

MANUEL ANTÓNIO JORGE

**APROFUNDAMENTO RADICULAR PARA A MANUTENÇÃO DA
ABERTURA ESTOMÁTICA NO TOMATEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

J82a
2019

Jorge, Manuel António, 1984-
Aprofundamento radicular para manutenção da abertura
estomática no tomateiro / Manuel António Jorge. – Viçosa, MG,
2019.
x, 54 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Derly José Henrique da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 41-51.

1. *Solanum lycopersicum* L.. 2. Solos - Manejo.
3. Fotossíntese. 4. Silicatos. 5. Gêsso . I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

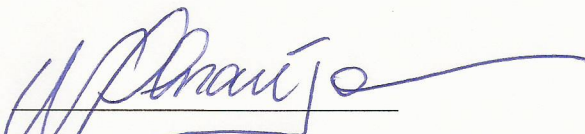
CDD 22. ed. 635.642

MANUEL ANTÓNIO JORGE

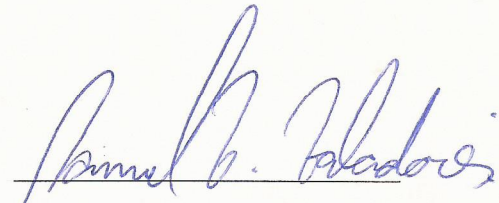
**APROFUNDAMENTO RADICULAR PARA A MANUTENÇÃO DA
ABERTURA ESTOMÁTICA NO TOMATEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

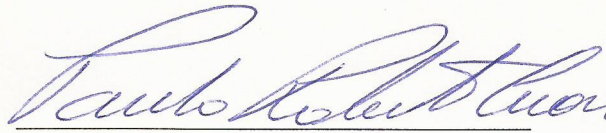
APROVADA: 15 de março de 2019.




Wagner Luiz Araújo



Samuel Vasconcelos Valadares



Paulo Roberto Cecon



Derly José Henriques da Silva
(Orientador)

**“A grandeza da vida não consiste em não cair nunca,
mas em nos levantarmos cada vez que caímos”**

Nelson Mandela, 1994

Aos meus pais e irmão
António Jorge e Florinda Jorge
Custódio António Jorge
(In memoriam)
OFEREÇO

À minha família,
meus irmãos, primos, tios e filhos
que sempre me incentivaram.
Aida Mandava, por todo amor,
Companheirismo e apoio.
A vocês, DEDICO esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo grande esforço que fizeram para que eu chegasse até aqui.

À Aida Mandava, pois mesmo distante foi uma pessoa fundamental durante toda essa etapa, me dando conselhos, me escutando, me incentivando e, principalmente, pelo carinho.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização da Pós-Graduação.

À Universidade Zambeze, em especial a Faculdade de Engenharia Agrônômica e Florestal (FEAF), pelo apoio e colaboração nesta caminhada.

Ao Instituto de Bolsa de Estudos de Moçambique (IBE) pela concessão da bolsa e financiamento dos trabalhos.

Ao Prof. Derly José Henriques da Silva pela confiança, amizade, exemplo profissional e pessoal.

Aos Prof. Paulo Roberto Cecon, Wagner Luiz Araújo e Samuel V. Valadares pelas sugestões e auxílio na realização da dissertação.

Aos colegas Fábio Teixeira Delazari, Ronaldo Gomes (Maranhão) e Rafael Ravanelli Chagas (Zina) pelo incentivo e colaboração.

Aos meus amigos: Pedro Bengala, Edvaldo Nhanombe, António Melo, Sorotori Jacob, Edson Guambe, Elizeth Raisse, José Dique, Momate, Castelo Vilanculos, Sérgio Comé, Baltazar Chipiringo, Osvaldo Sande, Manuel Talacuese e todo pessoal da comunidade Africana em Viçosa, ao NEO (Núcleo de Estudos em Olericultura) pelo auxílio na realização dos trabalhos.

Aos funcionários da Horta de Pesquisa da UFV, pelo auxílio na condução dos experimentos. E ao Jamilton Soares pela paciência e apoio na realização das análises laboratoriais.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta jornada.

BIOGRAFIA

MANUEL ANTÓNIO JORGE, filho de António Jorge e Florinda Alima B.M. Jorge, nasceu no dia 22 de outubro de 1984, na cidade da Beira, Província de Sofala, Moçambique.

Em fevereiro de 2004, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Eduardo Mondlane - Moçambique, tendo graduado em agosto de 2009. Durante a graduação trabalhou como estagiário voluntário durante 6 meses nos serviços distritais de atividades econômicas-Catembe, no âmbito do projeto agricultura urbana e Peri-urbana nas cidade de Maputo e Matola. Nesse período desenvolveu trabalhos de caracterização e avaliação das principais doenças em plantas hortícolas. Também trabalhou com produção de hortaliças voltado ao agronegócio no distrito de Moamba e Boane, no âmbito do projeto Machadosknowhow, financiado pela embaixada da Dinamarca, no período de fevereiro de 2009 a janeiro de 2013.

Assistente-estagiário da Faculdade de Engenharia Agronômica e Florestal (FEAF)-Universidade Zambeze-Moçambique desde 2014.

