

2.4 Cobertura do solo

É preciso se adaptar às novas tecnologias que chegam para assegurar o sucesso na atividade agrícola. Assim, a obtenção de informações sobre os fatores que interagem na lavoura e de como se pode maximizar os seus efeitos é crucial. Uma dessas tecnologias é a cobertura do solo, mais conhecida como “mulching”, filme plástico de espessura fina, que forma uma barreira física resistente a intempéries, na superfície do solo e condições climáticas adversas e oferece benefícios para as mais diversas culturas. A técnica é usada, para reduzir a evaporação da água do solo, o aparecimento de ervas daninhas e a erosão do solo, além de diminuir o uso de herbicida e impedir o contato de frutos e folhas com o solo (YURI et al., 2014).

O uso dos filmes plásticos, para o cultivo de diversas hortaliças, é uma realidade, como nas culturas do tomate, alface, pimentão, melão, pepino e abobrinha (SANTOS et al., 2008). A cobertura do solo tem efeitos benéficos, na produção de hortaliças, pois proporciona maior controle das plantas invasoras, sendo ideal para ser utilizado com a irrigação por gotejamento; proporciona menor consumo de água de irrigação, em decorrência da redução no processo de evaporação e, também, facilita a colheita e comercialização, pois os frutos produzidos, nesse sistema de cultivo, não tem contato direto com o solo.

Vale destacar que a cobertura plástica do solo possibilita a proteção do sistema radicular contra danos de equipamentos, pois dispensa capinas. Além disso, o teor de água constante e a temperatura mais elevada dos solos com cobertura plástica favorecem a atividade microbiana e

maior mineralização do nitrogênio orgânico e, principalmente, evita a lixiviação de nitrato e potássio, importante para a nutrição das culturas, aumentando a disponibilidade desses nutrientes para as plantas nas camadas mais superficiais do solo. Ademais, em períodos com temperaturas mais amenas, o uso de “mulching” favorece o desenvolvimento das plantas, proporcionando precocidade da colheita (ARAÚJO et al., 2003; CÂMARA et al., 2007; CLARK; MAYNARD, 1991; YURI et al., 2014)

A cobertura plástica tem efeito sobre as pragas, uma vez que a radiação refletida pela cobertura influencia tanto o crescimento, desenvolvimento e produção de frutos quanto o comportamento dos insetos que chegam até a planta. As propriedades do filme plástico em atrair e repelir insetos pode ser uma importante forma de proteção das hortaliças (SAMPAIO; ARAÚJO, 2001).

Como desvantagens, tem-se a falta de conhecimento mais específico ao manejo da irrigação, quer seja na estimativa da evapotranspiração para essas condições, quer seja na definição de sua frequência (SILVA et al., 2005). Ainda, deve-se ter o cuidado de evitar o acúmulo de plásticos no campo, causando problemas de poluição. Neste caso, é fundamental que se adotem técnicas de reciclagem ou a utilização de materiais fotodegradáveis ou biodegradáveis, cujos efeitos se assemelham aos plásticos comuns e, ainda, reduzem o impacto ambiental do plástico na agricultura (SAMPAIO; ARAÚJO, 2001; YURI et al., 2014).

Na agricultura irrigada, a cobertura do solo altera a relação solo-água-plantas, diminuindo a taxa de evapotranspiração, principalmente, nos estágios em que o dossel vegetativo não cobre o solo por completo, reduzindo a frequência de irrigação e, por conseguinte, os custos de operação com o sistema de fornecimento de água (STONE et al., 2006).

Nas hortaliças, o uso de coberturas plásticas tem levado ao incremento no crescimento e produtividade em vários cultivos (ALMEIDA; LIMA; PEREIRA, 2015; CANTU et al., 2013; MEDEIROS et al., 2006). A cobertura do solo com filmes de polietileno aumentou a produtividade do tomateiro (BRANCO et al., 2010; CAMPAGNOL et al., 2014), do repolho (BRANCO et al., 2010), do melão (MORAIS et al., 2008) e do morangueiro (YURI et al., 2012). No Havaí, o uso de filme de polietileno, para cobertura do solo nas linhas de plantio do abacaxizeiro, é uma realidade (ALMEIDA; SOUZA, 2011). No entanto, Bogiani et al. (2008) não encontraram efeito da cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro. Em pesquisa de Lopes et al. (2011), a cobertura de solo influenciou o desenvolvimento do acúmulo de massa seca nas folhas, ramos e frutos, no entanto a razão de área foliar, área foliar específica e taxa assimilatória líquida não foram influenciadas pela cobertura de solo.

O emprego da cobertura plástica é, também, importante porque, na maioria dos casos, incorpora outras promissoras técnicas de cultivo, tais como o emprego da irrigação por gotejamento e a fertirrigação, resultando em um pacote tecnológico que leva a um incremento na produção (SAMPAIO; ARAÚJO, 2001).

2.5 Estado energético e movimento de água no solo

O potencial total da água no solo (ψ ou H) é definido como a diferença de energia potencial por unidade de volume, peso ou massa de água, comparada com um estado padrão e energia. A diferença de energia potencial entre dois pontos, em um sistema isotérmico, é a causa determinante do movimento da água dentro do solo, pois é espontânea a tendência, na natureza, de os corpos se transferirem de um ponto de energia potencial alta para outro de menor energia potencial. A diferença de energia potencial determina o sentido do fluxo e a quantidade de trabalho disponível para promover o fluxo. O termo “potencial”, portanto vem de energia potencial da água no solo (LIBARDI, 2005; OR; WRAITH, 2003).

Dependendo da forma de expressão, com base em volume, massa ou peso, as unidades e símbolos usados para potencial da água no solo podem mudar. Para potencial da água no solo, com base em volume, a unidade pode ser Pascal (Pa), ou seja, pressão, sendo o símbolo ψ para representar o potencial total da água no solo expressa em energia por volume (RADCLIFFE; SIMUNEK, 2010). Para potencial da água no solo, com base em peso, a unidade é m ou mca (metros de coluna de água) e o símbolo é o H.

O valor do potencial total da água no solo em qualquer ponto depende não somente de sua pressão hidrostática, mas também de outros fatores físicos adicionais, ligados à interação entre a água e o sistema, tais como elevação, concentração de solutos, temperatura, a possível existência de um campo magnético, outros (LIBARDI, 2005). O valor de ψ ou H é, portanto a soma das contribuições separadas destes vários fatores. Assim:

$$\Psi = \psi_g + \psi_p + \psi_m + \psi_{os} \quad (1)$$

Em que:

ψ_g : é o componente gravitacional;

ψ_p : o componente de pressão;

ψ_m : componente matricial; e

ψ_{os} : o componente osmótico.

O componente ou potencial gravitacional da água (ψ_g), em diferentes pontos no solo, é determinado pela elevação do ponto considerado, em relação a um nível de referência arbitrário e que, uma vez escolhido, precisa ser mantido em todos os cálculos de um dado problema (OR; WRAITH, 2003; REICHARDT; TIMM, 2012).

O potencial de pressão representa a pressão hidrostática atuando sobre o ponto considerado. No solo, o potencial de pressão existe somente em condição de saturação.

Toda vez que um solo não estiver saturado, nele existe ar e, portanto, existem interfaces água/ar (meniscos) que lhe conferem o estado de tensão (pressão negativa). Assim, a água no solo, via de regra, encontra-se sob tensões. A expressão do potencial total da água no solo (Equação 1) apresenta ψ_p e ψ_m , porém é bom frisar que estes dois componentes não existem ao mesmo tempo; a água no solo saturado estará sob pressão (ψ_p) e, no solo não saturado, ela estará sob tensão (ψ_m) (MIYAZAKI, 2006).

A tensão, valor absoluto do potencial matricial, é resultante da afinidade da água com a matriz do solo, em razão das forças adsorptivas e de capilaridade oriundas das forças coesivas e adesivas que se desenvolvem dentro e entre as três fases do solo (OR; WRAITH, 2003).

O potencial matricial da água, em diferentes pontos no solo, é determinado diretamente com tensiômetro. Este dispositivo consiste de uma cápsula de cerâmica porosa conectada a um manômetro (vacuômetro) por um tubo de PVC ou acrílico. Quando colocado no solo, a água contida na cápsula tende a entrar em equilíbrio com a tensão da água no solo ao seu redor. Qualquer mudança no teor de água do solo e, conseqüentemente, em seu estado de energia, será transmitida à água no interior da cápsula, sendo indicada rapidamente pelo vacuômetro. A cápsula do tensiômetro funciona como uma membrana semipermeável, permitindo a livre passagem de água e íons, não permitindo a passagem de ar e partículas de solo (LIBARDI, 2005; REICHARDT; TIMM, 2012).

O componente osmótico aparece pelo fato da água no solo ser uma solução de sais minerais e a água no estado padrão ser pura. Pode-se estimar ψ_{os} , medindo-se a concentração salina da água do solo e pode ser determinado, em virtude da condutividade elétrica da solução do solo, conforme Richards (1954):

$$\psi_{os} = -36 \cdot CE \quad (2)$$

Em que:

ψ_{os} : potencial osmótico da solução. kPa;

CE: condutividade elétrica da solução do solo, dS m⁻¹.

A diferença de energia potencial entre dois pontos em um sistema isotérmico é a causa determinante do movimento da água dentro do solo, pois é espontânea a tendência, na natureza, de os corpos se transferirem de um ponto de energia potencial alta para outro de menor energia potencial. São duas as condições necessárias para que haja movimento da água em um meio: permeabilidade do meio e força promotora do movimento. O solo como meio poroso já satisfaz uma das condições de movimento. A outra condição é a diferença de energia que relacionada com a distância entre pontos resulta na força responsável pelo movimento (LIBARDI, 2005; OR; WRAITH, 2003).

Segundo Radcliffe e Rasmussen (2003), a equação que possibilita quantificar o movimento de água em meios saturados é a de Darcy:

$$\vec{q} = - \left[K \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial z} \right) \right] \quad (3)$$

Em que:

\vec{q} : é o vetor densidade de fluxo em qualquer direção no espaço;

K: a condutividade hidráulica de solo saturado;

$\frac{\partial H}{\partial x}$, $\frac{\partial H}{\partial y}$, e $\frac{\partial H}{\partial z}$: representam o gradiente de potencial total, nas direções x, y e z, respectivamente, em um sistema de coordenadas retangular.

Já a equação que quantifica o movimento da solução, em condição de solo não saturado, é a equação de Darcy-Buckingham:

$$\vec{q} = - K(h) \frac{\partial H}{\partial z} \quad (4)$$

Em que:

K(h): condutividade hidráulica de solo não saturado;

H: potencial total da água no solo (potencial mátrico + potencial gravitacional).

A equação de Darcy-Buckingham apresenta que a densidade de fluxo “q” é proporcional à força que atua sobre a água, isto é, o gradiente potencial. O coeficiente de proporcionalidade K é a condutividade hidráulica do solo. O sentido do gradiente é tomado, por definição, como aquele no qual o campo potencial cresce, isto é, de um valor menor de H para um valor maior

de H. A água se move de um ponto com maior H para outro de menor H, ou seja, no sentido contrário ao gradiente (REICHARDT; TIMM, 2012).

A presença de solutos na água do solo afeta sua propriedade termodinâmica e baixa seu potencial energético. Em particular, solutos diminuem a pressão de vapor da água do solo. Como este fenômeno pode não afetar o fluxo de massa líquida, significativamente, ele não é considerado. O potencial osmótico (ψ_{os}) somente desempenha importante função sobre o fluxo de água do solo, quando existe uma membrana seletiva ou barreira de difusão, a qual transporta água mais rapidamente que do que sais. Por isso, o efeito osmótico é importante, na interação entre raízes e solo, bem como em processos envolvendo difusão de vapor (AYRES; WESTCOT, 1985).

Pelo fato das camadas do solo não serem separadas por membranas, o potencial osmótico tem pouco efeito sobre o movimento de água no solo. Entretanto seu principal efeito é verificado sobre a absorção de água pelas células das raízes das plantas. No contexto de salinidade do solo é que o potencial osmótico se pronuncia, sendo uma variável importante para o estabelecimento de uma homeostase no sistema solo-água e planta (BENNETT; BARRETT-LENNARD; COLMER, 2009).

2.6 Eficiência de uso de água

As estatísticas de irrigação mostram o importante papel da agricultura irrigada no mundo e a necessidade de aumentar a eficiência de uso da água nesta atividade agrícola. O termo eficiência de uso da água (EUA) é a relação entre a produtividade da cultura e a água aplicada e pode ser expressa em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ou kg m^{-3} . Como o principal interesse dos produtores é a produção econômica das culturas, a EUA pode ser também expressa, em termos monetários, denominada, então, como eficiência econômica da água (EEA). A EEA é a razão entre a receita líquida por unidade de área pelo volume de água aplicado na irrigação e pode ser expressa em $\text{U\$ m}^{-3}$ (FRIZZONE et al., 2012).

Em regiões com escassez de água, as culturas com elevada EUA devem ser preferidas. Os valores de EUA relatados na literatura variam, conforme a produtividade da cultura estudada. Vários fatores influenciam no uso eficiente da água, como a cultivar, a técnica de irrigação, fatores do solo e agrônômicos. O principal caminho, para aumentar o uso eficiente da água, é aumentando a produção por unidade de água.

O conceito de uso eficiente da água está relacionado ao manejo atual dos recursos ambientais, sendo básico para o desenvolvimento sustentável e assegurando que haja recursos suficientes para as gerações futuras. O planejamento é indispensável no sentido de

compatibilizar os vários usos da água, viabilizando os diferentes setores produtivos, monitorando a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, melhorando os níveis de eficiência global de uso (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

Assegurar a produção de alimentos, dentro dos limites da natureza, significa utilizar os recursos de maneira eficiente, ou seja, converter os recursos limitados em produtos úteis, viáveis economicamente, porém, diminuindo as repercussões sobre o meio ambiente, durante a produção, manuseio e comercialização. No que diz respeito à agricultura irrigada, incentivar a adoção de tecnologias de irrigação com maior eficiência produtiva deve tornar-se um instrumento para a racionalização e conservação do recurso (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

As linhas de desenvolvimento tecnológico devem produzir o maior impacto possível, mediante a melhoria na operação de sistemas, captação e condução de água e maior eficiência da irrigação. Uma das áreas mais promissoras, para incrementar a eficiência do uso da água para irrigação, é a aplicação de técnicas de otimização, levando-se em consideração a resposta dos cultivos à quantidade de água aplicada (FRIZZONE et al., 2012).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No período de junho de 2016 a maio de 2017, foram conduzidos três experimentos, no município de Ingaí-MG, com o objetivo de avaliar tecnologias para uso eficiente da água em cultivo comercial de tomateiro italiano.

No primeiro ensaio verificaram-se os efeitos da cobertura plástica sob duas lâminas de água nas características produtivas e na eficiência de uso de água. Foi observado que a associação do uso de mulching e lâmina de irrigação de 188 mm aumentaram a produtividade.

Quanto às frequências de irrigação, estudadas no segundo ensaio, foram observadas as maiores produtividades, eficiências de uso e econômica da água, em duas situações: (a) irrigação contínua com mulching; (b) irrigação por pulsos em solo sem cobertura.

Para verificar o efeito do potencial osmótico de água no solo, foi realizado um terceiro experimento. Nesse último ensaio, observou-se que o maior potencial osmótico foi, nos tratamentos com cobertura plástica, sendo a maior produtividade comercial do tomateiro com a lâmina de 206 mm.

Com isso, nas condições estudadas, para obter maiores produtividades do tomateiro, pode-se recomendar: (a) o uso de cobertura plástica associado a maiores lâminas de irrigação; (b) irrigação contínua com cobertura plástica; (c) irrigação por pulsos em solo nu e (d) maiores lâminas.

O uso de mulching na eficiência de uso de água não ficou esclarecido, no presente trabalho, já que os resultados dos ensaios realizados não foram concludentes. Dessa maneira, novas pesquisas precisam ser realizadas para elucidar o efeito da cobertura plástica na eficiência de uso de água no tomateiro.