Em março de 2017, iniciou o Programa de Pós-Graduação, a nível de Mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, submetendo à defesa da dissertação em março de 2019.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. CULTURA DO TOMATE	4
2.2. ECOFISIOLOGIA DO TOMATE	4
2.3. TROCAS GASOSAS NO TOMATE	5
2.4. FITO-HORMÔNIOS E OSMORREGULADORES	6
2.5. CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA NAS FOLHAS (CRA)	7
2.6. MANEJO DO SOLO E APROFUNDAMENTO RADICULAR	8
2.7. CORREÇÃO E CONDICIONAMENTO DO SOLO E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO RADICULAR	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	12
3.2. Produção das mudas e implantação do cultivo	13
3.3. Preparo do solo e adubação	13
3.4. Manejo da irrigação	13
3.5. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	14
3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	15
3.9. AVALIAÇÕES EXPERIMENTAIS	21
3.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA	25
4. RESULTADOS	26
4.1. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS	26
4.1.1. Produtividade total ($t \cdot ha^{-1}$)	26
4.1.2. Área foliar (AF) e Índice de área foliar (IAF)	27
4.1.3. Densidade do comprimento radicular (DCR) e da área específica radicular (DSR)	27
4.2. TROCAS GASOSAS	29
4.3. DISCRIMINAÇÃO ISOTÓPICA DE CARBONO	32
4.4. FITO HORMÔNIOS E OSMORREGULADORES	32
4.5. CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA NAS FOLHAS	33
5. DISCUSSÃO	35
6. CONCLUSÕES	40
7. REFERÊNCIAS	41
8. ANEXOS	52

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** (a) e (b) Temperatura média e precipitação, (c) e (d) Radiação solar e evapotranspiração de referência e (e) e (f) Umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor para experimentos I e II, respectivamente Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 15
- Figura 2.** (a) Manejo tardio, aplicação de silicatos e gesso agrícola uma semana antes do transplântio, (b) silicatos e gesso agrícola aplicados dois meses antes do transplântio e (c) e (d) Cultivo de milho e aplicação de silicatos e gesso agrícola dos meses antes do transplântio, respectivamente, ano 2018/2019 em Viçosa, Minas Gerais, Brasil..... 17
- Figura 3:** Área foliar- AF (a) e Índice de área foliar- IAF (b) em função dos manejos estudados nos dois experimentos. Médias seguidas de mesma letra para cada experimento, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Viçosa, MG, 2018/2019 27
- Figura 4:** Distribuição da densidade de comprimento radicular – DCR (a) e (b) e da densidade da área superficial radicular -DSR (c) e (d), em todo o perfil de solo avaliado nos experimentos I e II, respectivamente 28
- Figura 5:** Densidade de comprimento radicular- DCR (a) e densidade da área superficial radicular -DSR (b) em função dos manejos estudados. Médias seguidas de mesma letra para cada experimento, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Viçosa, MG, 2018/2019 29
- Figura 6:** Valores médios de fitohormônios :Ácido abscísico- ABA (a) com $CV_1=31,01$ e $CV_2=29,9\%$, e Zeatina (c), $CV_1=29,31$ e $CV_2=51,63\%$, nos experimentos I e II respectivamente. E osmorreguladores: Prolina (b) com $CV_1=35,49$ e $CV_2=83,21\%$, e putrescine (d), $CV_1=47,08$ e $CV_2=43,86\%$. Médias seguidas de mesma letra para cada experimento, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 33
- Figura 7:** Valores médios do conteúdo relativo de água nas folhas (CRA) em função do Manejo do solo em diferentes horários do dia 01/08/2018 para experimento I e 23/01/2019 para experimento II. Médias seguidas de mesma letra dentro de cada horário, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Viçosa, MG, 2018/2019..... 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características química e físico-hídrica do solo das áreas experimentais em três camadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm), Viçosa-MG, 2018/2019.	12
Tabela 2: Descrição dos tratamentos	16
Tabela 3: Atributos químicos do solo antes da implementação dos experimentos e 20 dias após o transplântio em função do manejo de solo e profundidades estudadas. Viçosa-MG, 2018/19	18
Tabela 4: Atributos químicos do solo antes da implementação do experimento e um (1) mês após a colheita em função do manejo de solo e profundidades estudadas. Viçosa-MG, 2018.	20
Tabela 5: Atributos físicos do solo na floração em função do manejo do solo nos dois experimentos. Viçosa-MG, 2018/2019.	21
Tabela 6: Valores médios da produtividade ($t \cdot ha^{-1}$) e eficiência do uso de água-EUA ($kg \cdot m^{-3}$) em função dos manejos e cultivares estudados nos dois experimentos.....	26
Tabela 7: Valores médios de A_N - Taxa de assimilação líquida de CO_2 ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$); g_s - condutância estomática ($mol H_2O m^{-2} s^{-1}$); E - transpiração foliar ($mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$); C_i - concentração interna de CO_2 ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$) e C_{ei} - eficiência instantânea de carboxilação ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1} / \mu mol CO_2 mol^{-1}$), em diferentes manejos do solo e cultivares de tomate, nos dois experimentos. Viçosa, MG, 2018.	31

RESUMO

JORGE, Manuel António, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2019. **Aprofundamento radicular para a manutenção da abertura estomática no tomateiro.** Orientador: Derly José Henriques da Silva.

O tomateiro é uma das hortaliças que demandam maiores quantidades de água. Uma alternativa para o melhor aproveitamento deste insumo agrícola ocorre mediante o manejo do solo favorecendo o aprofundamento do sistema radicular, permitindo maior eficiência na absorção de água e nutrientes pela planta. Neste trabalho, objetivou-se estudar o efeito de diferentes manejos do solo na manutenção da abertura estomática com o intuito de se alcançar maiores produtividades em duas cultivares de tomate. O experimento foi conduzido na Unidade de Pesquisa e Extensão do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, de fevereiro a setembro de 2018 e Julho de 2018 a Janeiro de 2019. Os experimentos foram conduzidos seguindo esquema fatorial 3x2, três manejos de solo: manejo tardio (MT): aplicação de gesso e silicatos uma semana antes do transplântio; Gesso + silicatos (G+S) e Gesso + silicatos + milho (G+S+M) aplicados dois meses antes do transplântio) e duas cultivares (Inovatr e N-901), no delineamento blocos casualizados, com cinco repetições. O manejo G+S proporcionou melhores condições químicas e físicas do solo nos perfis avaliados nos dois experimentos, proporcionando maiores produtividades com valores de 168,0 e 102,86 t ha⁻¹, respectivamente. O incremento obtido foi de mais de 80% em relação ao patamar considerado para a recomendação de adubação (90,0 t ha⁻¹). O sistema radicular apresentou maior desenvolvimento e maior distribuição no perfil do solo nos manejos G+S e G+S+M. O manejo G+S+M apresentou maior conteúdo relativo de água na folha no período de pico de temperatura diária. A condutância estomática, transpiração e taxa fotossintética foram maiores nos manejos G+S e G+S+M evidenciando que estes manejos permitiram a manutenção da abertura estomática e, por consequência, maiores produtividades.

ABSTRACT

JORGE, Manuel António, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2019. **Root deepening for stomata opening maintenance in tomato.** Adviser: Derly José Henriques da Silva.

Tomato is a vegetable that requires high supply of water in irrigation. Soil management that favors the deepening of roots and leads to higher efficiency in the uptaking of water and nutrients by plants is a good alternative for improving the water use efficiency in the cultivation of tomato. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of different management of soil on the maintenance of open stomata in two cultivars of tomato, targeting higher yields. For this, we conducted two experiments at the Unit of Research and Extension of the Plant Science Department, at the Federal University of Viçosa, in Viçosa, Minas Gerais-Brazil. The first experiment was conducted from February to September 2018 and the second from July 2018 to January 2019. The experiments were conducted based on a 3x2 factorial scheme, which consisted of three management of soil: late management (LM), which consisted of the application of gypsum and silicates one week before the transplanting; gypsum + silicates (G+S); Gypsum + silicates + millet (G + S + M), applied two months before the transplanting, plus two cultivars: Inovatr and N-901. The experiments were conducted in a completely randomized block design with five repetitions. The G+S management improved the chemical and physical aspects of the soil profile in both experiments and provided the highest productivities in the first (168, 0) and in the second (102, 86 t ha⁻¹) experiment. This increment in productivity was 80% higher in relation to the threshold considered for the fertilizing (90, 0 t ha⁻¹). The root system had a greater development and distribution in the soil profile in the G+S and G+S+M managements. The G+S+M management provided higher relative water content in the leaves during the daily period of peak temperature. The stomata conductance, transpiration, and photosynthesis were higher in the G+S and G+S+M managements, evidencing that these managements allowed the maintenance of stomata opening.

1. INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é a segunda hortaliça em importância econômica e a primeira em área cultivada no Mundo (SCHWARZ et al., 2013). A produção de tomate no Brasil foi de aproximadamente 4.3 milhões de toneladas em 2016 em uma área cultivada de 64 mil hectares, sendo considerado um dos maiores produtores mundiais (FAOSTAT, 2017).

A obtenção de altos rendimentos nos últimos anos deve-se ao adequado desempenho de cultivares para diferentes ambientes de cultivo, à correta recomendação e aplicação de corretivos e fertilizantes, melhorias nas práticas de manejo integrado de pragas e doenças (CARRIJO; SOUZA; MAROUELLI, 2004), dentre outras práticas desenvolvidas para a cultura no país. No entanto, diversos fatores causadores de estresses às plantas, como temperaturas muito baixas no inverno ou muito elevadas no verão e solos com problema de salinidade, continuam sendo entraves ao aumento da produção de tomate, bem como de outras culturas (ALVARENGA, 2013). Todavia, a gestão da água se destaca pela enorme importância no aumento da produção desta cultura (WANG; LIU; JENSEN, 2012).

O tomateiro é uma cultura muito exigente em água e responde negativamente tanto ao excesso quanto ao déficit hídrico, o que afeta, em grande medida, a produtividade (SANTANA; VIEIRA; BARRETO, 2009).

A oferta da água para as plantas nas regiões tropicais é bastante comprometida, principalmente nas primeiras camadas do solo, tornando-se importante desenvolver sistemas de produção que garantam melhorias na absorção e metabolismo das plantas. A absorção e metabolismo das plantas tem sido o foco das mais variadas pesquisas no mundo inteiro, com destaque para o uso eficiente da água, nutrientes e CO₂ (KHAPTE et al., 2019; LAKE et al., 2017; MANTOVANI et al., 2013; MÜLLER et al., 2011; WEI et al., 2018). ALMEIDA, et al. (2017), concluíram que a garantia da absorção e utilização eficiente de CO₂, água e nutrientes pelas plantas passa pela manutenção dos estômatos abertos. Esta condição pode ser alcançada mediante o uso de técnicas de cultivo que garantam que níveis adequados de água, CO₂ e luz estejam sendo absorvidos e utilizados eficientemente pela planta.

A absorção da água pelas plantas depende da água disponível no solo, arquitetura do sistema radicular, época do ano e ainda de características genéticas da cultivar, das condições meteorológicas e de práticas de manejo da cultura (GRZESIAK

et al., 2013). A variação na disponibilidade hídrica no solo gera uma rede complexa de mudanças morfológicas e fisiológicas (MORALES et al., 2015). Estudos realizados por JIN et al., (2014a) e KOZŁOWSKI; PALLARDY (2002), mostram que o déficit de água promove maior alocação relativa de fotoassimilados para o crescimento radicular, resultando em plantas com raízes maiores garantindo maior capacidade de absorção de água e minerais para outros tecidos. KAHLON; KHURANA (2017) apontam a dimensão da zona radicular e a distribuição da densidade radicular como os fatores determinantes para absorção de água e nutrientes minerais, pelas plantas.

A manutenção do estado hídrico das plantas sob oferta flutuante de água pode melhorar a eficiência do uso da água mediante a aclimatação (CORNIC; MASSACCI, 1996; SEBASTIAN et al., 2016b). Segundo DELAZARI (2018); SEBASTIAN et al., (2015, 2016a), a menor frequência de aplicação de água proporciona melhor estado de hídrico da planta como resultado da melhor distribuição de água no perfil do solo e maior aprofundamento radicular.