REFERÊNCIAS

- ABDELRAOUF, R. E. et al. Effect of pulse irrigation on Clogging Emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Jordania, v. 6, n. 3, p. 807-816, July 2012.
- ALMEIDA, O. A.; SOUZA, L. F. S. Irrigação e fertirrigação na cultura do abacaxi. In: SOUSA, V. F. et al. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 339-368.
- ALMEIDA, W. F.; LIMA, L. A.; PEREIRA, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 6, p. 1009-1018, nov./dez. 2015.
- ALVARENGA, M. A. R. et al. Irrigação e fertirrigação. In: ALVARENGA, M. A. R. (Ed.). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2. ed. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. p. 131-180.
- ALVARENGA, M. A. R.; MELO, P. C. T.; SHIRAHIGE, F. H. Cultivares. In: ALVARENGA, M. A. R. (Ed.). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2. ed. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. p. 39-62.
- ARAÚJO, A. P. et al. Rendimento de melão amarelo cultivado em diferentes tipos de cobertura do solo e métodos de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 123-126, mar. 2003.
- ASSOULINE, S. et al. Soil-plant system response to pulsed drip irrigation and salinity: bell pepper case study. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 1556-1568, Aug. 2006.
- AYRES, A. D.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985. 174p.
- BAKEER, G. A. A. et al. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in Sandy soils. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, Nasr City, v. 26, n. 2, p. 736-765, Apr. 2009.
- BENNETT, S. J.; BARRETT-LENNARD, E. G.; COLMER, T. D. Salinity and waterlogging as constraints to saltland pasture production: a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 129, p. 349-360, Dec. 2009.
- BOGIANI, J. C. et al. Poda apical, densidade de plantas e cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro em cultivo protegido. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 145-151, 2008.
- BRANCO, R. B. F. et al. Cultivo orgânico sequencial de hortaliças com dois sistemas de irrigação e duas coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 75-80, jan./mar. 2010.

CÂMARA, M. J. T. et al. Produção e qualidade de melão amarelo influenciado por coberturas do solo e lâminas de irrigação no período chuvoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 58-63, jan./fev. 2007.

CAMPAGNOL, R. et al. Impactos do nível de irrigação e da cobertura do solo na cultura do tomateiro. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 345-357, jul./set. 2014.

CANTU, R. R. et al. Uso de malhas pigmentadas e *mulching* em túneis para cultivo de rúcula: efeito no ambiente e nas plantas modelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 810-815, maio 2013.

CLARK, G. A.; MAYNARD, D. N. Vegetable production on various bed widths using drip irrigation. **American Society of Agricultural Engineers**, Florida, v. 8, n. 1. p. 28-32, Nov. 1991.

EID, A. R.; BAKRY, B. A.; TAHA, M. H. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under Sandy soil conditions. **Agricultural Sciences**, [S.l.], v. 4, n. 5, p. 249-261, May 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2007. 421 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Crops**. Roma: FAO, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

FRIZZONE, J. A. et al. **Microirrigação**: gotejamento e microaspersão. Maringá: Eduem, 2012. 356 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento sistemático de produção agrícola: pesquisa mensal de prevenção e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. **Levantamento Sistemático de Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 11, p. 1-82, nov. 2016.

KARPELLI, D.; PERI, G. Basic principles of pulse irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 100. n. 3, p. 309-319, 1974.

KOETZ, M. et al. Caracterização agrônômica e Brix em frutos de tomate industrial sob irrigação por gotejamento no Sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 1, p. 14-22, fev. 2010.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 311 p.

LOPES, W. A. R. et al. Análise do crescimento de tomate ‘SM-16’ cultivado sob diferentes coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 554-561, out./dez. 2011.

MEDEIROS, J. F. et al. Crescimento e produção do melão cultivado sob cobertura do solo e diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 792-797, jan. 2006.

- MIYAZAKI, T. **Water flow in soils**. 2. ed. Tokyo: Taylor & Francis Group, LLC, 2006. 418 p.
- MONTE, J. A. et al. Growth analysis and yield of tomato crop under diferente irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 926-931, jun. 2013.
- MORAIS, E. R. C. et al. Crescimento e produtividade do meloeiro Goldex influenciado pela cobertura do solo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 129-137, fev. 2008.
- MUKHERJEE, A.; SARKAR, S.; CHAKRABORTY, P. K. Marginal analysis of water productivity function of tomato crop grown under different irrigation regimes and mulch managements. **Agricultural Water Management**, Bursa, v. 104, p. 121-127, Feb. 2012.
- OR, D.; WRAITH, J. M. Soil water content and water potential relationships. In: WARRICK, A. W. (Ed.). **Soil physics companion**. Oxford: Oxford University Press, 2003. p. 49-84.
- OZBAHCE, A.; TARI, A. F. Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 1405-1410, Sept. 2010.
- 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.
- RADCLIFFE, D. E.; RASMUSSEN, T. C. Soil water movement. In: WARRICK, A. W. (Ed.). **Soil physics companion**. Oxford: Oxford University Press, 2003. p. 85-126.
- RADCLIFFE, D. E.; SIMUNEK, J. **Soil physics with HYDRUS: modeling and applications**. Boca Raton: CRC Press, 2010. 373 p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri: Manole, 2012. 500 p.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60).
- RODRIGUES, R. R. et al. Efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o desenvolvimento inicial do tomateiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 530-539, jun. 2016.
- SÁ, N. S. A. et al. Comportamento da cultura do tomateiro sob diferentes tensões de água no solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 341-347, mar. 2005.
- SAMPAIO, R. A.; ARAÚJO, W. F. Importância da cobertura plástica do solo sobre o cultivo de hortaliças. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 22, n. 1/2, p. 1-12, 2001.

- SANTANA, M. J.; VIEIRA, T. A.; BARRETO, A. C. Efeito dos níveis de reposição de água no solo na produtividade do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 1378-1384, ago. 2009.
- SANTOS, I. S. et al. Economia de água na irrigação do coqueiro em função de áreas de maior concentração do sistema radicular e cobertura do solo. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 105-113, 2008.
- SILVA, J. M. et al. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 40-46, ago. 2013.
- SILVA, M. C. C. et al. Produtividade de frutos do meloeiro sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, com e sem cobertura do solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 202-205, abr./jun. 2005.
- STONE, L. F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 577-582, abr. 2006.
- WANG, Y.; LIU, F.; JENSEN, C. R. Comparative effects of deficit irrigation and alternate partial root-zone irrigation on xylem ph, aba and ionic concentrations in tomatoes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, n. 5, p. 1-11, 2012.
- WARNER, R.; HOFFMAN, O.; WILHOIT, J. **The effects of pulsing drip irrigation on tomato yield and quality in Kentucky**. Lexington: University of Kentucky College of Agriculture, 2009. 55 p.
- YURI, J. E. et al. Cultivo de morangueiro sob diferentes tipos de mulching. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 424-427, jul./set. 2012.
- _____. **Uso de cobertura plástica no cultivo do meloeiro**. Petrolina: Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido, 2014. 2 p.
- ZAGATI, F. Q.; BRAGA, D. O novo mapa hortifrutícola. **Hotifrutí Brasil**, Piracicaba, v. 11, n. 121, p. 8-24, mar. 2013.
- ZIN EL-ABEDIN, T. K. Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. In: ANNUAL CONFERENCE OF MISR SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 14., 2006, Egito. **Proceedings...** Egito: [S.l.], 2006. p. 1058-1076.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 - EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA EM CULTIVO COMERCIAL DE
TOMATEIRO SOB DUAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E MULCHING**

***WATER USE EFFICIENCY OF COMMERCIAL TOMATO CULTIVATION UNDER
TWO WATER DEPTHS AND PLASTIC MULCHING***

(VERSÃO PRELIMINAR)

Artigo redigido nas normas da revista *Bragantia*.

Resumo: A busca pela obtenção de uma agricultura sustentável visa à economia de água e insumos agrícolas para obtenção de maiores produtividades. Para isso, algumas técnicas podem ser utilizadas, como a irrigação por gotejamento e a cobertura plástica do solo. Assim, objetivou-se com este trabalho verificar os efeitos da cobertura plástica e diferentes lâminas de irrigação sobre as características produtivas e eficiência de uso de água no tomateiro em cultivo comercial. A pesquisa foi desenvolvida, no município de Ingaí, MG, sendo o delineamento experimental utilizado inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2. As fontes de variação foram dois tipos de cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas lâminas de irrigação (164 mm e 188 mm) com nove repetições. As variáveis analisadas foram altura das plantas, produtividade total, produtividade comercial, número de frutos por planta, massa média de frutos e eficiência de uso de água do tomateiro. A altura das plantas e eficiência de uso de água não foram influenciadas pela cobertura do solo nem pela variação das lâminas. O solo com cobertura proporcionou uma menor massa média de frutos ($108,32 \text{ g.fruto}^{-1}$), mas com um número maior de frutos por planta (70) o que contribuiu para uma maior produtividade comercial ($58,42 \text{ t.ha}^{-1}$). A maior produtividade total ($64,08 \text{ t.ha}^{-1}$) foi obtida no solo com cobertura plástica sob a lâmina de 188 mm. O uso de cobertura plástica associado à lâmina de 188 mm proporcionou aumento na produtividade do tomateiro.

Palavras chave: *Solanum lycopersicum* L., horticultura irrigada, manejo de irrigação, produtividade.

Abstract: The search for sustainable agriculture is a reality that aims saving water and agricultural inputs in order to obtain greater productivity. For this, some techniques can be used for this purpose, such as drip irrigation and the plastic mulch of the soil. Thus, the aim of this study was to verify effects of plastic mulch under different water depths on productive characteristics and water use efficiency in commercial tomato. The research was developed in the municipality of Ingaí, MG, Brazil, being the experimental design was completely randomized in a 2x2 factorial design. The sources of variation were two types of soil mulch (without and with plastic mulch) and two water depths (164 mm and 188 mm) with nine replications. The analyzed variables were plant height, total productivity, commercial productivity, number of fruits per plant, average fruit mass, and water use efficiency of tomato. Plant height and water use efficiency were not influenced by soil mulch or water depth variation. Soil with mulch provided a lower average fruit mass (108.32 g.fruit⁻¹), however, with a higher number of fruits per plant (70), which contributed to a higher commercial productivity (58.42 t.ha⁻¹). The highest total productivity (64.08 t.ha⁻¹) was obtained in the soil with a plastic mulch under the water depth of 188 mm. The use of plastic mulch associated with a water depth of 188 mm provided an increase in tomato productivity.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., irrigated horticulture, irrigation management, productivity.

Introdução

Maiores produtividades podem ser alcançadas, a partir de uma agricultura sustentável, que visa à economia de água e a insumos agrícolas. Algumas técnicas podem ser utilizadas com este objetivo. Entre elas, podem-se citar: a irrigação por gotejamento e a cobertura plástica do solo. As vantagens da irrigação por gotejamento incluem conservação da água e redução dos impactos nocivos ao uso da água, em razão do potencial para alta eficiência de aplicação e para automação, melhoria da qualidade e da produtividade das culturas e facilidade de aplicações de agroquímicos (Frizzone et al. 2012), enquanto os filmes plásticos têm sido cada vez mais utilizados na produção de hortaliças, por diversas vantagens, como a redução da evaporação de água da superfície do solo, diminuição da incidência de plantas daninhas, economia de água de irrigação e aumento da produção (Branco et al. 2010; Yuri et al. 2012; 2013; Almeida et al. 2015).

O tomateiro é a segunda hortaliça mais produzida no mundo. Segundo FAO (2017), a produção mundial de tomate, em 2014, foi de mais de 170 milhões de toneladas. O Brasil está entre os dez maiores produtores, sendo o tomateiro cultivado na maioria de seus estados. A maior parte da colheita nacional destina-se à mesa. Segundo o levantamento sistemático da produção agrícola, no ano de 2015, a produção nacional de tomate foi de 4.187.729 toneladas. O Estado de Minas Gerais é o terceiro produtor (20%), com 715.890 toneladas (IBGE, 2016).

Neste cenário, a região do Sul de Minas Gerais é uma grande produtora deste fruto. No ano de 2015, representou a maior área colhida de tomate no estado, com 23,93% e produtividade média de 62,79 t.ha⁻¹ (IBGE, 2016). A cultura está concentrada em grandes propriedades que comercializam no mercado de São Paulo. Em busca de diferentes condições climáticas, para aumentar o seu calendário de produção e, também, pela possibilidade de fácil escoamento para

a capital paulista, o Sul de Minas é alvo de muitos produtores que, também, cultivam nas regiões paulistas de Itapeva, Mogi Guaçu e Sumaré (Zagati e Braga, 2013).

Quanto à sua irrigação, o uso de gotejamento no tomateiro tem indicado economia de água de até 30% com incremento na produtividade em até 40% e melhoria na qualidade dos frutos (Marouelli e Silva, 2002).

Algumas pesquisas mostram os efeitos da cobertura plástica do solo na produtividade de algumas hortaliças. A cobertura do solo com filmes de polietileno aumentou a produtividade do tomateiro (Branco et al. 2010; Campagnol et al. 2014), do morangueiro (Yuri et al. 2012), do repolho (Branco et al. 2010) e do melão (Morais et al. 2008). No entanto Bogiani et al. (2008) não encontraram efeito da cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro.

O tomateiro é uma cultura exigente em água e conseguir eficiência no uso de água no seu cultivo implica efeitos positivos em termos econômicos e ambientais. Monte et al. (2013) avaliaram a influência das lâminas de irrigação (40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura), na produção de frutos do tomateiro híbrido “Débora plus” e constataram que a quantidade de água aplicada acima de 80% da ETc resultou em maior incremento na produção total de frutos, porém com a mesma produção comercial de frutos obtida nos tratamentos com menores lâminas aplicadas.

A eficiência de uso de água pode ser afetada pelo uso de cobertura plástica. Zhang et al. (2016) obtiveram a maior eficiência de uso de água, quando foram aplicados 60% ETc do tomateiro com gotejamento e cobertura plástica do solo. Em um trabalho desenvolvido por Campagnol et al. (2014), a eficiência de uso de água aumentou com a redução da lâmina de irrigação, sendo esse aumento mais pronunciado com o uso da cobertura de solo.

Desta maneira, objetivou-se com este trabalho verificar os efeitos da cobertura plástica e diferentes lâminas de água, na produtividade e eficiência de uso de água, no tomateiro em cultivo comercial.

Material e métodos

O experimento foi conduzido, no período de junho a novembro de 2016, em uma área comercial de tomateiro, com sete setores distribuídos em uma área de 20 hectares, no município de Ingaí-MG, 21° 27' 30,9" S e 44° 56' 49,7" O e 977 m de altitude. O clima da região é do tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, com verão úmido e inverno seco (Alvares et al. 2013). A precipitação, durante o período experimental, foi de 220 mm.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa, cultivado com soja no ano anterior, sendo a composição química na camada de 0-0,20 m: $\text{pH}_{(\text{água})} = 6,4$, $\text{P} = 6,2 \text{ mg.dm}^{-3}$, $\text{K}^+ = 166 \text{ mg.dm}^{-3}$, $\text{Ca}^{2+} = 5,2 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, $\text{Mg} = 0,8 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, $\text{Al}^{3+} = 0,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, $\text{H+Al} = 2,02 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, $\text{M.O.} = 3,61 \text{ dag.kg}^{-1}$, $\text{Prem} = 11,0 \text{ mg.L}^{-1}$, $\text{Zn} = 4,8 \text{ mg.dm}^{-3}$, $\text{Fe} = 39,6 \text{ mg.dm}^{-3}$, $\text{Mn} = 18,8 \text{ mg.dm}^{-3}$, $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.dm}^{-3}$, $\text{B} = 0,6 \text{ mg.dm}^{-3}$, $\text{S} = 5,6 \text{ mg.dm}^{-3}$.

Foram realizadas a calagem e a adubação, com base na análise química do solo, seguindo as recomendações para a cultura. Na adubação mineral, antes do transplante, foram aplicados 400 kg.ha^{-1} de P_2O_5 ; 150 kg.ha^{-1} de K_2O ; 50 kg.ha^{-1} de nitrogênio. As adubações em cobertura foram efetuadas, diariamente via fertirrigação, obedecendo aos estádios de desenvolvimento da cultura. Para tanto, utilizaram-se 131 kg.ha^{-1} de N, 235 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , 654 kg.ha^{-1} de K_2O , 188 kg.ha^{-1} de Ca, 66 kg.ha^{-1} de Mg, 87 kg.ha^{-1} de S e 6 kg.ha^{-1} de B. As fontes de nitrogênio utilizadas foram 63,36% (nitrato de cálcio) e 36,64% (MAP). Para o P_2O_5 e K_2O , as fontes utilizadas foram 100% de MAP e 100% cloreto de potássio, respectivamente. As fontes de cálcio utilizadas foram 58,36% (nitrato de cálcio) e 41,64% (cloreto de cálcio); para

o magnésio, foram 100 % sulfato de magnésio; para o boro, 100% ácido bórico e, para o enxofre, 100% de sulfato de magnésio.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 com dois tipos de cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas lâminas (164 mm e 188 mm) e nove repetições. Cada parcela possuía 5,00 metros de comprimento e 0,90 m de largura, totalizando uma área experimental de 162 m², na qual foram transplantadas 14 plantas, sendo utilizadas as quatro plantas centrais como parcela útil.