No entanto, o aprofundamento radicular alcançado pela redução na frequência da irrigação não garante melhor distribuição dos nutrientes ao longo do perfil do solo. Uma alternativa para isso seria o uso de gesso agrícola em conjunto com aplicação de silicatos, favorecendo a redução dos altos níveis de alumínio e aumentar a concentração de nutrientes como cálcio, magnésio e enxofre em profundidade que podem ser fatores limitantes ao aprofundamento do sistema radicular (FREIRE et al., 2014). O uso do gesso deve-se ao efeito condicionador no solo melhorando o ambiente radicular em profundidade, por ser fonte de cálcio e enxofre e pela facilitação do transporte de nutrientes catiônicos para camadas subsuperficiais. Para além de reduzir a atividade do alumínio tóxico, melhorando as condições para o crescimento de raízes em profundidade (FARIA; COSTA; FARIA, 2003).

Segundo REIS et al., (2007) o uso de silicatos é uma alternativa viável na correção da acidez dos solos e é fonte de nutrientes para as plantas. O silicato de cálcio e magnésio, tem mostrado efeitos semelhantes que o calcário em relação ao aumento do pH do solo, redução do alumínio tóxico (Al^{3+}), aumento da saturação por bases no solo, aumento de Ca e Mg trocáveis e aumento da disponibilidade de fósforo em camadas mais profundas do solo (GUNTZER; KELLER; MEUNIER, 2012; RAMOS et al., 2006; REIS et al., 2007).

Estudos sobre respostas de plantas à estresses abióticos mostram um conhecimento limitado sobre as relações entre modificação na arquitetura do sistema

radicular, o estado hídrico da planta, trocas gasosas e características físico-químicas do solo (GRZESIAK et al., 2013). Assim, neste trabalho os efeitos de manejo do solo com gesso e silicato associado ao cultivo de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.) foram investigados sobre o aprofundamento radicular com vista a garantir a manutenção da abertura estomática e maior produtividade do tomateiro. Estudos feitos por LI et al., (2010), SERBA; YADAV(2016), COSKUN et al.(2016) & ZHU et al., (2015) mostram que a aplicação de gesso e silicatos e o cultivo antecedente do milho parecem garantir uma planta de tomate com um sistema radicular bem desenvolvido e profundo, permitindo aclimatar-se a oscilações na disponibilidade hídrica do solo sem, no entanto, comprometer a produtividade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura do tomate

O tomateiro pertence à classe das *Dicotyledoneae*, ordem *Tubiflorae*, família *Solanaceae*, gênero *Solanum* e espécie *Solanum lycopersicum*, recebendo a denominação de *Solanum lycopersicon L.* (SPOONER et al., 2005). Esta hortaliça tem como centro de diversidade o estreito território limitado, ao norte, pelo Equador, ao sul, pelo norte do Chile, a oeste, pelo Oceano Pacífico e a leste, pela Cordilheira dos Andes (BAKHT et al., 2014). No Brasil, a introdução do tomate foi feita por imigrantes europeus no final do século XIX (ALVARENGA, 2013).

De acordo com a FAOSTAT (2017) no ano de 2016, a produção de tomate no Brasil, foi de 4.292,9 de toneladas, em uma área de 65,2 mil hectares, colocando o país entre os maiores produtores mundiais. A produção de tomate vem crescendo ao longo dos anos, sendo esse crescimento impulsionado pelas redes “fast food” e a necessidade de maior rapidez no preparo dos alimentos, que elevaram a demanda por alimentos processados. Recentemente, a demanda por tomate foi reforçada pela busca de alimentos mais saudáveis, favorecendo também o crescimento da venda do produto fresco (CARVALHO; PAGLIUCA, 2007). ALVARENGA (2013) aponta diversas razões que levam a população a consumir o tomate, tanto na forma fresca quanto processada, dentre eles: hábito alimentar, disponibilidade do produto em vários locais e épocas do ano; versatilidade no uso; baixo teor calórico; aroma do fruto, estimulante de apetite; por ser um alimento com elevados teores de potássio, vitaminas A e E, e hormônios inibidores de acúmulo de homocisteínas no sangue.

2.2. Ecofisiologia do tomate

O tomateiro é uma planta C3 (BEZERRA NETO e NOGUEIRA, 1999), que requer um clima ameno (FLETI et al., 2011), e sofre pouca influência do fotoperíodo (CALIMAN et al., 2005). Temperaturas médias diurnas entre 18° a 25°C e noturnas de 10° a 20°C, são consideradas mais adequadas para o cultivo dessa cultura (PALARETTI et al., 2012). Temperaturas diurnas acima de 28°C causam prejuízos, diminuindo a síntese de α -licopeno, substância essencial para conferir a coloração avermelhada aos frutos (DUARTE et al., 2011). Temperatura acima dos 34°C promovem efeitos deletérios sobre o crescimento do tubo polínico, prejudicando a polinização, gerando abortamento de flores e reduzindo o número de frutos por cacho (SILVA et al., 2000; COSTA et al., 2011).

A umidade relativa do ar é outro fator climático importante que influencia no desenvolvimento vegetativo e na produtividade do tomateiro e de outras culturas agrícolas, devido ao fato, que afeta a condutância estomática, turgescência e evapotranspiração, podendo afetar processos metabólicos ligados ao crescimento e desenvolvimento da planta, como por exemplo, a absorção de nutrientes (CALIMAN et al., 2005).