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento e foram escolhidos gotejadores amplamente utilizados na irrigação do tomateiro: o Netafim DripNet PC com vazão de 1,6 L.h⁻¹ a cada 0,50 m e o Hydro PC com vazão igual a 2,2 L.h⁻¹ a cada 0,60 m. Os modelos de gotejadores proporcionaram diferentes lâminas de irrigação, sendo, ao final do ciclo da cultura, uma lâmina de 164 mm aplicada pelo Netafim DripNet PC e lâmina de 188 mm aplicada pelo Hydro PC.

Foi utilizada a cultivar de tomate italiano Aguamiel[®] da empresa Vilmorin do Brasil Comércio de Sementes LTDA. As mudas do tomateiro foram transplantadas em fileiras duplas com espaçamento de 0,70 x 0,90 m, os corredores entre as fileiras foram espaçados de 2,90 m, nas quais foram instalados os tubos gotejadores sob o filme plástico de dupla face (branco/preto) com a face branca voltada para cima, nos tratamentos com cobertura.

Depois do transplântio, foram realizadas irrigações diárias visando favorecer o pegamento das mudas. O manejo da irrigação foi realizado, de acordo com a leitura dos tensiômetros instalados a 0,20 m, nos sete setores da propriedade. Por se tratar de uma lavoura comercial, as leituras dos tensiômetros foram realizadas pelos funcionários, às 7 horas da manhã, em todos os setores, posteriormente, era calculada uma média de leitura e, a partir dela, era definido o tempo de irrigação. Buscou-se irrigar todos os setores com o mesmo tempo de

irrigação diária não ultrapassando o limite da tensão crítica de água no solo (20 kPa). As irrigações eram realizadas entre o período de 8 h às 18 horas.

O experimento correspondeu a uma pequena área (162 m²) de cada setor (aproximadamente, 2,80 hectares), sendo instalado, no centro de cada parcela, um tensiômetro, a 0,20 m, com o objetivo de monitorar o potencial matricial de água no solo. Embora o manejo da irrigação não tenha sido realizado, a partir da curva de retenção, ela foi determinada, a 0,20 m, com o objetivo de identificar possíveis problemas de aeração no solo e foi ajustada ao modelo de van Genuchten (1980):

$$\theta = 0,256 + \frac{0,264}{[1 + (0,657 \times |\Psi_m|)^{1,351}]^{0,260}}$$

em que:

θ - umidade com base em volume, cm³.cm⁻³

Ψ_m - potencial matricial de água no solo, kPa.

As plantas foram conduzidas com duas hastes, tutoramento e desbrota. O controle de doenças e pragas foi feito, de acordo com as recomendações convencionais, com aplicações de fungicidas e inseticidas, conforme as necessidades da cultura. As colheitas tiveram início 91 dias após o transplântio e foram realizadas de acordo com a maturação fisiológica dos frutos.

Foram avaliadas as seguintes variáveis respostas:

-Potencial matricial de água no solo (Ψ_m): obtido a partir das leituras dos tensiômetros, localizados a 0,20 m de profundidade, em cada parcela, expresso em -kPa.

-Altura das plantas: avaliada na época de pleno florescimento (66 dias após o transplântio), mensurada na haste maior com auxílio de uma fita métrica. Os resultados foram expressos em metros (m).

-Produtividade total: resultante do produto da massa média dos frutos totais pelo número de frutos por planta e pelo número de plantas por hectare (7.200 plantas por hectare), em cada parcela, durante 24 colheitas realizadas entre 19 de setembro e 11 de novembro de 2016, expressa em $t.ha^{-1}$.

-Produtividade comercial: obtido pela diferença entre a produtividade total e produtividade não comercial; frutos danificados, inclusive, aqueles com rachaduras, com podridão apical ou com danos causados por insetos que foram considerados não comerciais, expressa em $t.ha^{-1}$.

-Número de frutos por planta: contabilizado ao longo das colheitas.

-Massa média de frutos: obtida pela divisão da massa fresca total de frutos, colhidos em cada parcela, pelo seu respectivo número de frutos, durante todo o período de colheita, expressa em $g.fruto^{-1}$.

-Eficiência de uso de água: relação entre a produtividade comercial e o volume total de água aplicado em cada tratamento, expressa em $kg.m^{-3}$.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F, comparadas as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR, versão 4.6 (Ferreira 2014).

Resultados e discussão

Em relação ao potencial matricial de água no solo, houve pequena variação quanto aos tratamentos estudados (Figura 1), entretanto houve uma tendência dos tratamentos com cobertura do solo apresentarem leituras menores, ocorrendo, assim, uma influência da cobertura plástica no potencial matricial de água no solo e, por consequência, na umidade volumétrica do solo.

Marouelli (2008) apresenta as tensões de água no solo em que se deve promover a irrigação para diversas hortaliças; para a cultura do tomateiro irrigado por gotejamento, a irrigação deve ser iniciada, quando a tenção de água no solo atingir entre 20 e 40 kPa. Rodrigues et al. (2016) estudaram a influência de seis tensões de água no solo sobre o desenvolvimento do tomateiro “Dominador F1”, em ambiente protegido e observaram que o a tensão de água no solo, a 0,20 cm de profundidade, deve ser mantida em torno de 20 kPa para maior altura de planta, número de cachos e número de frutos.

Farias et al. (2015), estudando o efeito da cobertura plástica no solo na produção da alface, afirmam que as umidades nos tratamentos com cobertura plástica permaneceram próximas à capacidade de campo, o que salienta a importância do uso de técnicas que trazem benefícios à produção agrícola e economia no uso da água.

Não foi observada diferença significativa para altura das plantas, em função da cobertura do solo e das diferentes lâminas, com valor médio de 1,11 m (Tabela 1). Em alguns trabalhos já realizados, também, não se observaram diferença significativa na altura das plantas, como Ngouajio et al. (2007), ao avaliarem a cv. “Mountain Spring” em Michigan (EUA), cultivado sob filme plástico preto. Bogiani et al. (2008), também, não observaram diferença para altura das plantas, utilizando filme plástico branco e solo sem cobertura, corroborando com o obtido neste trabalho. No entanto, Macêdo e Alvarenga (2005) detectaram que a variação das lâminas

referente a 40, 60, 80 e 100% Kc influenciaram na altura das plantas, tanto aos 30, 60 e 90 dias após o transplântio.

Houve efeito diferenciado da cobertura do solo, na massa média de frutos do tomateiro, independente da lâmina aplicada (Tabela 1). As plantas cultivadas no solo sem cobertura produziram frutos de maior tamanho, com média de 113,26 g.fruto⁻¹.

Já Ngouajio et al. (2007) obtiveram massa média de frutos de 266,3 g.fruto⁻¹, para a cv. “Mountain Spring”, cultivado com filme plástico preto, valor maior que o obtido nesta pesquisa e, que, provavelmente, deve-se à diferença de variedade. Por outro lado, em trabalho realizado por Bogiani et al. (2008), a cobertura do solo, tanto com plástico branco quanto preto, não afetou a massa média dos frutos de tomate “Duradoro”.

Apesar das plantas cultivadas no solo com cobertura terem produzidos frutos com menor peso, o número de frutos por planta foi superior ao das plantas cultivadas no solo sem cobertura, o que resultou em maior produtividade comercial sob o uso de cobertura plástica.

A lâmina aplicada não influenciou na massa média de frutos (Tabela 1). Os resultados obtidos, nesta pesquisa, corroboram com Campagnol et al. (2014), que estudaram o efeito de lâminas de irrigação e, também, não observaram efeito das lâminas na massa média de frutos, com média de 106,90 g.fruto⁻¹ para o híbrido “San Vito”, valor próximo ao obtido neste estudo.

O tomate comercial, para consumo “in natura”, é valorizado, principalmente, pelo peso, sendo este um atributo importante em nível comercial. O padrão exigido pelo mercado de frutos “in natura”, para cultivares do tipo Santa Cruz, é de 80 a 200 g (Alvarenga et al. 2013). Já o peso médio do tomate tipo italiano fica em torno de 140 g, por proporcionar maior rendimento durante os processos (Monteiro et al. 2008).

A cobertura do solo influenciou no número de frutos por planta (Tabela 1). As plantas cultivadas, no solo com cobertura, produziram mais frutos, com média de 70 frutos por planta, que, no solo sem cobertura, foi de 62 frutos por planta (Tabela 2). Esse resultado não está de

acordo com o obtido por Bogiani et al. (2008), que não encontraram diferença no número de frutos por área, quando o tomateiro foi cultivado em solo com cobertura de filme de polietileno branco e preto e sem cobertura do solo.

Na condição estudada, nos tratamentos com cobertura do solo, o tomateiro pode ter apresentado melhor desenvolvimento vegetativo e maior volume de raízes, o que acarretou em maior número de frutos por planta e, conseqüentemente, maior produtividade por planta.

A lâmina também interferiu no número de frutos por planta e a lâmina de 188 mm proporcionou uma maior quantidade de frutos, com média de 68 (Tabela 3). Esse resultado diferenciou-se do obtido por Campagnol et al. (2014), que constataram que o uso de cobertura plástica do solo e variação das lâminas aplicadas não influenciaram no número de frutos por planta do híbrido “San Vito”, com média de 45, valor inferior ao obtido neste trabalho.

Foi observada interação entre a cobertura do solo e lâmina aplicada para a produtividade total do tomateiro (Tabela 1). A produtividade total foi maior nos tratamentos com cobertura plástica sob a lâmina de 188 mm (Tabela 4). Nos tratamentos do solo sem cobertura, não foi observado efeito das lâminas aplicadas.

Ngouajio et al. (2007) obtiveram produtividade de 106,5 t.ha⁻¹ para o tomateiro cultivado sob filme plástico preto e irrigado desde o transplântio. Branco et al. (2010) avaliaram o desempenho produtivo do tomateiro, em diferentes ambientes e ressaltaram que o tomateiro foi mais produtivo, obtido com uso de mulching, independentemente do sistema de irrigação utilizado. Campagnol et al. (2014) verificaram que o uso de plástico preto aumentou a produtividade total do tomateiro, híbrido “San Vito”, em 11,75 %, quando comparado aos frutos cultivados em solo nu.

A produtividade comercial do tomateiro foi influenciada tanto pela cobertura do solo quanto pela variação das lâminas de irrigação (Tabela 1); o solo com cobertura proporcionou a maior produtividade comercial com média de 58,42 t.ha⁻¹ (Tabela 2). O aumento da

produtividade comercial, com uso de cobertura plástica, também, foi relatado por Campagnol et al. (2014). Os autores demonstraram que a cobertura plástica do solo aumentou a produtividade total e comercial do tomateiro para o híbrido “San Vito”. Por outro lado, em trabalho realizado por Bogiani et al. (2008), a cobertura do solo, tanto com plástico branco quanto preto, não afetou a produtividade média de tomate “Duradoro”.

A cobertura do solo com filme plástico evita o desenvolvimento de plantas daninhas e promove a repelência a insetos; pode reduzir a amplitude térmica do solo e a lixiviação de nutrientes, aumentando, dessa forma, a sua disponibilidade para as plantas, além de manter uma maior umidade na camada mais superficial (Sampaio e Araújo, 2001).

Em relação às lâminas aplicadas, a lâmina de 188 mm proporcionou a maior produtividade comercial do tomateiro, com média de 59,41 t.ha⁻¹ (Tabela 3). O aumento da produtividade comercial, em função de maiores lâminas aplicadas, também, foi observado por Macêdo e Alvarenga (2005). Os autores verificaram que os frutos comerciais do tomateiro, híbrido “Bônus F1”, em ambiente protegido, aumentaram, quando ocorreu um acréscimo na lâmina de irrigação. Por outro lado, em trabalho desenvolvido por Monte et al. (2013), que estudaram a cv. “Débora” sob diferentes lâminas (40, 60, 80, 100 e 120% ETc), não foi observada diferença na produtividade comercial do tomateiro.

Não houve efeito da cobertura plástica do solo nem das lâminas aplicadas na eficiência de uso de água (Tabela 1), com média de 33,08 kg.m⁻³. Esse resultado não está de acordo com o trabalho de Campagnol et al. (2014), que avaliaram a eficiência de uso da água, no híbrido “San Vito”, sob diferentes lâminas (60, 80, 100, 120 140% Kc) e observaram que a redução da lâmina de irrigação associada ao uso de filme plástico preto elevou a eficiência de uso de água no tomateiro, com valor máximo de 39,34 kg.m⁻³, nos tratamentos com cobertura plástica e lâmina de 60% Kc. Kalangu et al. (2012), também, pontuaram maior eficiência de uso de água, quando as menores lâminas eram aplicadas, no tomateiro “Débora plus” em ambiente protegido.

A máxima eficiência de uso de água ($12,40 \text{ kg.m}^{-3}$) foi obtida, quando a reposição da lâmina correspondeu a 75% ETc.

O uso de cobertura plástica no solo associado à lâmina de 188 mm proporcionou um número maior de frutos por planta e, conseqüentemente, uma maior produtividade comercial do tomateiro. A média da produtividade total foi de $64,08 \text{ t.ha}^{-1}$, valor bem próximo da média nacional, do ano de 2015, que, segundo o IBGE (2016), foi de $65,87 \text{ t.ha}^{-1}$.

Conclusões

A cobertura plástica do solo incrementou as produtividades total e comercial e o número de frutos por planta, mas não influenciou na altura de plantas nem na eficiência de uso de água.

A aplicação da lâmina de 188 mm proporcionou incremento, nas produtividades total e comercial e no número de frutos por planta, mas não interferiu na altura de plantas, massa média de frutos e eficiência de uso de água.

A associação do uso de mulching e lâmina de 188 mm proporcionou uma maior produtividade total do tomateiro em cultivo comercial.

Agradecimentos

Os autores agradecem às seguintes instituições: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Universidade Federal de Lavras. E à empresa Zé Amparo Zil comércio de tomates.

Referências

- Almeida, W. F., Lima, L. A., e Pereira, G. M. (2015). Drip pulsed and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. *Engenharia Agrícola*, 35, 1009-1018.
<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p1009-1018/2015>
- Alvarenga, M. A. R., Melo, P. C. T. e Shirahige, F. H. (2013). Cultivares. In: M. A. R. Alvarenga (ed), *Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia* (p. 39-62). Lavras: Editora Universitária de Lavras.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., e Sparovek, G. (2013). Köpen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728.
<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Bogiani, J. C., Anton, C. S., Seleguini, A., Faria Júnior, M. J. A. e Seno, S. (2008). Poda apical, densidade de plantas e cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro em cultivo protegido. *Bragantia*, 67, 145-151.
- Branco, R. B. F., Santos, L. G. C., Goto, R., Ishimura, I., Schickmann, S. e Chiarati, C. S. (2010). Cultivo orgânico sequencial de hortaliças com dois sistemas de irrigação e duas coberturas de solo. *Horticultura Brasileira*, 28, 75-80.
- Campagnol, R., Abrahão, C., Mello, S. C., Oviedo, V. R. S. e Minami, K. (2014). Impactos do nível de irrigação e da cobertura do solo na cultura do tomateiro. *Irriga*, 19, 345-357.
- Farias, D. B. S., Lucas, A. A. T., Moreira, M. A., Nascimento, L. F. A., e Sá Filho, J. C. F. (2015). Avaliação da umidade do solo em função da presença de matéria orgânica e cobertura

do solo no cultivo da alface crespa (*Lactuca sativa* L.). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9, 287-291. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v9n500306>.

Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciência e Agrotecnologia, 38, 109-112. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

Food and agriculture organization of the United Nations-FAO. (2017). Crops. Roma. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

Frizzone, J. A., Freitas, P. S. L., Rezende, R., e Faria, M. A. (2012). Microirrigação: gotejamento e microaspersão. Maringá: Eduem.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2016). Levantamento Sistemático de Produção Agrícola: pesquisa mensal de prevenção e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Levantamento Sistemático de Produção Agrícola, 29, 1-82.

Kalungu, J. W., Monteiro, R. O. C., e Folegatti, M. V. (2012). Irrigation application depths and potassium doses on tomatoes under protected environment in Southeast Brazil. Revista de Agricultura, 87, 18-25.

Macêdo, L. S. e Alvarenga, M. A. R. (2005). Efeitos de lâminas de água e fertirrigação potássica sobre o crescimento, produção e qualidade do tomate em ambiente protegido. Ciência e Agrotecnologia, 29, 296-304.

Marouelli, W. A. (2008). Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 15 p.

Marouelli, W. A. e Silva, W. L. C. (2002). Tomateiro para processamento industrial: irrigação e fertirrigação por gotejamento. Brasília: Embrapa Hortaliças, 32 p.

- Monte, J. A., Carvalho, D. F., Medici, L. O., Silva, L. D. B. e Pimentel, C. (2013). Growth analysis and yield of tomato crop under diferente irrigation depths. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 926-931.
- Monteiro, C. S., Balbi, M. E., Miguel, O. G., Penteado, P. T. P. S. e Haracemiv, S. M. C. (2008). Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “Tipo Italiano”. *Alimentos e Nutrição*, 19, 25-31.
- Morais, E. R. C., Maia, C. E., Negreiros, M. Z., Araújo Junior, B. B. e Medeiros, J. F. (2008). Crescimento e produtividade do meloeiro Goldex influenciado pela cobertura do solo. *Scientia Agraria*, 9, 129-137.
- Ngouajio, M., Wang, G. e Goldy, R. (2007). Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. *Agricultural Water Management*, 87, 285-291. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2006.07.007>.
- Rodrigues, R. R., Pizzeta, S. C., Silva, N. K. C., Pacheco, F. E. D., e Pereira, G. M. (2016). Efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o desenvolvimento inicial do tomateiro. *Enciclopédia Biosfera*, 13, 530-539. http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_047.
- Sampaio, R. A. e Araújo, W. F. (2001). Importância da cobertura plástica do solo sobre o cultivo de hortaliças. *Agropecuária Técnica*, 22, 1-12.
- Van Genuchten, M. T. van. (1980). A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892-898.

Zhang, H., Xiong, Y., Huang, G., Xu, X. e Huang, Q. (2016). Effect of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in Sandy soil of the Hetao Irrigation District. *Agricultural Water Management*, 179, 205-214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.022>

Yuri, J. E., Resende, G. M., Costa, N. D., e Mota, J. H. (2012). Cultivo de morangueiro sob diferentes tipos de mulching. *Horticultura Brasileira*, 30, 424-427.

Figura

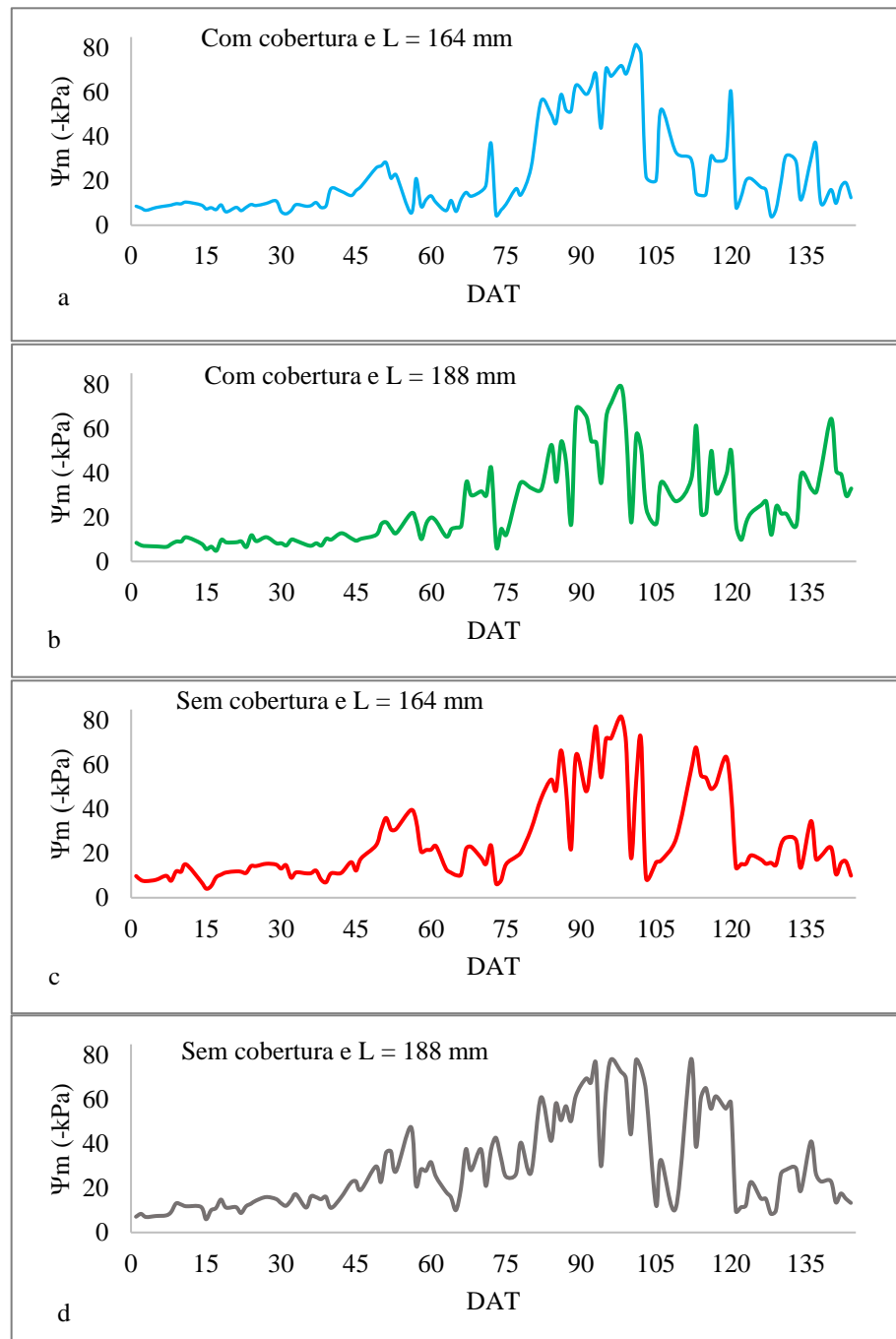


Figura 1 Potencial matricial de água no solo com cobertura e lâmina = 164 mm (a), com cobertura e lâmina = 188 mm (b), sem cobertura e lâmina = 164 mm (c) e sem cobertura e lâmina = 188 mm (d).

Tabelas

Tabela 1 Resumo do quadro de análise de variância para altura das plantas (m), massa média de frutos (g fruto⁻¹), número de frutos por planta, produtividade total (t.ha⁻¹), produtividade comercial (t.ha⁻¹) e eficiência de uso de água (kg.m⁻³) do tomateiro, Ingaí-MG, 2016.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios					
		Altura das plantas	Massa média de frutos	Frutos por planta	Produtividade total	Produtividade comercial	Eficiência de uso de água
Cobertura do solo (CS)	1	0,0020 ^{ns}	219,9289 [*]	592,2733 ^{**}	56,4001 ^{**}	157,2098 ^{**}	0,5725 ^{ns}
Lâmina (L)	1	0,0008 ^{ns}	1,0678 ^{ns}	605,4880 ^{**}	165,0368 ^{**}	342,5584 ^{**}	67,9525 ^{ns}
CS x L	1	0,0001 ^{ns}	8,6044 ^{ns}	116,1365 ^{ns}	43,1649 [*]	51,0034 ^{ns}	0,1296 ^{ns}
CS x L = 164 mm	1	-	-	-	0,4419 ^{ns}	-	-
CS x L = 188 mm	1	-	-	-	99,1232 ^{**}	-	-
L x Com cobertura	1	-	-	-	188,5034 ^{**}	-	-
L x Sem cobertura	1	-	-	-	19,6983 ^{ns}	-	-
Erro	32	0,0021	41,5170	53,9739	7,2906	18,7364	25,7283
Média		1,11	110,79	65,85	64,08	56,33	33,08
C. V. (%)		4,20	5,82	11,16	4,21	7,68	15,33

** ; * Significativo a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} = não-significativo.

Tabela 2 Médias da produtividade comercial ($t \cdot ha^{-1}$), número de frutos por planta e massa média de frutos ($g \cdot fruto^{-1}$) para o tomateiro no solo com e sem cobertura, Ingaí-MG, 2016.

Variáveis resposta	Com cobertura	Sem cobertura
Produtividade comercial	58,42 a	54,24 b
Número de frutos por planta	70,00 a	62,00 b
Massa média de frutos	108,32 b	113,26 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Tabela 3 Médias da produtividade comercial ($t \cdot ha^{-1}$) e número de frutos por planta para o tomateiro sob duas lâminas, Ingaí-MG, 2016.

Variáveis resposta	Lâmina = 164 mm	Lâmina = 188 mm
Produtividade comercial	53,24 b	59,41 a
Número de frutos por planta	62,00 b	68,00 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Tabela 4 Médias da produtividade total ($t \cdot ha^{-1}$) do tomateiro no solo com e sem cobertura e sob duas lâminas, Ingaí-MG, 2016.

	Produtividade total	
	Lâmina = 164 mm	Lâmina = 188 mm
Com cobertura	62,09 aB	68,57 aA
Sem cobertura	61,78 aA	63,87 bA

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$).

**ARTIGO 2 - EFICIÊNCIA ECONÔMICA E DE USO DE ÁGUA EM LAVOURA
COMERCIAL DE TOMATEIRO COM DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO E
FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO**

***ECONOMIC AND WATER USE EFFICIENCY OF COMMERCIAL TOMATOES WITH
DIFFERENT PLASTIC MULCHING AND IRRIGATION FREQUENCIES***

(VERSÃO PRELIMINAR)

Artigo redigido nas normas da revista *Ciência e Agrotecnologia*.

RESUMO: Objetivou-se nesta pesquisa verificar o efeito da frequência de aplicação de água e cobertura do solo sobre o tomateiro irrigado por gotejamento em lavoura comercial. O experimento foi realizado, em Ingaí-MG, utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 com dois tipos de cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas frequências de irrigação (irrigação contínua e por pulsos) com seis repetições. A irrigação por pulsos consistiu no parcelamento da lâmina de irrigação, em seis vezes, com intervalos iguais equivalentes a um sexto do tempo de irrigação diário. Foram avaliadas a altura das plantas, produtividades total e comercial, massa média de frutos, número de frutos por planta, eficiência de uso de água e eficiência econômica de água. Não foi observada diferença significativa entre tratamentos para a altura das plantas, enquanto o solo com cobertura proporcionou uma maior massa média de frutos. Com irrigação contínua, os tratamentos sob cobertura plástica apresentaram maiores produtividades total e comercial, maior eficiência de uso de água, eficiência econômica de água e maior número de frutos por planta. No gotejamento por pulsos, o solo nu proporcionou melhores resultados, para as produtividades total e comercial, número de frutos por planta, eficiência de uso de água e eficiência econômica de água. A irrigação contínua associada à cobertura plástica e à irrigação por pulsos em solo nu proporcionaram maiores produtividades e eficiência econômica e de uso de água.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: *Solanum lycopersicum* L., gotejamento por pulsos, horticultura irrigada, manejo de irrigação.

Abstract: The aim of this study was to verify the effect of water application and plastic mulch on tomato irrigated by drip irrigation in commercial crops. The experiment was performed in Ingaí, MG, Brazil, using a design completely randomized in a 2x2 factorial design with two types of soil mulch (without and with plastic mulch) and two frequencies (continuous and pulsed) with six replications. Pulse drip irrigation consisted of splitting the irrigation depth six times, with intervals equivalent to one-sixth of the daily irrigation time. Plant height, total and commercial productivities, average fruit mass, number of fruits per plant, water use efficiency and economic efficiency of water were evaluated. There was no significant difference for plant height, while the soil with mulch provided higher average fruit mass. With continuous irrigation, treatments under plastic mulch showed higher total and commercial productivities, higher water use efficiency, economic efficiency and more number of fruits per plant. In the pulse drip, bare soil showed better results for total and commercial productivities, number of fruits per plant, water use efficiency and economic efficiency of water. Continuous irrigation associated with plastic mulch and pulse drip irrigation on bare soil provided higher productivity and water use efficiency.

Index terms: *Solanum lycopersicum* L., drip pulse irrigation, irrigated horticulture, irrigation management.

INTRODUÇÃO

A produção agrícola representa um dos segmentos mais importantes para a economia brasileira, com grande participação na geração de renda e empregos. Como exemplo, os hortigranjeiros comercializados, nos mercados atacadistas no Brasil, movimentaram, no ano de 2015, quase 31 bilhões de reais. No ano de 2015, no Entrepasto Terminal São Paulo da Companhia de Entrepastos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), foram comercializadas 315 mil toneladas de tomate, que movimentaram R\$ 905,5 milhões. Este valor é 82% maior do que o segundo produto mais vendido, a maçã (CONAB, 2016).

No contexto mundial de progressão da sustentabilidade, técnicas que visam economizar água e, ainda, assim produzir alimentos com qualidade precisam ser desenvolvidas. A utilização do gotejamento por pulsos e sua interação com a cobertura plástica do solo podem ser utilizadas para minimizar o consumo de água na produção de alimentos.

A utilização do gotejamento por pulsos é uma técnica que consiste em uma série de ciclos, em que cada ciclo engloba uma fase de irrigação e outra de repouso, de forma a não deixar secar o bulbo úmido formado no solo. Assouline et al. (2006) relataram que a irrigação por pulsos reduz o avanço do bulbo úmido verticalmente, reduzindo a perda de água por percolação e aumenta a eficiência de uso da água de irrigação. Pesquisa realizada por Warner et al. (2009), com a cultura do tomateiro, mostrou que o gotejamento por pulsos foi capaz de reduzir o uso de água em cerca de 40%, sem afetar a qualidade e a produção do tomateiro.

Outra técnica de importante contribuição, para o aumento da produção de alimentos, é a cobertura plástica do solo conhecida como “mulching”. Esta visa, principalmente, ao controle de plantas daninhas e promove repelência a insetos. Além disso, pode reduzir a amplitude térmica do solo e a lixiviação de nutrientes, aumentando, dessa forma, a disponibilidade desses para as plantas, mantendo um nível maior de umidade na camada mais superficial do solo.

Facilita a colheita e a comercialização, uma vez que o produto não entra em contato com o solo (Sampaio e Araújo, 2001).

Aumento da eficiência de uso de água sob cobertura do solo e irrigação por pulsos foi relatado por Eid et al. (2013), na cultura da soja, enquanto a cobertura do solo com filmes de polietileno aumentou a produtividade do tomateiro (Branco et al. 2010; Campagnol et al. 2014), do morangueiro (Yuri et al. 2012), do repolho (Branco et al. 2010) e do melão (Moraes et al. 2008). No entanto Bogiani et al. (2008) não encontraram efeito da cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro.

Assim objetivou-se, com esta pesquisa, verificar o efeito da frequência de aplicação de água e cobertura do solo sobre o tomateiro irrigado por gotejamento em lavoura comercial.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido, no período de setembro de 2016 a janeiro de 2017, em uma área comercial de tomateiro, com sete setores distribuídos em 20 hectares, no município de Ingaí-MG, 21° 27' 08,4" S e 44° 56' 38,1" O e 960 m de altitude. O clima da região é do tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, com verão úmido e inverno seco (Alvares et al. 2013). A precipitação, durante o ciclo de cultivo do tomateiro, foi de 306,00 mm (Figura 1).