2.3. Trocas gasosas no tomate

A otimização da taxa de difusão de CO₂ na folha para a fotossíntese e consequente redução da taxa de perda de água através da transpiração é feita pelos estômatos (LEAKEY et al., 2009). No entanto, tanto a elevada concentração de CO₂ atmosférico como a falta de água no solo reduzem a condutância estomática (*gs*) do vapor de água (WEI et al., 2016). Porém, os mecanismos pelos quais o fechamento estomático é induzido podem ser diferentes. Sob condições de altas concentrações de CO₂, as plantas apresentam diferentes estratégias para o controle da *gs* através de uma coordenação de fisiológica a curto prazo (via mudança de abertura) e morfológica a longo prazo (via mudança de densidade estomática), a fim de otimizar eficiência do uso da água (HAWORTH; ELLIOTT-KINGSTON; MCELWAIN, 2013).

De igual modo, a diminuição da água no solo induz a redução em *gs* devido principalmente, à diminuição da turgescência foliar ocasionando o fechamento parcial dos estômatos que é induzido pela sinalização química enviado pela raiz à parte aérea (LIU et al., 2006). Sob déficit hídrico no solo, o suprimento de água às raízes é limitado, e a planta não consegue atender a demanda transpirativa das folhas, levando a redução do turgor das folhas, aumento da temperatura foliar e fechamento estomático (ANJUM et al., 2011). Como consequência, ocorre limitação das trocas gasosas, levando à ruptura do metabolismo e da estrutura celular, podendo resultar na paralisação da fotossíntese e, consequente morte da planta (SEBASTIAN et al., 2016a). No entanto, a suscetibilidade das plantas ao déficit hídrico depende da intensidade da deficiência, espécies de plantas e estágios de desenvolvimento (PATANÈ et al., 2016). A aclimação de plantas ao déficit hídrico é o resultado de diferentes eventos que levam a mudanças aclimatativas no crescimento das plantas e processos físico-bioquímicos, como mudanças na estrutura da planta, taxa de crescimento, potencial osmótico tecidual e defesas antioxidantes (ZHOU et al., 2017).

A compreensão sobre as alterações nas trocas gasosas e respostas das culturas ao déficit hídrico, permite definir ações que visem a melhoria da capacidade de resistência à esta condição e garantir maiores rendimentos. Segundo ANJUM et al.(2011),a regulação eficiente da abertura estomática através do controle da sensibilidade das células guardas em relação aos sinais ambientais, tais como luz, temperatura, umidade, CO₂ e quantidade de água na planta é essencial para garantir ganhos na produtividade.

2.4. Fito-hormônios e osmorreguladores

As plantas modulam o seu crescimento e metabolismo para responder a adversidades ambientais. Um dos estresses ambientais mais impactantes enfrentados pelas plantas é a seca, que leva à redução da disponibilidade de água no solo como consequência a redução do potencial hídrico das plantas. As plantas respondem à limitação da água através uma série de mecanismos que contribuem para evitar e tolerar o baixo potencial hídrico do solo. Mecanismos como o fechamento dos estômatos e aumento na relação raiz-parte aérea através da sinalização pelo ácido abscísico (ABA), objetivam conservar a umidade do solo ou encontrar água adicional mantendo o status hídrico da planta e, assim, evitar novas quedas no potencial hídrico e na desidratação do tecido vegetal (VERSLUES, 2016).

A manutenção do status hídrico da planta pelo rápido fechamento estomático promove alterações no crescimento e desenvolvimento, envolvendo a comunicação a longa distância entre diferentes órgãos, mediada, principalmente pelo ácido abscísico (ABA) entre outros hormônios do estresse (CHATER et al., 2015; KUROMORI; SEO; SHINOZAKI, 2018; SUBRAMANIAM et al., 2016). Outros hormônios produzidos em plantas nesta condição, incluem auxina ou ácido indol-3-acético (IAA, a principal forma de auxina na maioria das plantas), brassinosteróides, citocininas, etileno, giberelinas, ácido jasmônico (JA), nítrico óxido, ácido salicílico (SA) (LIU et al., 2012).

De acordo com POSPÍŠILOVÁ et al. (2005), o ABA tem sido relacionado como um componente chave nas respostas induzidas pelo déficit hídrico, incluindo aquelas desencadeadas pela seca, salinidade e baixa temperatura. Embora plantas bem irrigadas contenham ABA, o estresse hídrico estimula a biossíntese de ABA em raízes e folhas. Reduções em gs em resposta a redução da disponibilidade hídrica no solo são devidas principalmente ao fechamento parcial estomático induzido pela sinalização química da raiz à parte aérea, principalmente ABA e pela diminuição do turgor nas

folhas (YAN; LI; LIU, 2017). O ABA é um regulador central de respostas ao redução do potencial de água e desidratação do tecido vegetal que ocorre durante os períodos de seca. A importância da ABA foi estabelecida por numerosas observações do acúmulo de ABA em água plantas estressadas, assim como respostas de estresse prejudicadas em mutantes deficientes em ABA (CUTLER et al., 2010).

Outro mecanismo é o acúmulo de solutos orgânicos que permitem o contínuo crescimento e desenvolvimento das plantas com potencial hídrico reduzido e, na medida do possível, tolerar a perda de água dos tecidos (VERMA; RAVINDRAN; KUMAR, 2016). Este processo é conhecido por ajuste osmótico, que é um mecanismo bioquímico que ajuda as plantas a tolerar o estresse hídrico, através do acúmulo de diferentes solutos orgânicos e inorgânicos no citosol melhorando a hidratação celular, mantendo o turgor celular com baixo potencial de água na planta (ANJUM et al., 2011; HOSSAIN et al., 2016). Segundo Jaleel et al. (2007), o ajuste osmótico é uma das principais respostas das plantas ao déficit hídrico, e está correlacionado ao grau de tolerância ao estresse. A manutenção do turgor celular é garantida em resposta ao acúmulo de prolina, sacarose, carboidratos solúveis, glicocetaina e outros solutos no citoplasma, melhorando a absorção de água do solo (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; MARIJUAN; BOSCH, 2013; NAHAR; ULLAH, 2018).

O acúmulo de prolina é a primeira resposta de plantas expostas ao déficit hídrico, a fim de reduzir o dano às células (ANJUM et al., 2011). LEE et al., (2009) apontam a prolina como um composto que pode se acumular em altas concentrações dentro do citoplasma da célula sem interferir com a estrutura celular ou metabolismo das plantas. A prolina é classificada como um aminoácido pela presença de grupo funcional carboxil e um grupo amino secundário e atua na proteção da integridade de proteínas e aumenta a atividade de diferentes enzimas, sendo considerada como molécula osmoprotetora em plantas (JAIN, M., A. NANDWAL, S., B. KUNDU, S. AND KUMAR, 2006).

2.5. Conteúdo relativo de água nas folhas (CRA)

O conteúdo relativo de água (CRA) é um dos indicadores das relações hídricas da planta, que corresponde à quantidade de água no tecido num dado instante, comparando com a capacidade máxima de água que ele poderá reter (DUTRA et al., 2010; LUNKES, 2017). Segundo SIVAKUMAR (2014), a produtividade das culturas esta relacionada a vários atributos fisiológicos, entre eles o CRA. Assim, um maior

CRA indica melhor crescimento e desenvolvimento, que por sua vez depende da área foliar. O rápido crescimento inicial e a manutenção do CRA, em níveis razoavelmente mais altos, durante a fase reprodutiva influenciam muito o rendimento (SURAMA et al., 2007).

LAWLOR; CORNIC (2002) consideram o CRA como uma medida relacionada com estado hídrico da planta que melhor reflete a atividade metabólica nos tecidos e o índice mais significativo para a tolerância à desidratação. Ele é relacionado à absorção de água pelas raízes, bem como a perda por transpiração. Uma redução no CRA em resposta ao déficit hídrico tem sido observada em uma ampla variedade de plantas, como relatado por MULLAN; PIETRAGALLA (2012) que, quando as folhas são submetidas à déficit hídrico, estas apresentam grandes reduções no CRA e no potencial hídrico. A exposição de plantas ao déficit hídrico diminui substancialmente o potencial hídrico da folha, o CRA e a taxa de transpiração, com o aumento concomitante da temperatura foliar (PATANÈ et al., 2016).

LAWLOR; CORNIC (2002) apontam que, para a maioria das espécies, um decréscimo da fotossíntese se torna irreversível quando o CRA nas folhas cai para cerca de 70%. Um CRA decrescente irá progressivamente diminuir a g_s e a assimilação de CO_2 , a qual eventualmente cessa (MEDRANO et al., 2002; MOHOTTI; LAWLOR, 2002). Consequentemente, em folhas de plantas C_3 e C_4 , assim que o CRA reduz, ocorre limitação relativa da fotossíntese pela g_s e a limitação metabólica aumenta (a medida que o estresse se torna de moderado a severo).

Assim sendo, embora o CRA seja afetado pela redução da disponibilidade de água, a abertura e o fechamento dos estômatos são mais fortemente afetados. Além disso, a mudança na temperatura da folha pode ser um fator importante no controle do estado da água foliar sob estresse hídrico. O CRA é simples e facilmente medido, sem a necessidade de instrumentos especializados. No entanto, a estimativa desta medida pode apresentar fontes de erro tais como: (i) mudança no peso seco (principalmente devido a perdas respiratórias), (ii) aumento no teor de água em excesso de turgidez total e (iii) acúmulo de água em espaços intercelulares (BARRS; WEATHERLEY, 1962; MULLAN; PIETRAGALLA, 2012).

2.6. Manejo do solo e aprofundamento radicular

Uma das questões importantes na agricultura, considerando as mudanças climáticas globais, é a necessidade de melhorar a eficiência do uso de água e nutrientes

pelas plantas (BUI; SERRA; PAGÈS, 2016). O emprego de técnicas que favoreçam o maior desenvolvimento do sistema radicular e seu aprofundamento ao longo do perfil de solo tem importância central para melhorar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (LI et al., 2010; MAN et al., 2016)

A disponibilidade de água no solo afeta fortemente a distribuição das raízes. A falta de água ou alagamento reduz a densidade das raízes, restringindo seu crescimento (HUI et al., 2017). Por outro lado, quando moderada, a deficiência hídrica pode aumentar a densidade da raízes, particularmente nas camadas mais profundas do solo (JIN et al., 2014a; LI et al., 2010).

Segundo JIN et al.(2014b) & KOZLOWSKI; PALLARDY(2002), O déficit de água no solo promove maior alocação de fotoassimilados para o crescimento radicular, resultando em plantas com raízes maiores e com maior capacidade de absorção de água e minerais. Assim, em regiões tropicais, onde a frequência das chuvas é reduzida e ocorrem vários veranicos, o manejo adequado da água no solo tem papel importante no controle da absorção e perda de água. A manutenção do estado hídrico das plantas sob oferta flutuante de água pode melhorar a eficiência do uso da água mediante a aclimatação. Isso pode melhorar a distribuição de água no perfil do solo(SEBASTIAN et al., 2016a).

Sob condições de reduzida disponibilidade de água na camada superficial do solo, a planta gera uma série de respostas, induzindo o desenvolvimento das raízes em busca de camadas do solo onde não ocorra limitação hídrica (JIA et al., 2018a; QUANQI et al., 2010; SHARMA et al., 2014).Por outro lado, MOHAMMADSHIRAZI et al.(2017), apontam a aplicação de calcário e gesso no solo como responsáveis pelo carregamento de nutrientes como cálcio e magnésio para camadas mais profundas, permitindo um maior desenvolvimento das raízes.