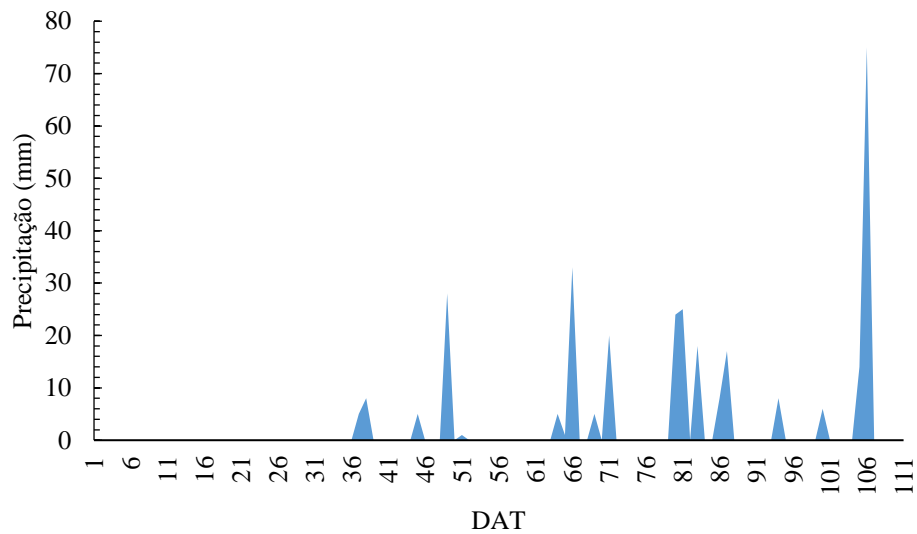


Figura 1 Distribuição da precipitação, durante o período experimental, Ingaí-MG, 2017.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa, cultivado com soja no ano anterior, sendo a composição química na camada de 0-0,20 m: $\text{pH}_{(\text{água})} = 5,7$, $\text{P} = 4,2 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{K}^+ = 102 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Ca}^{2+} = 2,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Mg} = 0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Al}^{3+} = 0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{H+Al} = 2,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{M.O.} = 2,9 \text{ dag kg}^{-1}$, $\text{Prem} = 15,8 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{Zn} = 3,4 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Fe} = 26,8 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Mn} = 8,8 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Cu} = 1,3 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{B} = 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{S} = 4,2 \text{ mg dm}^{-3}$.

Foram realizadas a calagem e a adubação, com base na análise química do solo, seguindo as recomendações para a cultura (Bastos et al. 2013). As adubações em cobertura foram efetuadas, diariamente, via fertirrigação, obedecendo aos estádios de desenvolvimento da cultura. Para tanto, utilizaram-se 131 kg ha^{-1} de N, 235 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 654 kg ha^{-1} de K_2O , 188 kg ha^{-1} de Ca, 66 kg ha^{-1} de Mg, 87 kg ha^{-1} de S e 6 kg ha^{-1} de B. As fontes de nitrogênio utilizadas foram 63,36% (nitrato de cálcio) e 36,64% (MAP). Para o P_2O_5 e K_2O , as fontes utilizadas foram 100% de MAP e 100% cloreto de potássio, respectivamente. As fontes de cálcio utilizadas foram 58,36% (nitrato de cálcio) e 41,64% (cloreto de cálcio); para o magnésio

foram 100% sulfato de magnésio; para o boro, 100% ácido bórico e, para o enxofre, 100% sulfato de magnésio.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2, com duas formas de cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas frequências de irrigação (irrigação contínua e por pulsos) com seis repetições. Cada parcela mediu 5,00 metros de comprimento e 0,90 m de largura, em que foram transplantadas 28 plantas, sendo utilizadas as oito plantas centrais como parcela útil.

O sistema de irrigação instalado foi o de gotejamento, sendo os emissores integrados ao tubo, modelo Taldrip da Naandan-Jain com vazão nominal de $1,70 \text{ L h}^{-1}$, distanciados a 0,30 m entre si. Foram utilizadas válvulas de comando elétrico (solenoides), acionadas por meio de um Controlador Lógico Programável, previamente programado, para funcionar o tempo necessário em cada irrigação, visando repor a lâmina de água necessária. A irrigação por pulsos consistiu no parcelamento da lâmina de irrigação, em seis vezes, com intervalos iguais equivalentes a um sexto do tempo de irrigação diário. Como exemplo, para um tempo de irrigação diário de 30 minutos, foram feitas seis irrigações com 5 minutos de duração e intervalo de 5 minutos entre cada irrigação.

Foi utilizada a cultivar de tomate italiano BS II 0020[®] da empresa Blue Seeds do Brasil Pesquisa, Desenvolvimento e Comércio LTDA. As mudas do tomateiro foram transplantadas em fileiras duplas com espaçamento de 0,35 x 0,90 m; os corredores entre as fileiras foram espaçados de 2,80 m, nas quais foram instalados tubos gotejadores sob o filme plástico de dupla face (branco/preto) com a face branca voltada para cima, nos tratamentos com cobertura.

Depois do transplântio, foram realizadas irrigações diárias visando favorecer o pegamento das mudas. O manejo da irrigação foi realizado, de acordo com a leitura dos tensiômetros instalados a 0,20 m, nos sete setores da propriedade. Por se tratar de uma lavoura comercial, as leituras dos tensiômetros foram realizadas pelos funcionários às 7 horas da manhã,

em todos os setores, posteriormente, era calculada uma média de leitura e, a partir desta, era definido o tempo de irrigação. Buscou-se irrigar todos os setores com o mesmo tempo de irrigação diária não ultrapassando o limite da tensão crítica de água no solo (20 kPa). As irrigações eram realizadas entre o período de 8 h às 18 horas.

O experimento correspondeu a uma pequena área (108 m²) de cada setor (aproximadamente, 2,80 hectares), sendo instalado, no centro de uma parcela, por tratamento, três tensiômetros, a 0,20 m profundidade e distanciados a 0,10, 0,30 e 0,50 m do emissor, com o objetivo de monitorar o potencial matricial de água no solo. Embora o manejo da irrigação não tenha sido realizado, a partir da curva de retenção, ela foi determinada, a 0,20 m, com o objetivo de identificar possíveis problemas de aeração no solo e foi ajustada ao modelo de van Genuchten (1980):

$$\theta = 0,293 + \frac{0,216}{[1 + (0,680 \times |\Psi_m|)^{1,376}]^{0,273}}$$

em que:

θ - umidade com base em volume, cm³ cm⁻³

Ψ_m - potencial matricial de água no solo, kPa.

As plantas foram conduzidas com haste única, tutoramento e desbrota. O controle de doenças e pragas foi feito, de acordo com as recomendações convencionais com aplicações de fungicidas e inseticidas, conforme as necessidades da cultura. As colheitas tiveram início 78 dias após o transplante e foram realizadas de acordo com a maturação fisiológica dos frutos.

Foram avaliadas as seguintes variáveis respostas:

-Potencial matricial de água no solo (Ψ_m): obtido a partir das leituras dos tensiômetros em cada parcela, expresso em -kPa.

-Altura de planta: avaliada, na época de pleno florescimento (57 dias após o transplante), mensurada com auxílio de uma fita métrica. Os resultados foram expressos em metros (m).

-Produtividade total: resultante do produto da massa média dos frutos totais pelo número de frutos por planta e pelo número de plantas por hectare (14400 plantas por hectare), em cada parcela, durante 14 colheitas realizadas entre 7 de dezembro de 2016 e 9 de janeiro de 2017, expressa em $t\ ha^{-1}$.

-Produtividade comercial: obtido pela diferença entre a produtividade total e produtividade não comercial; frutos danificados, inclusive, aqueles com rachaduras, com podridão apical ou com danos causados por insetos foram considerados não comerciais, expressa em $t\ ha^{-1}$.

-Número de frutos por planta: contabilizado ao longo das colheitas.

-Massa média de frutos: obtida pela divisão da massa fresca total de frutos, colhidos em cada parcela, pelo seu respectivo número de frutos, durante todo o período de colheita, expressa em $g\ fruto^{-1}$.

-Eficiência de uso de água: relação entre a produtividade comercial e o volume total de água aplicado em cada tratamento; expressa em $kg\ m^{-3}$.

-Eficiência econômica de água (EEA): obtida a partir do produto da produtividade comercial de cada parcela, pelo preço mais comum, nos últimos 10 anos, do tomate italiano tipo extra, comercializado na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo em Campinas. Expressa em $US\$\ m^{-3}$.

$$EEA = \frac{\frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}$$

Para a estimativa do custo para automação do sistema de irrigação, foi considerada uma área de 20 ha com 7 setores, sendo os materiais utilizados: um controlador, 7 válvulas solenoides e tubo de comando (microtubo 5/8), o custo por hectare seria em torno de 300,00 reais.

Já um hectare com o plástico dupla face preto/branco, já instalado, ficaria em torno de R\$ 1.500,00 por hectare, considerando a mão de obra, consumo de combustível do trator utilizado e valor de mercado do plástico.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F, comparadas as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR, versão 4.6 (Ferreira 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O potencial matricial variou, ao longo do ciclo da cultura (Figura 2), mantendo-se dentro dos limites recomendados para a cultura do tomateiro. Marouelli (2008) apresenta as tensões de água no solo, em que se deve promover a irrigação para diversas hortaliças e, para a cultura do tomateiro irrigado por gotejamento, a irrigação deve ser iniciada, quando a tensão de água no solo atingir entre 20 e 40 kPa.

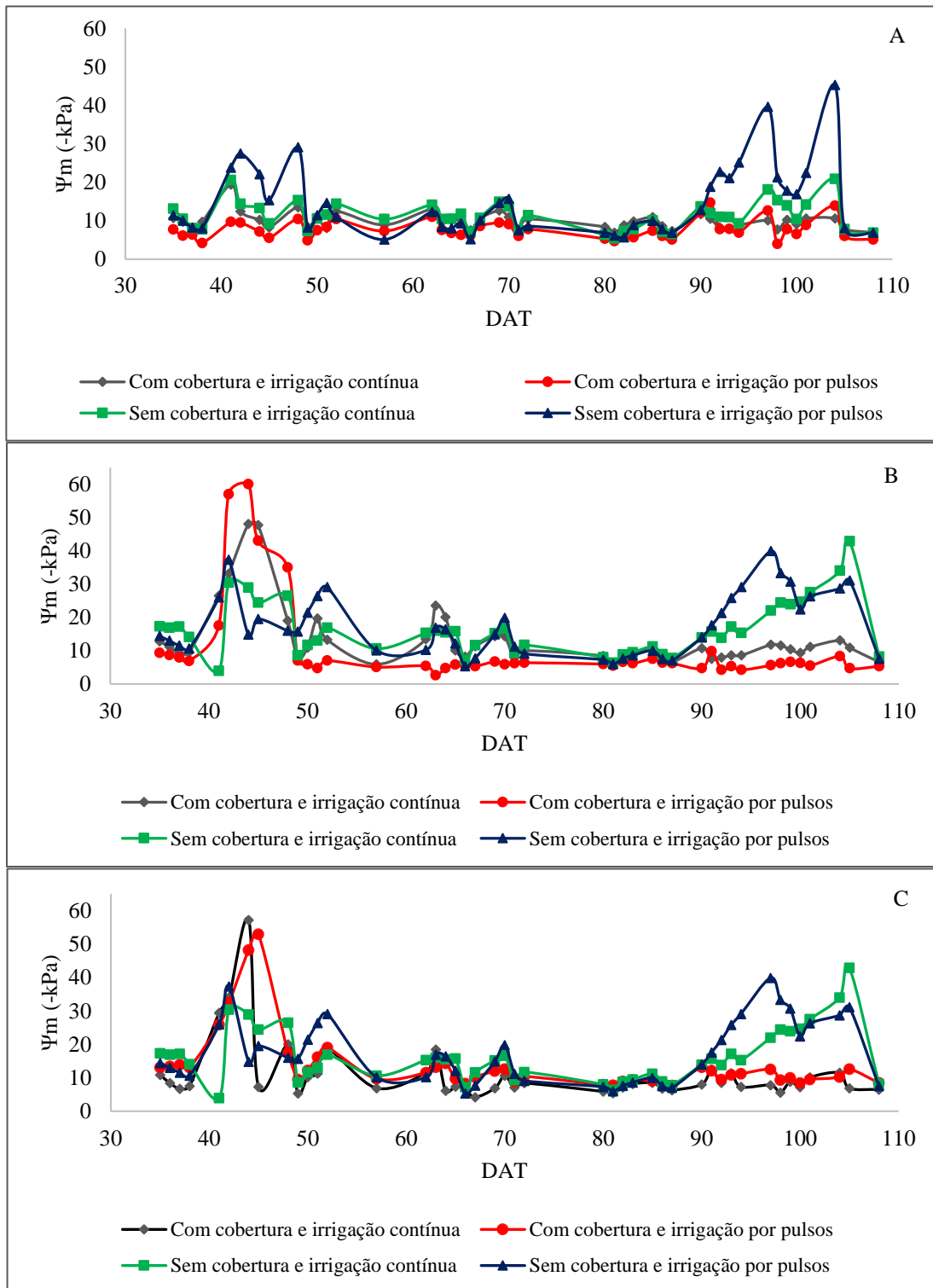


Figura 2 Potencial matricial da água no solo a 0,20 m de profundidade e a 0,10 m (A), 0,30 m (B) e a 0,50 m (C) de distância do emissor dos tratamentos com cobertura (IC), com cobertura (IP), sem cobertura (IC) e sem cobertura (IP).

Foi comprovado por Hartz e Hanson (2009), Moreira et al. (2012) e Rodrigues et al. (2016), os quais, nestes últimos estudaram a influência de seis tensões de água no solo sobre o desenvolvimento do tomateiro “Dominador F1”, em ambiente protegido que observaram que a tensão de água no solo, a 0,20 m de profundidade, deve ser mantida em torno de 20 kPa para maior altura de planta, número de cachos e número de frutos.

A demanda máxima de água pelo tomateiro ocorre durante a floração e o crescimento dos frutos e grandes oscilações na umidade do solo podem provocar rachadura dos frutos (Alvarenga et al. 2013), o que não ocorreu nesta pesquisa.

O potencial matricial determinado, a partir dos tensiômetros localizados a 0,30 e 0,50 m do emissor, teve comportamento semelhante (Figuras 2B e 2C). Marouelli e Silva (2006) avaliaram seis regimes de irrigação, com turnos de rega entre 0,25 e 8 dias. Os autores verificaram que, para o manejo de irrigação baseado no teor de água no solo, o Ψ_m crítico associado ao turno de rega que maximizou a produtividade, avaliado a 0,20 m de profundidade, foi de -10 kPa.

Farias et al. (2015), estudando o efeito da cobertura plástica no solo na produção da alface, afirmam que as umidades nos tratamentos com cobertura plástica permaneceram próximas à capacidade de campo, fato que salienta a importância do uso de técnicas que trazem benefícios à produção agrícola e à economia no uso da água.

Não foi observada diferença significativa na altura das plantas para as diferentes formas de cobertura do solo e frequência de irrigação (Tabela 1). Em alguns trabalhos, também, não se observaram diferença na altura de plantas, como Ngouajio et al. (2007), que avaliaram a cv. ‘Mountain Spring’, em Michigan (EUA), para tomateiro cultivado sob filme plástico preto. Bogiani et al. (2008), também, não detectaram diferença para altura de planta, utilizando filme plástico branco e solo sem cobertura, o que corrobora com o obtido neste estudo.

Pires et al. (2009) não apontaram diferença, na altura de planta do tomateiro, aos 99 dias após o transplântio, quando a irrigação foi realizada parcelada em até 5 vezes ao dia.

Houve interação entre a cobertura do solo e frequência da irrigação para a produtividade total, produtividade comercial, número de frutos por planta, eficiência de uso de água e eficiência econômica de água, demonstrando que há dependência entre os fatores. A interação entre tipos de cobertura do solo e frequência de irrigação não causou efeito significativo sobre a massa média de frutos (Tabela 1).

Tabela 1 Resumo do quadro de análise de variância para altura das plantas (m), massa média de fruto (g fruto⁻¹), número de frutos por planta, produtividade total (t ha⁻¹), produtividade comercial (t ha⁻¹), eficiência de uso de água (kg m⁻³) e eficiência econômica de água (US\$ m⁻³) do tomateiro, Ingaí-MG, 2017.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios						
		Altura das plantas	Massa média de frutos	Frutos por planta	Produtividade total	Produtividade comercial	Eficiência de uso de água	Eficiência econômica de água
Frequência (F)	1	0,0000 ^{ns}	0,8214 ^{ns}	6,2833 ^{ns}	17,0522 ^{ns}	24,7051 ^{ns}	10,8272 ^{ns}	6,0000 ^{ns}
Cobertura do solo (CS)	1	0,0007 ^{ns}	174,4204 [*]	4,2168 ^{ns}	111,6722 [*]	68,9865 ^{ns}	30,2851 ^{ns}	16,7334 ^{ns}
F x CS	1	0,0000 ^{ns}	137,6646 ^{ns}	57,9082 ^{**}	105,1272 [*]	110,4675 [*]	48,4504 [*]	26,7548 [*]
F x Com cobertura	1	-	-	13,0208 ^{ns}	18,7500 ^{ns}	15,3454 ^{ns}	6,7350 ^{ns}	3,7074 ^{ns}
F x Sem cobertura	1	-	-	51,1707 ^{**}	103,8928 [*]	119,8272 [*]	52,5427 [*]	29,0474 [*]
CS x Por pulsos	1	-	-	15,4360 ^{ns}	0,0494 ^{ns}	2,4300 ^{ns}	1,0621 ^{ns}	0,5852 ^{ns}
CS x Contínua	1	-	-	46,6891 ^{**}	216,7500 ^{**}	177,0240 ^{**}	77,6734 ^{**}	42,9030 ^{**}
Erro	20	0,0024	36,9567	5,3124	20,8928	21,4243	9,4005	5,1939
Média		1,29	137,12	23,26	47,45	45,85	30,37	22,58
C. V. (%)		3,77	4,43	9,91	9,63	10,10	10,09	10,09

** ; * Significativo a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} = não-significativo.

O tomate comercial, para consumo “in natura”, é valorizado, principalmente pelo peso, sendo este um atributo importante comercialmente. Houve diferença do efeito da cobertura do solo sobre a massa média de frutos do tomateiro, independente da frequência de irrigação utilizada (Tabela 1). As plantas cultivadas no solo com cobertura produziram frutos de maior massa, com média de 139,82 g fruto⁻¹ (Tabela 2).

Ngouajio et al. (2007) obtiveram massa média de frutos de 266,3 g para a cv. “Mountain Spring”, cultivado com filme plástico preto, valor superior ao obtido nesta pesquisa, provavelmente, em função da variedade cultivada, uma vez que existe uma grande variedade de cultivares distribuídos nos diversos grupos do fruto. Por outro lado, em trabalho realizado por Bogiani et al. (2008), a cobertura do solo tanto com plástico branco quanto preto não afetou a massa média dos frutos de tomate “Duradoro”.

A irrigação por pulsos não influenciou a massa média de frutos (Tabela 1). Os resultados obtidos, nesta pesquisa, estão de acordo com Warner et al. (2009), os quais relatam que a irrigação por pulsos não influenciou no tamanho de frutos da variedade “Sebering”.

Tabela 2 Médias da massa média de frutos (g fruto⁻¹) para o tomateiro, no solo com e sem cobertura plástica, Ingaí-MG, 2017

Cobertura do solo	Massa média de frutos
Com cobertura	139,82 a
Sem cobertura	134,43 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Ocorreu interação entre a cobertura do solo e frequência de irrigação no número de frutos por planta (Tabela 1). Esse resultado não está de acordo com o obtido por Bogiani et al. (2008), que não encontraram diferença no número de frutos por área, quando o tomateiro foi cultivado em solo com cobertura de filme de polietileno branco e preto e sem cobertura do solo.

As plantas cultivadas nos tratamentos sob irrigação contínua e solo com cobertura produziram 24,72 frutos (Tabela 3), valor abaixo do obtido por Pires et al. (2009), que não observaram diferença da irrigação efetuada em uma única operação ou fracionando-a em até cinco vezes, ao longo do dia, no número de frutos por planta, do híbrido “Sahel”, cultivado em substrato, com média de 56,7 frutos por planta.

Tabela 3 Médias das produtividades total ($t\ ha^{-1}$) e comercial ($t\ ha^{-1}$), do número de frutos por planta, da eficiência de uso de água ($kg\ m^{-3}$) e eficiência econômica de água ($US\$\ m^{-3}$) para o tomateiro cultivado em solo com e sem cobertura plástica sob irrigação contínua e por pulsos, Ingaí-MG, 2017.

	Produtividade total	
	Irrigação contínua	Irrigação por pulsos
Com cobertura	50,86 aA	48,36 aA
Sem cobertura	42,36 bB	48,23 aA
	Produtividade comercial	
	Irrigação contínua	Irrigação por pulsos
Com cobertura	48,68 aA	46,41 aA
Sem cobertura	41,00 bB	47,32 aA
	Número de frutos por planta	
	Irrigação contínua	Irrigação por pulsos
Com cobertura	24,72 aA	22,64 aA
Sem cobertura	20,77 bB	24,90 aA
	Eficiência de uso de água	
	Irrigação contínua	Irrigação por pulsos
Com cobertura	32,24 aA	30,75 aA
Sem cobertura	27,16 bB	31,34 aA
	Eficiência econômica de água	
	Irrigação contínua	Irrigação por pulsos
Com cobertura	23,97 aA	22,86 aA
Sem cobertura	20,19 bB	23,30 aA

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Foi observada interação entre a cobertura do solo e frequência de irrigação para a produtividade total (Tabela 1). A produtividade total obtida, quando o solo estava com

cobertura e sob irrigação contínua, foi de 50,86 t ha⁻¹ (Tabela 3); em comparação, Ngouajio et al. (2007) obtiveram produtividade de 106,50 t ha⁻¹, para o tomateiro ‘Mountain Spring’, cultivado sob filme plástico preto e irrigado por gotejamento desde o transplântio. Branco et al. (2010) avaliaram o desempenho produtivo do tomateiro, em diferentes ambientes e observaram que o tomateiro foi mais produtivo, quando utilizado “mulching”, independentemente do sistema de irrigação utilizado. Campagnol et al. (2014) verificaram que o uso de plástico preto aumentou a produtividade do tomateiro em 11,75 %, quando comparado aos frutos produzidos em solo nu.

A média da produtividade total foi de 47,45 t ha⁻¹, valor abaixo da média nacional do ano de 2015, que, segundo o IBGE (2016), foi de 65,87 t ha⁻¹. O ciclo da cultura foi reduzido (111 dias), em função da alta incidência de doenças, principalmente, bacterianas; isto ocorreu em decorrência da época de desenvolvimento do experimento, na estação primavera-verão, o que pode ter contribuído para uma baixa produtividade do tomateiro.

Warner et al. 2009 estudaram a variedade “Sebering”, no estado do Kentucky (EUA), sob cobertura de plástico preto e variação da frequência de irrigação e determinaram que os tratamentos com irrigação por pulsos reduziram 40% do consumo de água, mas não influenciaram no rendimento do tomateiro, sugerindo que a quantidade de água aplicada pode ser reduzida sem afetar sua produtividade.

Houve interação entre a frequência de irrigação e a cobertura do solo para produtividade comercial (Tabela 1). O aumento da produtividade comercial com uso de cobertura plástica foi relatado por Campagnol et al. (2014), ao constatarem o aumento das produtividades total e comercial do tomateiro, para o híbrido San Vito, sob cobertura plástica do solo. Por outro lado, em trabalho realizado por Bogiani et al. (2008), a cobertura do solo, tanto com plástico branco quanto preto não afetou a produtividade média de tomate “Duradoro”.

Já o uso da irrigação com oito pulsos diários de 20 minutos cada, proporcionou uma maior produtividade comercial do tomate ‘Sebering’, nos Estados Unidos (Warner et al. 2009).

Houve interação da cobertura do solo e frequência de irrigação para a eficiência de uso de água (Tabela 1). Quando a irrigação foi contínua no solo com cobertura, a eficiência de uso de água foi de $32,24 \text{ kg m}^{-3}$. O aumento da eficiência de uso da água, em batata, com o uso da irrigação por pulsos, é relatado por Bakeer et al. (2009) e Abdelraouf et al. (2012).

Almeida et al. (2015), estudando a cultura da alface, em ambiente protegido, salientaram que o gotejamento por pulsos proporcionou a economia de 25% de água, no tratamento sem cobertura plástica e a economia de 50% de água, no tratamento com cobertura plástica do solo, o que resultou no aumento da eficiência de uso de água.

Singh et al. (2016) obtiveram eficiência de uso de água para o tomateiro irrigado sob filme plástico preto igual a $10,57 \text{ kg m}^{-3}$. Já a eficiência de uso de água na cultura do pimentão irrigado com 10 pulsos diários foi de $9,88 \text{ kg m}^{-3}$ (Assouline et al. 2006). Segundo os mesmos autores, a irrigação por pulsos pode reduzir a perda de água abaixo da zona radicular das culturas, com uma frente de molhamento pouco profunda, logo após a irrigação, o que pode aumentar a eficiência de uso de água.

Com base no consumo de água, para se alcançar uma determinada produtividade de uma atividade e do preço do mercado do produto gerado, torna-se possível conhecer a eficiência econômica da atividade em preço. Houve interação entre a cobertura do solo e a frequência de irrigação na eficiência econômica de água no tomateiro (Tabela 1).

Durante o ciclo desta cultura, foram registrados 306 mm de chuva. Se considerarmos a ausência de percolação profunda e de escoamento superficial, o tomateiro teria utilizado, ao longo do seu ciclo, 306 mm de chuva e 151 mm de irrigação, totalizando 457 mm. Esta consideração faz com que a eficiência econômica seja reduzida em, aproximadamente, 67%, o que transformaria, por exemplo, eficiência econômica de água de $22,50 \text{ US\$ m}^{-3}$ para $7,50$

22,50 US\$ m⁻³, comparado com Feitosa et al. (2008), que apresentam dados de eficiência econômica de algumas culturas produzidas por irrigação, no Nordeste brasileiro e os maiores valores de eficiência econômica citados são, para a cultura da manga, que proporciona 3,00 US\$ m³ e da uva, que proporciona 6,10 por US\$ m³ de água utilizada. Singh et al. (2016) estimaram uma eficiência econômica de 5,64 US\$ m⁻³ para a cultura do tomate irrigado por gotejamento sob filme plástico preto.

A Agência Nacional de Águas (2003) apresenta valores de produtividade e consumo de água da agricultura irrigada, no Projeto Nilo Coelho da Bacia do São Francisco, na qual foi possível calcular a eficiência econômica das culturas, destacando-se com os maiores valores de eficiência econômica as culturas da batata com 3,06 R\$ m⁻³; da goiaba com 2,93 R\$ m⁻³, da uva com 2,59 R\$ m⁻³ e do maracujá com 1,83 R\$ m⁻³.

Na mesma publicação, a ANA apresenta a demanda, em m³ ha⁻¹ safra⁻¹, para a produção de algumas culturas no Brasil. Para o tomate produzido em Minas Gerais irrigado por sulco, a demanda foi de 3822 m³ ha⁻¹, considerando uma produtividade média de 50,00 t ha⁻¹ e preço médio de 1600,00 R\$ t⁻¹. A eficiência econômica do tomateiro produzido em Minas Gerais seria igual de 20,93 R\$ m⁻³. Considerando a cotação do dólar igual a 3,00 reais, a eficiência econômica obtida seria de 6,98 US\$ m⁻³, valor inferior ao obtido, neste trabalho, o que pode ser em função do menor consumo de água nesta pesquisa.

Tem-se que a produtividade, o preço no mercado, bem como o consumo de água pela cultura influenciam na eficiência econômica de água. Em sistemas de irrigação como o gotejamento, não há a necessidade de irrigar toda a área, podendo a porcentagem de área molhada chegar a 50%, o que possibilita um menor consumo de água. Hamdan et al. (2006) apresentam dados de produtividade e consumo de água de algumas culturas produzidas na Síria, Marrocos, Irã, Jordânia e Líbano, destacando-se o consumo de água da cultura do algodão, que variou de acordo com o sistema de irrigação utilizado, de 0,37; 0,49 e 0,74 kg m⁻³ para os

sistemas de irrigação por superfície, aspersão e localizada, respectivamente. Percebe-se que o sistema de irrigação por superfície consome o dobro de água, quando comparado ao sistema de irrigação localizada, para produzir a mesma quantidade de algodão. Conseqüentemente, a eficiência econômica de água será o dobro, ao utilizar-se de sistema de irrigação localizada como o gotejamento, em vez do uso de sistemas de irrigação por superfície, no caso da irrigação por sulco.

Considerando o custo que envolve a utilização destas tecnologias, ou seja, o uso de cobertura plástica no solo e/ou a automação do gotejamento, para realizar a irrigação por pulsos, o plástico já instalado tem um custo superior à automação. Os resultados obtidos, nestas condições da pesquisa, mostram que, se o produtor optar pelo uso de cobertura plástica no solo, recomenda-se fazer irrigação contínua. Já para o tomateiro cultivado em solo nu, recomenda-se o uso da irrigação por pulsos.

Mas a realização de trabalhos futuros é necessária, para avaliar os efeitos da cobertura plástica e irrigação por pulsos sobre o potencial osmótico de água no solo, componente de grande importância no potencial total, principalmente, em lavouras nas quais são requeridas altas dosagens de adubação em cobertura, como na tomaticultura.

CONCLUSÕES

O uso de cobertura plástica associado à irrigação contínua proporcionou um maior número de frutos por planta, maiores produtividades total e comercial, maior eficiência de uso de água e maior eficiência econômica de água.

A irrigação por pulsos realizada no solo nu aumentou o número de frutos por planta, as produtividades total e comercial, a eficiência de uso de água e a eficiência econômica de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Universidade Federal de Lavras. E à empresa Zé Amparo Zil comércio de tomates.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELRAOUF, R. E.; ABOU-HUSSEIN, S. D.; REFAIE, K. M.; EL-METWALLY, I. M. Effect of pulse irrigation on Clogging Emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 6(3): 807-816, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Estudos econômicos específicos de apoio à implantação da cobrança para os setores agropecuário, industrial e hidrelétrico: Estudos de Apoio à implantação de agências de cobrança pelo uso da água aplicados à Bacia do Rio Paraíba do Sul**. FGV: CIDS, 2003. 50 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Agencias/Textos/Oficina-PCJ_Relatorio_Impacto.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2017.
- ALMEIDA, W. F.; LIMA, L. A.; PEREIRA, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. **Engenharia Agrícola**, 35(6): 1009-1018, 2015.
- ALVARENGA, M. A. R., LIMA, L. A., FAQUIN, V. E PEREIRA, G. M. Irrigação e fertirrigação. In: ALVARENGA, M. A. R. (ed). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. 2.ed, p.131-180.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köpen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6): 711-728, 2013.
- ASSOULINE, S.; MÖLLER, M.; COHEN, S.; BEM-HUR, M.; GRAVA, A.; NARKIS, K.; SILBER, A. Soil-plant system response to pulsed drip irrigation and salinity: bell pepper case study. **Soil Science Society of America Journal**, 70: 1556-1568, 2006.
- BAKEER, G. A. A.; EL-EBABI, F. G.; EL-SAIDI, M. T.; ABDELGHANY, A. R. E. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in Sandy soils. **Irrigation and Drainage**, 26(2): 736-765, 2009.

BASTOS, A. R. R.; ALVARENGA, M. A. R.; CARVALHO, J. G.; PINHO, P. J. Nutrição mineral e adubação. In: ALVARENGA, M. A. R. (ed). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. 2.ed, p.63-130.

BOGIANI, J. C.; ANTON, C. S.; SELEGUINI, A.; FARIA JÚNIOR, M. J. A.; SENO, S. Poda apical, densidade de plantas e cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro em cultivo protegido. **Bragantia**, 67(1): 145-151, 2008.

BRANCO, R. B. F.; SANTOS, L. G. C.; GOTO, R.; ISHIMURA, I.; SCHLICKMANN, S.; CHIARATI, C. Cultivo orgânico sequencial de hortaliças com dois sistemas de irrigação e duas coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, 28(1): 75-80, 2010.

CAMPAGNOL, R.; ABRAHÃO, C.; MELLO, S. C.; OVIEDO, V. R. S.; MINAMI, K. Impactos do nível de irrigação e da cobertura do solo na cultura do tomateiro. **Irriga**, 19(3): 345-357, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim Hortigranjeiro**. 2(12), 2016. Disponível em: <http://www.ceasa.gov.br/dados/publicacao/Boletim_Hortigranjeiro_Dezembro_2016.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2017.

EID, A.R.; BAKRY, B. A.; TAHA, M. H. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under Sandy soil conditions. **Agricultural Sciences**. 4(5): 249-261, 2013.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. Ed. Revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, 38(2): 109-112, 2014.

FREITAS, D. B. S.; LUCAS, A. A. T.; MOREIRA, M. A.; NASCIMENTO, L. F. A.; SÁ FILHO, J. C. F. Avaliação da umidade do solo em função da presença de matéria orgânica e

cobertura do solo no cultivo da alface crespa (*Latuca sativa* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9(5): 287-291, 2015.

HAMDAN, I.; OWEIS, T.; HAMDALLAH, G. (eds.). **AARINENA Water use efficiency network**: Proceedings of the expert consultation meeting, 26-27 November 2006, Aleppo, Syria. ICARDA, Aleppo, Syria. 244 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Theib_Oweis/publication/266893391_AARINENA_water_use_Efficiency_network_proceedings_of_the_expert_consultation_Meeting/links/543e4c640cf25d6b1ad979b7.pdf?origin=publication_detail>. Acesso em: 30 abr. 2017.