JIA et al., (2018) apontam uma série de mecanismos desenvolvidos pelas plantas para lidar com a baixa disponibilidade de água, dentre eles, a planta tolera o estresse, através de um sistema radicular bem desenvolvido, possibilitando aumentar a sua capacidade de absorver água e conservá-la, muitas vezes aliado a uma redução na área foliar e transpiração limitada. Portanto, considerando regiões tropicais e o contexto das mudanças climáticas, torna-se importante o desenvolvimento de sistema de produção que possibilita um sistema radicular profundo permitindo maior absorção de água, atendendo a demanda transpirativa das folhas, o que pode contribuir para melhorias na disponibilidade de água para as plantas.

2.7. Correção e condicionamento do solo e seus efeitos no crescimento radicular

Os solos tropicais são, em sua maioria, muito intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes (MORAES et al., 2018). A correção da acidez e o aumento da disponibilidade de nutrientes, por meio da aplicação de corretivos e fertilizantes, são práticas fundamentais para o bom desenvolvimento do sistema radicular da maioria das plantas de interesse agrícola (RAMOS et al., 2006). Essas práticas são, portanto, essenciais para a elevação da produtividade da maioria das culturas cultivadas em solos tropicais. No Brasil, os materiais mais utilizados como corretivos de acidez do solo são os calcários (MARODIN et al., 2014). Segundo ALBUQUERQUE et al.(2003), a aplicação de calcários eleva os teores de Ca e Mg, diminui ou elimina o Al trocável e também promove a elevação do pH do solo. No entanto, para além dos calcários, a utilização de resíduos siderúrgicos tem-se mostrado uma alternativa viável como corretivo do solo, dentre os quais estão os silicatos, que se comportam de forma semelhante aos calcários ((REIS et al., 2007).

No grupo dos silicatos destacam-se os silicatos de Ca e Mg, que tem mostrado efeitos semelhantes que o calcário em relação ao aumento do pH do solo, redução do alumínio tóxico (Al^{3+}), aumento da saturação por bases no solo, aumento de Ca e Mg trocáveis e aumento da disponibilidade de fósforo em camadas mais profundas do solo (GUNTZER; KELLER; MEUNIER, 2012; RAMOS et al., 2006; REIS et al., 2007). Além disso são fontes de (Si), que é um elemento benéfico às plantas (GUNTZER; KELLER; MEUNIER, 2012).

O uso de silicatos tem sido considerado promissor para reduzir os efeitos negativos dos fatores que causam estresse nas plantas (salinidade, toxicidade provocada por metais pesados e desequilíbrio de nutrientes) (MA; YAMAJI, 2006). LU et al. (2016), apontam que plantas consideradas não acumuladoras de Si, como o tomateiro, possuem menor densidade de transportadores de Si do apoplasto para o simplasto e um defeito nos transportadores de Si das células do córtex para o xilema, comparadas as plantas acumuladoras. No entanto, estudos têm demonstrando que o silício, apesar de sua não essencialidade, apresenta efeito benéfico para a maioria das culturas, dentre elas, o tomate (LUDWIG; BEHLING; SCHMITZ, 2015; VIANA; NASCIMENTO, 2015). Os efeitos benéficos do Si têm sido relacionados à tolerância a diversos estresses abióticos, como a salinidade, toxicidade causada pelo excesso de Zinco (SUN et al., 2014; ZHU et al., 2015), altas e baixas temperaturas (MA; YAMAJI, 2006). Além

disso, a nutrição adequada com Si interfere na arquitetura da planta, proporcionando folhas mais eretas, aumentando a interceptação da radiação solar e a eficiência fotossintética (HATTORI et al., 2005).

Outra prática agrícola essencial para o desenvolvimento das raízes no solo é o uso do gesso agrícola, que não sendo um corretivo do solo, condiciona o mesmo melhorando o ambiente radicular em profundidade (PEREIRA; VITTI, 2004), que em relação aos calcários este apresenta maior solubilidade e deslocamento no perfil do solo (VITTI et al., 2015). Aliado a isso, fornece cálcio e enxofre, ao mesmo tempo que deixa o alumínio em uma forma menos tóxica condicionando o aprofundamento do sistema radicular, aumentando assim, a ciclagem de nutriente e a capacidade de extração de água refletindo em maior produtividade (FARIA; COSTA; FARIA, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O experimento foi conduzido na unidade de ensino, pesquisa e extensão (UEPE) do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais de Fevereiro a Agosto de 2018 e Julho a Janeiro de 2019, para experimentos 1 e 2, respectivamente. As plantas foram cultivadas em solo classificado como argissolo vermelho amarelo, distrófico de topografia plana (LEMOS; SANTOS, 1996). As características químicas e físico-hídricas do solo para os dois experimentos foram determinadas mediante análise do solo antes de cultivo (Tabela 1).

Tabela 1. Características química e físico-hídrica do solo das áreas experimentais em três camadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm), Viçosa-MG, 2018/2019.