HARTZ, T.; HANSON, B. **Drip irrigation and fertigation management of processing tomato**. Davis: University of Calofornia: Vegetable Research and Information Center, 2009. 11 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento Sistemático de produção Agrícola: pesquisa mensal de prevenção e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. **Levantamento Sistemático de Produção Agrícola**, 29(11): 1-82, 2016.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 15 p, 2008.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, 24(3): 342-346, 2006.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L.C. **Tensões limite de água no solo para o cultivo do tomateiro para processamento irrigado por gotejamento**. Brasília: Embrapa Hortaliça, 17 p, 2008.

MORAIS, E. R. C., MAIA, C. E., NEGREIROS, M. Z., ARAÚJO JUNIOR, B. B. E MEDEIROS, J. F. Crescimento e produtividade do meloeiro Goldex influenciado pela cobertura do solo. **Scientia Agraria**, 9, 129-137, 2008.

- MOREIRA, J. A. A.; CARDOSO, A. F.; COSTA, L. L.; RODRIGUES, M. S.; PEIXOTO, N.; BRAZ, L. T. Manejo da irrigação para otimização da produtividade e qualidade de frutos de tomateiro em sistema de plantio direto. **Irriga**, 17(4): 408-417, 2012.
- NGOUAJIO, M.; WANG, G.; GOLDY, R. Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. **Agricultural Water Management**, 87: 285-291, 2007.
- PIRES, R. C. M.; FURLANI, P. R.; SAKAI, E.; LOURENÇÃO, A. L.; SILVA, E. A.; TORRE NETO, A.; MELO, A. M. T. Desenvolvimento e produtividade do tomateiro sob diferentes frequências de irrigação em estufa. **Horticultura Brasileira**. 27(2): 228-234, 2009.
- RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; SILVA, N. K. C.; PACHECO, F. E. D.; PAREIRA, G. M. Efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o desenvolvimento inicial do tomateiro. **Enciclopédia Biosfera**, 13(23): 530-539, 2016.
- SAMPAIO, R. A.; ARAÚJO, W. F. Importância da cobertura plástica do solo sobre o cultivo de hortaliças. **Agropecuária Técnica**, 22(1): 1-12, 2001.
- SINGH, R.; KUMAR, S.; NANGARE, D. D.; MEENA, M. S. Performance of drip irrigation tomato. In: GOYAL, M. R. (Ed). **Applications of furrow and micro irrigation in arid and semi-arid regions**. Canadá: Apple Academic Press, 2016. p.161-169. 2016. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=v-z5CQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=true>>. Acesso em: 21 mar. 2017.
- VAN GENUCHTEN, M. T. VAN. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, 44:892-898, 1980.
- WARNER, R.; HOFFMAN, O.; WILHOIT, J. **The effects of pulsing drip irrigation on tomato yield and quality in kentucky**. 2009. Disponível em: <<http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/pr/pr603/pr603.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2017.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; MOTA, J. H. Cultivo de morangueiro sob diferentes tipos de mulching. **Horticultura Brasileira**, 30(3): 424-427, 2012.

**ARTIGO 3 - POTENCIAL OSMÓTICO E MATRICIAL DE ÁGUA NO SOLO NO
TOMATEIRO COMERCIAL IRRIGADO COM MULCHING**

***SOIL OSMOTIC AND MATRIC POTENTIAL OF COMMERCIAL TOMATO
IRRIGATED WITH PLASTIC MULCHING***

(VERSÃO PRELIMINAR)

Artigo redigido nas normas da *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.

Resumo: Nos dias atuais, em que o interesse pelo melhor aproveitamento dos recursos hídricos, torna-se necessário utilizar métodos de irrigação que visam à economia de água e ao aumento da produtividade. Com isso, objetivou-se com este trabalho avaliar o potencial osmótico e as características produtivas do tomateiro irrigado com cobertura plástica e duas lâminas de irrigação. O experimento foi conduzido em uma lavoura comercial no município de Ingá-MG. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 com dois tipos de cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas lâminas de irrigação (167 mm e 206 mm) com seis repetições. O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, sendo cultivado tomate italiano cv. BS II 0020 e avaliadas as seguintes variáveis: potencial matricial de água no solo, potencial osmótico de água no solo, altura das plantas, produtividades total e comercial, número de frutos por planta, massa média de fruto e eficiência de uso de água. O potencial matricial se manteve dentro dos limites citados na literatura. Nos tratamentos com cobertura plástica, o potencial osmótico sempre se manteve maior nos tratamentos sem cobertura plástica. As fontes de variação não interferiram na massa média de fruto. Houve interação entre a lâmina e a cobertura do solo para as variáveis: frutos por planta, produtividades total e comercial e eficiência de uso de água. A maior lâmina aplicada proporcionou a maior produtividade comercial do tomateiro.

Palavras chave: *Solanum lycopersicum* L., cobertura plástica, produtividade, eficiência de uso de água, condutividade elétrica da solução do solo.

ABSTRACT: Nowadays, the interest in the best use of water resources makes it necessary to use irrigation methods that aim at saving water and increasing productivity at the same time. The aim of this study was to evaluate the osmotic potential and the productive characteristics of the irrigated tomato with plastic mulch two water depths. The experiment was developed in commercial crop the municipality of Ingaí, MG, Brazil. The experimental design was completely randomized in a 2x2 factorial design with two types of soil mulch (without and with plastic mulch) and two water depths (167 mm and 206 mm) with six replications. The used irrigation system was the drip irrigation, being cultivated Italian cv. BS II 0020 e variables were evaluated: matric potential, osmotic potential, plant height, total and commercial productivity, number of fruits per plant, average fruit mass, and water use of efficiency. Soil water stress remained within the limits reported in the literature. In treatments with plastic mulch, the osmotic potential always remained higher to treatments without plastic mulch. The sources of variation did not interfere in the average fruit mass. There was interaction between the water depth and soil mulch for the variables: fruits per plant, total and commercial productivity, and water use efficiency. The largest applied water depth resulted in higher commercial productivity of the tomato.

KEYWORDS: *Solanum lycopersicum* L. Plastic mulch. Productivity. Water use of efficiency. Electrical conductivity of soil solution.

INTRODUÇÃO

O tomateiro é a segunda hortaliça cultivada no mundo. Segundo o IBGE (2016), no ano de 2015, a produção nacional de tomate foi de mais de 4,1 milhões de toneladas, o estado de Minas Gerais é terceiro produtor nacional com produtividade média de 73,36 t ha⁻¹.

Para se obter altas produtividades e frutos de boa qualidade, são necessárias tecnologias apropriadas, dentre as quais se destacam a cobertura do solo com filme plástico e a irrigação por gotejamento.

O uso de coberturas plásticas tem levado ao incremento de crescimento e produtividade em vários cultivos (Medeiros et al., 2006; Cantu et al., 2013; Almeida et al., 2015). Pesquisas mostram que a cobertura do solo com plástico aumentou a produtividade do tomateiro (Branco et al., 2010; Campagnol et al., 2014), do repolho (Branco et al., 2010) e do melão (Morais et al., 2008).

O monitoramento da concentração dos sais na solução do solo é uma técnica prática que visa ao controle da salinidade do solo e sua interação com o desenvolvimento das culturas. A contribuição dos sais em solução, para o potencial total é bastante significativa e cabe lembrar que a necessidade de aumentar a produtividade tem requerido altas dosagens de adubação de cobertura. Essas adubações tornam o potencial osmótico uma componente importante e não pode ser desprezada na estimativa do potencial total (Lima, 1997).

A partir disso, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o potencial osmótico e as características produtivas do tomateiro irrigado com cobertura plástica do solo e duas lâminas de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido, no período de janeiro a maio de 2017, em uma área comercial de tomateiro, no município de Ingaí-MG, 21° 25' 00,4" S e 44° 59' 14,5" O e 995 m de altitude. O clima da região é do tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, com verão úmido e inverno seco (Alvares et al., 2013). A precipitação total, durante o período experimental, foi de 283 mm.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa sendo a composição química na camada de 0-0,20 m: $\text{pH}_{(\text{água})} = 6,2$ $\text{P} = 13,84 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{K}^+ = 156 \text{ mg.dm}^{-3}$, $\text{Ca}^{2+} = 3,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Mg} = 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Al}^{3+} = 0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{H+Al} = 2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{M.O.} = 3,18 \text{ dag kg}^{-1}$, $\text{Prem} = 10,6 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{Zn} = 7,1 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Fe} = 37,4 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Mn} = 16,9 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Cu} = 1,7 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{B} = 0,6 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{S} = 5,8 \text{ mg dm}^{-3}$.

Foram realizadas a calagem e a adubação, com base na análise química do solo, seguindo as recomendações para a cultura. Na adubação mineral, antes do transplante, foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N; 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ de K₂O. As adubações em cobertura foram efetuadas, diariamente via fertirrigação, obedecendo aos estádios de desenvolvimento da cultura. Para tanto, utilizaram-se 190 kg ha⁻¹ de N, 158 kg ha⁻¹ de P₂O₅ kg ha⁻¹, 753 de K₂O, 257 kg ha⁻¹ de Ca, 47 kg ha⁻¹ de Mg, 70 kg ha⁻¹ de S, 2 kg ha⁻¹ de B e 2 kg ha⁻¹ de Zn.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 com dois tipos de cobertura do solo (sem e com cobertura plástica) e duas lâminas de irrigação com seis repetições. Cada parcela mediu 5,00 metros de comprimento e 0,90 m de largura, totalizando uma área experimental de 108 m², em que foram transplantadas 28 plantas, sendo utilizadas as oito plantas centrais como parcela útil.

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento e foram escolhidos gotejadores amplamente utilizados na irrigação do tomateiro: o Drip-Tech, com vazão de 1,3 L h⁻¹ a cada

0,30 m e o Aries™ Netafim com vazão de 1,6 L h⁻¹ a cada 0,30 m. Os modelos de gotejadores proporcionaram diferentes lâminas de irrigação, sendo, ao final do ciclo da cultura, uma lâmina de 167 mm aplicada pelo Drip-Tech e lâmina de 206 mm aplicada pelo Aries™ Netafim.

Após o transplântio, foram realizadas irrigações diárias visando favorecer o pegamento das mudas. O manejo da irrigação foi realizado, de acordo com a leitura dos tensiômetros instalados a 0,20 m nos setores da propriedade. Por se tratar de uma lavoura comercial, as leituras dos tensiômetros foram realizadas pelos funcionários às 7 horas da manhã, em todos os setores, posteriormente, era calculada uma média de leitura e, a partir desta, era definido o tempo de irrigação. Buscou-se irrigar todos os setores com o mesmo tempo de irrigação diária, não ultrapassando o limite da tensão crítica de água no solo (20 kPa). As irrigações eram realizadas entre o período de 8 h às 18 horas.

O experimento correspondeu a uma pequena área (108 m²) de cada setor (aproximadamente, 2,80 hectares), sendo instalado, no centro de cada parcela, um tensiômetro, a 0,20 m, com o objetivo de monitorar o potencial matricial de água no solo. Embora o manejo da irrigação não tenha sido realizado, a partir da curva de retenção, ela foi determinada, a 0,20 m, com o objetivo de identificar possíveis problemas de aeração no solo e foi ajustada ao modelo de van Genuchten (1980):

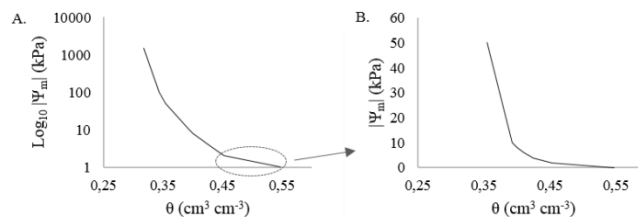


Figura 1. Curva de retenção do solo (1A.) e parte ampliada das tensões de 0 a 50 kPa da curva de retenção (1B.).

Foi utilizada a cultivar de tomate italiano BS II 0020[®] da empresa Blue Seeds do Brasil Pesquisa, Desenvolvimento e Comércio LTDA. As mudas do tomateiro foram transplantadas em fileiras duplas com espaçamento de 0,35 x 0,90 m, os corredores entre as fileiras são

espaçados de 2,80 m, nas quais foram instalados os tubos gotejadores sob o filme plástico de dupla face (branco/preto) com a face branca voltada para cima, nos tratamentos com cobertura.

Foram distribuídos nas parcelas quatro extratores de solução do solo, por tratamento, a 0,20 m de profundidade. A solução do solo foi coletada, uma vez por semana, no estágio de maturação dos frutos, a partir dos 69 dias após o transplântio. O valor do potencial osmótico foi determinado, a partir da condutividade elétrica da solução do solo (CE), como proposto por Richards (1954):

$$\Psi_{os} = -36 \cdot CE \quad \text{eq. 1}$$

em que

Ψ_{os} : potencial osmótico da solução do solo, -kPa;

CE: condutividade elétrica da solução do solo, dS m⁻¹.

As plantas foram conduzidas com haste única, tutoramento e desbrota. O controle de doenças e pragas foi feito, de acordo com as recomendações convencionais com aplicações de fungicidas e inseticidas, conforme as necessidades da cultura. As colheitas tiveram início 69 dias após o transplântio e foram realizadas de acordo com a maturação fisiológica dos frutos.

Foram avaliadas as seguintes variáveis respostas:

-Potencial matricial de água no solo (Ψ_m): obtido a partir das leituras dos tensiômetros em cada parcela, expresso em -kPa.

-Potencial osmótico (Ψ_{os}): estimado conforme equação 1, expresso em -kPa.

-Altura das plantas: avaliada na época de pleno florescimento (48 dias após o transplântio), mensurada com auxílio de uma fita métrica. Os resultados foram expressos em metros (m).

-Produtividade total: resultante do produto da massa média dos frutos totais pelo número de frutos por planta e pelo número de plantas por hectare (14.400 plantas por hectare) em cada parcela, durante 19 colheitas, realizadas entre 15 de março e 11 de maio de 2017, expressa em t ha⁻¹.

-Produtividade comercial: obtido pela diferença entre a produtividade total e produtividade não comercial; frutos danificados, inclusive, aqueles com rachaduras, com podridão apical ou com danos causados por insetos foram considerados não comerciais, expressa em $t\ ha^{-1}$.

-Número de frutos por planta: contabilizado ao longo das colheitas.

-Massa média por frutos: obtida pela divisão da massa fresca total de frutos, colhidos em cada parcela, pelo seu respectivo número de frutos, durante todo o período de colheita, expressa em $g\ fruto^{-1}$.

-Eficiência de uso de água: relação entre a produtividade comercial e o volume total de água aplicado em cada tratamento; expressa em $kg\ m^{-3}$.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F, compararam-se as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR, versão 4.6 (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O potencial matricial de água no solo variou ao longo do ciclo de desenvolvimento do tomateiro (Figura 2A.). Ele se manteve dentro dos limites citados na literatura; a recomendação é que a irrigação seja iniciada, quando a tensão de água no solo atingir entre 20 e 40 kPa para o tomateiro (Marouelli, 2008; Hartz & Hanson, 2009; Moreira et al., 2012; Rodrigues et al., 2016).

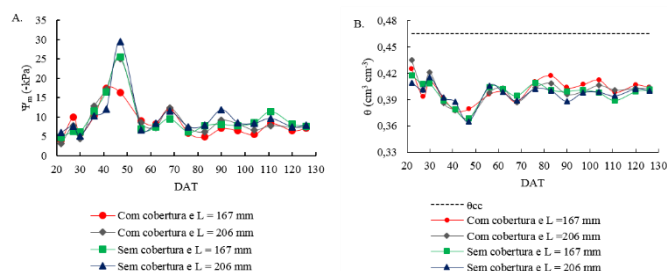


Figura 2. Potencial matricial de água no solo (2A.) e umidade do solo (2B.) observado durante o período experimental para o tomateiro, Ingaí-MG, 2017.

O tomateiro é uma hortaliça exigente em água, e a umidade do solo deve variar pouco, para evitar rachaduras nos frutos, podridão apical, queda de flores e ocorrência de frutos ocos (Alvarenga et al., 2013). Observa-se que a demanda hídrica da cultura foi suprida sem que ocorressem grandes variações no teor de água no solo (Figura 2B.).

O potencial osmótico foi influenciado pela cobertura plástica do solo (Tabela 1). Observa-se que, nos tratamentos com cobertura plástica, o potencial osmótico sempre se manteve maior àqueles medidos nos tratamentos sem cobertura plástica (Tabela 2). A cobertura plástica apresenta baixa permeabilidade aos gases e vapores de água, com isso, a evaporação é praticamente nula, desfavorecendo o fluxo ascendente, o que diminui o risco de salinização no solo.

O excesso de sais solúveis leva à redução do potencial osmótico da solução do solo, dificulta a absorção de água pela planta, causa desbalanço nutricional e afeta o desenvolvimento e produção das culturas (Duarte et al., 2015).

Tabela 1 Resumo do quadro de análise de variância para o potencial osmótico de água no solo aos 69, 77, 83, 90, 97, 104, 111, 120 e 126 dias após o transplante (DAT) do tomateiro, Ingaí-MG, 2017.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios para o potencial osmótico de água no solo (-kPa)								
		69 DAT	77 DAT	83 DAT	90 DAT	97 DAT	104 DAT	111 DAT	120 DAT	126 DAT
Cobertura do solo (CS)	1	105,06 ^{ns}	4924,88 ^{**}	2426,55 ^{**}	2141,52 ^{**}	4604,98 ^{**}	1191,46 ^{ns}	6376,42 ^{**}	4996,02 ^{**}	4896,85 ^{**}
Lâmina (L)	1	0,17 ^{ns}	121,72 ^{ns}	622,75 ^{ns}	765,21 ^{ns}	129,56 ^{ns}	1188,01 ^{ns}	57,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}	20,86 ^{ns}
CS x L	1	764,25 ^{ns}	349,60 ^{ns}	11,73 ^{ns}	2243,68 ^{**}	315,42 ^{ns}	385,63 ^{ns}	0,83 ^{ns}	154,32 ^{ns}	119,08 ^{ns}
CS x L = 167 mm	1	-	-	-	4367,39 ^{**}	-	-	-	-	-
CS x L = 206 mm	1	-	-	-	0,81 ^{ns}	-	-	-	-	-
L x Com cobertura	1	-	-	-	2814,75 ^{**}	-	-	-	-	-
L x Sem cobertura	1	-	-	-	194,14 ^{ns}	-	-	-	-	-
Erro	12	201,4432	80,2354	154,8558	167,4149	317,7666	515,3292	199,3199	345,8892	224,0936
Média		43,14	39,9	39,65	46,62	40,26	44,63	50,9631	55,4	64,56
C. V. (%)		32,90	22,45	31,38	27,75	44,28	50,87	27,7	33,57	23,19

** ; * Significativo a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} = não-significativo.

O tomateiro é uma planta classificada como moderadamente sensível à salinidade e, à medida que os sais se acumulam no solo, as raízes apresentam maior dificuldade de absorver água. O sintoma do efeito salino no tomateiro é caracterizado, inicialmente, por murchamento foliar, nos períodos mais quentes do dia, mesmo o solo com umidade adequada (Alvarenga et al., 2013).

Tabela 2 Valores médios do potencial osmótico da água no solo (-kPa) no estágio de maturação do tomateiro no solo sem e com cobertura plástica, Ingaí-MG, 2017.

Dias após o transplântio	Sem cobertura	Com cobertura
69	45,70 a	40,58 a
77	57,45 a	22,36 b
83	51,97 a	27,34 b
97	57,23 a	23,30 b
104	53,26 a	35,00 a
111	70,93 a	31,00 b
120	73,07 a	37,73 b
126	82,05 a	47,06 b
90 dias após o transplântio	Sem cobertura	Com cobertura
Lâmina = 167 mm	63,07 aA	16,34 bB
Lâmina = 206 mm	53,22 aA	53,86 aA

Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa entre altura das plantas, em função da cobertura do solo utilizada (Tabela 3), visto que o solo sem cobertura proporcionou a maior altura de planta (Tabela 4).

Já a variação da lâmina de irrigação não influenciou a altura das plantas do tomateiro. Em função das injúrias causadas nas plantas novas por aumento de temperatura, após cinco DAT, foi necessário refazer o transplântio nos tratamentos com cobertura. Isto pode ter contribuído para uma menor altura de planta nos tratamentos com cobertura plástica.

Tabela 3 Resumo do quadro de análise de variância para altura das plantas (m), massa média de frutos (g fruto⁻¹), número de frutos por planta, produtividade total (t ha⁻¹), produtividade comercial (t ha⁻¹) e eficiência de uso de água (kg m⁻³) do tomateiro, Ingaí-MG, 2017

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios					
		Altura das plantas	Massa média de frutos	Frutos por planta	Produtividade total	Produtividade comercial	Eficiência de uso de água
Cobertura do solo (CS)	1	165,3750 *	43,0676 ^{ns}	2,6667 ^{ns}	57,6290 ^{ns}	22,0992 ^{ns}	9,1390 ^{ns}
Lâmina (L)	1	0,0938 ^{ns}	18,4275 ^{ns}	96,0000 **	400,7385 **	561,3435 **	0,1457 ^{ns}
CS x L	1	6,0000 ^{ns}	0,6567 ^{ns}	13,5000 **	81,5859 *	71,3805 *	23,4630 *
CS x L = 167 mm	1	-	-	14,0833 **	138,1765 **	86,4570 *	30,9444 *
CS x L = 206 mm	1	-	-	2,0833 ^{ns}	1,0384 ^{ns}	7,0227 ^{ns}	1,6576 ^{ns}
L x Com cobertura	1	-	-	90,7500 **	421,9788 **	516,5344 **	9,9554 ^{ns}
L x Sem cobertura	1	-	-	18,7500 **	60,3457 ^{ns}	116,1896 *	13,6533 ^{ns}
Erro	20	34,4948	37,7708	1,6167	14,7499	16,4733	4,4867
Média		110,02	165,82	20,25	59,10	48,16	25,82
C. V. (%)		5,34	3,71	6,28	6,50	8,43	8,20

** ; * Significativo a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} = não-significativo.

Tabela 4 Médias da altura das plantas do tomateiro no o solo com e sem cobertura plástica, Ingaí-MG, 2017.

Tratamentos	Altura das plantas (m)
Com cobertura	107,40 b
Sem cobertura	112,65 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F (p ≤ 0,05).

Em outros trabalhos, que utilizaram cobertura plástica sobre o solo, não foram observadas diferenças significativas para altura de plantas, como Ngouajio et al. (2007), que avaliaram a cv. Mountain Spring, em Michigan (EUA), para tomateiro cultivado sob filme plástico preto; Bogiani et al. (2008), utilizando filme plástico branco e solo sem cobertura.

A massa média de frutos não foi influenciada pela cobertura do solo e nem pela variação da lâmina aplicada (Tabela 3). Em média, (165,82 g fruto⁻¹), os tomates produzidos estão dentro do padrão comercial, que é de 80 a 200 g para cultivares do tipo Santa Cruz (Alvarenga et al., 2013).

Ngouajio et al. (2007) obtiveram peso médio de frutos de 266,3 g, para a cv. Mountain Spring, cultivado com filme plástico preto, valor maior que o obtido nesta pesquisa, provavelmente, em função da diferença de variedade. Por outro lado, em trabalho realizado por Bogiani et al. (2008), a cobertura do solo, tanto com plástico branco quanto preto não afetou a massa média dos frutos de tomate “Duradoro”.

Quanto à variação de lâmina, os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com Campagnol et al. (2014), que estudaram o efeito de lâminas de irrigação sobre características produtivas do tomate e, também, não observaram efeito das lâminas, na massa média de frutos, com média de 106,90 g fruto⁻¹, para o híbrido San Vito, valor inferior ao obtido neste estudo.

Houve interação entre a lâmina aplicada e a cobertura do solo para a variável número de frutos por planta (Tabela 3). Quando foi aplicado a lâmina de 167 mm, as plantas cultivadas no solo sem cobertura produziram maior número de frutos, enquanto sob a lâmina de 206 mm, a cobertura do solo não interferiu sobre o número de frutos por planta. Tanto no solo com cobertura quanto no solo sem cobertura, quando foi aplicada a maior lâmina, o tomateiro produziu mais frutos por planta (Tabela 5).

Tabela 5 Médias de número de frutos por planta, produtividades total e comercial e eficiência de uso de água do tomateiro no solo com e sem cobertura e sob duas lâminas, Ingaí-MG, 2017.

	Frutos por planta	
	Lâmina = 167 mm	Lâmina = 206 mm
Com cobertura	17,17 bB	22,67 aA
Sem cobertura	19,33 aB	21,83 aA
	Produtividade total (t ha ⁻¹)	
	Lâmina = 167 mm	Lâmina = 206 mm
Com cobertura	51,62 bB	63,48 aA
Sem cobertura	58,40 aA	62,89 aA
	Produtividade comercial (t ha ⁻¹)	
	Lâmina = 167 mm	Lâmina = 206 mm
Com cobertura	40,64 bB	53,76 aA
Sem cobertura	46,01 aB	52,23 aA
	Eficiência de uso de água (kg m ⁻³)	
	Lâmina = 167 mm	Lâmina = 206 mm
Com cobertura	24,30 bA	26,12 aA
Sem cobertura	27,51 aA	25,37 aA

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Esse resultado não está de acordo com o obtido por Bogiani et al. (2008) que não encontraram diferença no número de frutos por área, quando o tomateiro foi cultivado em solo com cobertura de filme de polietileno branco e preto e sem cobertura do solo, e Campagnol et al. (2014), que observaram que o uso de cobertura plástica do solo e variação das lâminas aplicadas não influenciaram no número de frutos por planta do híbrido San Vito.

Houve interação entre a cobertura do solo e lâmina aplicada na produtividade total (Tabela 3). No desdobramento dos tratamentos com cobertura do solo, a maior produtividade foi obtida, quando foi aplicada a lâmina de 206 mm (Tabela 5).

Ngouajio et al. (2007) obtiveram produtividade de 106,5 t ha⁻¹ para o tomateiro cultivado sob filme plástico preto e irrigado desde o transplântio. Branco et al. (2010) avaliaram o desempenho produtivo do tomateiro, em diferentes ambientes e observaram que o tomateiro foi mais produtivo, no “mulching”, independentemente do sistema de irrigação utilizado. Campagnol et al. (2014) verificaram que o uso de cobertura plástica aumentou a produtividade do tomateiro em 11,75 %.

Segundo Yuri et al. (2014), o uso de cobertura plástica mantém a umidade do solo constante, favorecendo a atividade microbiana e maior mineralização do nitrogênio orgânico, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas nas camadas mais superficiais do solo.

Houve interação entre as fontes de variação para a produtividade comercial (Tabela 3). Observando a lâmina de 167 mm, o solo sem cobertura produziu maior produtividade comercial (Tabela 5).

Em trabalho realizado por Bogiani et al. (2008), a cobertura do solo, tanto com plástico branco quanto preto não afetou a produtividade média de tomate “Duradoro”.

O aumento da produtividade comercial, em função de maiores lâminas aplicadas, também, foi observado por Macêdo & Alvarenga (2005). Os autores verificaram que o aumento da lâmina de irrigação elevou a produtividade de frutos sadios e totais de tomate “Bônus” cultivado em ambiente protegido. Por outro lado, em trabalho desenvolvido por Monte et al. (2013), que estudaram a cv. Débora sob diferentes lâminas, não foi observada diferença na produtividade comercial do tomateiro, com média igual a 32,17 t ha⁻¹.

Houve interação entre os fatores na eficiência de uso de água (Tabela 3), sendo a maior EUA, observada no solo sem cobertura e lâmina de 167 mm. A variação da lâmina não interferiu na EUA (Tabela 5).

Esse resultado não está de acordo com o trabalho de Campagnol et al. (2014). Eles observaram que a redução da lâmina de irrigação associado ao uso de filme plástico preto

elevaram a eficiência de uso de água no tomateiro. Kalangu et al. (2012), também, observaram maior eficiência de uso de água, quando menores lâminas foram aplicadas na produção do tomateiro.

CONCLUSÕES

- 1 O potencial osmótico do solo foi maior nos tratamentos com cobertura plástica do solo.
- 2 As fontes de variação não interferiram na massa média de frutos.
- 3 Houve interação entre a lâmina e a cobertura do solo para as variáveis: frutos por planta, produtividades total e comercial e eficiência de uso de água.
- 4 A lâmina de 206 mm ocasionou a maior produtividade comercial do tomateiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Universidade Federal de Lavras. E à empresa Zé Amparo Zil comércio de tomates.

REFERÊNCIAS

- Almeida, W. F.; Lima, L. A.; Pereira, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. *Engenharia Agrícola*, v.35, p.1009-1018, 2015.
- Alvarenga, M. A. R.; Lima, L. A.; Faquin, V. E.; Pereira, G. M. Irrigação e fertirrigação. In: Alvarenga, M. A. R. (Ed). *Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia*. 2 ed. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. cap.6, p.131-180.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köpen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013.
- Bogiani, J. C.; Anton, C. S.; Seleguini, A.; Faria Júnior, M. J. A.; Sseno, S. Poda apical, densidade de plantas e cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro em cultivo protegido. *Bragantia*, v.67, p.145-151, 2008.
- Branco, R. B. F.; Santos, L. G. C.; Goto, R.; Ishimura, I.; Schlickmann, S.; Chiarati, C. Cultivo orgânico sequencial de hortaliças com dois sistemas de irrigação e duas coberturas de solo. *Horticultura Brasileira*, v.28, p.75-80, 2010.
- Campagnol, R.; Abrahão, C.; Mello, S. C.; Oviedo, V. R. S.; Minami, K. Impactos do nível de irrigação e da cobertura do solo na cultura do tomateiro. *Irriga*, v.19, p.345-357, 2014.
- Cantu, R. R.; Goto, R.; Junglaus, R. W.; Gonzatto, R.; Cunha, A. R. Uso de malhas pigmentadas e mulching em túneis para cultivo de rúcula: efeito no ambiente e nas plantas modelo. *Ciência Rural*, v.43, p.810-815, 2013.

Duarte, S. N.; Silva, E. F. F.; Miranda, J.H.; Medeiros, J. F.; Costa, R. N. T.; Gheyi, H. R. Fundamentos de drenagem agrícola. Fortaleza, CE: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2015. 356p.

Ferreira, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, p.109-112, 2014.

Hartz, T.; Hanson, B. Drip irrigation and fertigation management of processing tomato. Davis: University of California: Vegetable Research and Information Center, 2009. 11p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático de Produção Agrícola: pesquisa mensal de prevenção e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. *Levantamento Sistemático de Produção Agrícola*, v.29, p.1-82, 2016.

Kalungu, J. W., Monteiro, R. O. C. E Folegatti, M. V. Irrigation application depths and potassium doses on tomatoes under protected environment in Southeast Brazil. *Revista de Agricultura*, v.87, p.18-25, 2012.

Lima, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. (Eds). *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB/SBEA, p.113-136, 1997.

Macêdo, L. S. E.; Alvarenga, M. A. R. Efeitos de lâminas de água e fertirrigação potássica sobre o crescimento, produção e qualidade do tomate em ambiente protegido. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, p.296-304, 2005.

Marouelli, W. A. Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 15 p, 2008.

Medeiros, J. F.; Silva, M. C. C.; Câmara Neto, F. G.; Almeida, A. H. B.; Souza, J. O.; Negreiros, M. Z.; Soares, S. P. F. Crescimento e produção do melão cultivado sob cobertura do solo e diferentes frequências de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.792-797, 2006.

Monte, J. A., Carvalho, D. F., Medici, L. O., Silva, L. D. B. E Pimentel, C. Growth analysis and yield of tomato crop under diferents irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.926-931, 2013.

Morais, E. R. C.; Maia, C. E.; Negreiros, M. Z.; Araújo Júnior, B. B.; Medeiros, J. F. Crescimento e produtividade do meloeiro Goldex influenciado pela cobertura do solo. *Scientia Agraria*, v.9, p.129-137, 2008.

Moreira, J. A. A.; Cardoso, A. F.; Costa, L. L.; Rodrigues, M. S.; Peixoto, N.; Braz, L. T. Manejo da irrigação para otimização da produtividade e qualidade de frutos de tomateiro em sistema de plantio direto. *Irriga*, v.17, p.408-417, 2012.

Ngouajio, M.; Wang, G.; Goldy, R. Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. *Agricultural Water Management*, v.87, p.285-291, 2007.

Rodrigues, R. R.; Pizetta, S. C.; Silva, N. K. C.; Pacheco, F. E. D.; Pereira, G. M. Efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o desenvolvimento inicial do tomateiro. *Enciclopédia Biosfera*, v.13, p.530-539, 2016.

Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160 p.

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

Yuri, J. E.; Costa, N. D.; Pinto, J. M.; Correia, R. C. *Uso de cobertura plástica no cultivo do meloeiro*. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2014. 2p.