Experimento Prof. (cm)	Exp 1 (02-08/2018)			Exp 2 (07/2018-01/2019)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
pH H ₂ O	6.15	5.85	5.62	5.29	4.92	5.05
P (mg dm ⁻³)	333.6	102.2	20.20	31.40	10.30	1.80
K (mg dm ⁻³)	252.0	113.0	80.0	111.0	36.00	18.00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	6.83	5.21	3.74	3.13	2.43	3.02
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0.80	0.61	0.49	0.54	0.41	0.51
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2.40	2.30	2.40	4.80	3.50	3.00
T (cmol _c dm ⁻³)	10.68	8.41	6.84	8.75	6.43	6.58
V (%)	77.5	72.7	64.9	45.10	45.60	54.40
m (%)	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
MO (dag kg ⁻¹)	3.26	2.17	1.63	2.51	1.88	1.76
P-rem (mg L ⁻¹)	41.30	32.70	21.70	28.50	24.60	12.80
Zn (mg dm ⁻³)	15.09	7.16	2.95	4.36	2.36	1.21
Fe (mg dm ⁻³)	52.8	54.8	37.5	49.30	32.00	35.80
Mn (mg dm ⁻³)	64.20	52.80	25.1	29.70	20.30	15.90
Cu (mg dm ⁻³)	5.48	5.21	4.43	4.20	3.30	3.84
B (mg dm ⁻³)	0.60	0.44	0.26	0.44	0.34	0.34
θ _{FC} (m ³ m ⁻³) ¹	0.40	0.44	0.50	0.40	0.44	0.50
θ _{WP} (m ³ m ⁻³) ²	0.27	0.30	0.35	0.27	0.30	0.35
Ds (g cm ⁻³)	1.21	1.28	1.40	1.21	1.28	1.40
Argila (g 100 g ⁻¹) ³	47.30	53.20	61.40	49.70	54.10	65.60
Silte (g 100 g ⁻¹) ³	12.20	10.60	12.40	13.80	12.40	12.20
Areia (g 100 g ⁻¹) ³	40.50	36.20	26.30	36.60	33.60	22.30

P, K, F, Zn, Mn e Cu avaliados pelo extrator Mehlich I; Ca, Mg e Al extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; H+Al- extractor acetato de cálcio 0,5 1 mol L⁻¹a pH 7.0; B Extraído por água quente. ¹ Capacidade de campo (θ_{FC}), Ponto de churchamento² (θ_{WP}), e ³ Classificação da textura de acordo com a sociedade brasileira de ciência do solo

3.2. Produção das mudas e implantação do cultivo

As mudas de tomate foram produzidas em bandejas de polietileno com 128 células preenchidas com substrato comercial de fibra de coco Golden Mix[®] (Amafibra) e transplantadas quando as mesmas possuíam de três a quatro folhas definitivas. Foram utilizados os híbridos de tomate para produção industrial ‘Inovatr’ e ‘N-901’ (Nunhems). A densidade de plantas foi de 0,45 pl m⁻² (0,3 x 1,5 m) com população de 22.222 pl ha⁻¹. Os tratos culturais (capinas, pulverizações e adubações) foram feitos semanalmente e pragas e doenças controladas com inseticidas e fungicidas, respectivamente.

3.3. Preparo do solo e adubação

O preparo do solo consistiu numa subsolagem com hastes de 60 cm, para retirar camadas de impedimento do crescimento radicular. A correção da acidez do solo foi realizada pela aplicação do silicato de Ca e Mg e a dose de corretivo foi definida pelo método de saturação por bases à 80%. Também foi aplicado o gesso agrícola para melhorar a distribuição de nutrientes (principalmente o Ca²⁺) no perfil do solo. As recomendações de adubação foram baseadas no manual oficial para recomendação de corretivos e fertilizantes do estado de Minas Gerais (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

A adubação foi feita via fertirrigação e parcelada em 18 vezes. Os fertilizantes utilizados foram o fosfato monoamônico (MAP): 820 e 1147,5 kg ha⁻¹, cloreto de potássio (KCl): 721 e 344,8 kg ha⁻¹, nitrato de cálcio Ca(NO₃)₂: 762 e 124,4 kg ha⁻¹, sulfato de magnésio MgSO₄: 169 e 169,2 kg ha⁻¹ e ácido bórico (H₃BO₃): 24 e 29,4 kg ha⁻¹, para os experimentos 1 e 2, respectivamente.

3.4. Manejo da irrigação

Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento com fita gotejadora autocompensante de vazão de 2,10 L.h⁻¹ nos dois experimentos, na faixa de pressão de 10-30 mca e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) de 95,4%. A demanda hídrica foi calculada pela estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c), mediante o uso dos coeficientes de ajuste em relação à evapotranspiração de referência (ET₀), dadas pelas equações 1 e 2, e a lâmina líquida de irrigação foi calculada pelo balanço hídrico, considerando a entrada de água por irrigação e sua saída pela ET_c, sendo a frequência de irrigação estabelecida em sete (07) dias (DELAZARI et al., 2016).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \text{eq. (1)}$$

$$K_c = (K_{cb} \times K_s) + K_e \quad \text{eq. (2)}$$

em que ET_c é evapotranspiração da cultura, em mm d^{-1} ; ET_o , evapotranspiração de referência, em mm d^{-1} ; K_c , coeficiente da cultura, adimensional; K_{cb} , coeficiente basal da cultura, adimensional; K_e , coeficiente da evaporação do solo, adimensional; K_s , coeficiente de estresse, adimensional.

3.5. Variáveis climáticas

Os dados meteorológicos foram obtidos por meio de uma estação agrometeorológica automática IRRIPLUS, instalada na área experimental. A mesma possui sensores que fornecem dados horários de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e precipitação (mm).

A temperatura média, durante período dos experimentos, foi de 18,37 e 22,8 $^{\circ}\text{C}$ e a precipitação pluvial de 119,95 e 461,2mm, para experimentos I e II respectivamente (Figura 1a e b). A temperatura, ao longo do cultivo se manteve na faixa recomendada (12 e 30 $^{\circ}\text{C}$) para o tomateiro (OHNISHI; MIYOSHI; SHIRAI, 2010; TARCHOUN; M'HAMDI; SILVA, 2012). A radiação solar e a evapotranspiração médio durante o experimento, foram de 15,82 e 14,30 MJ m^{-2} e 2 e 3,03 mm d^{-1} , para experimentos I e II respectivamente (Figura 1c e d). A umidade relativa do ar média, durante experimentos, foi entre 88 e 84% e o déficit pressão de vapor médio 0,67 e 1,4 kPa, para os experimentos I e II, respectivamente (Figura 1e e f).

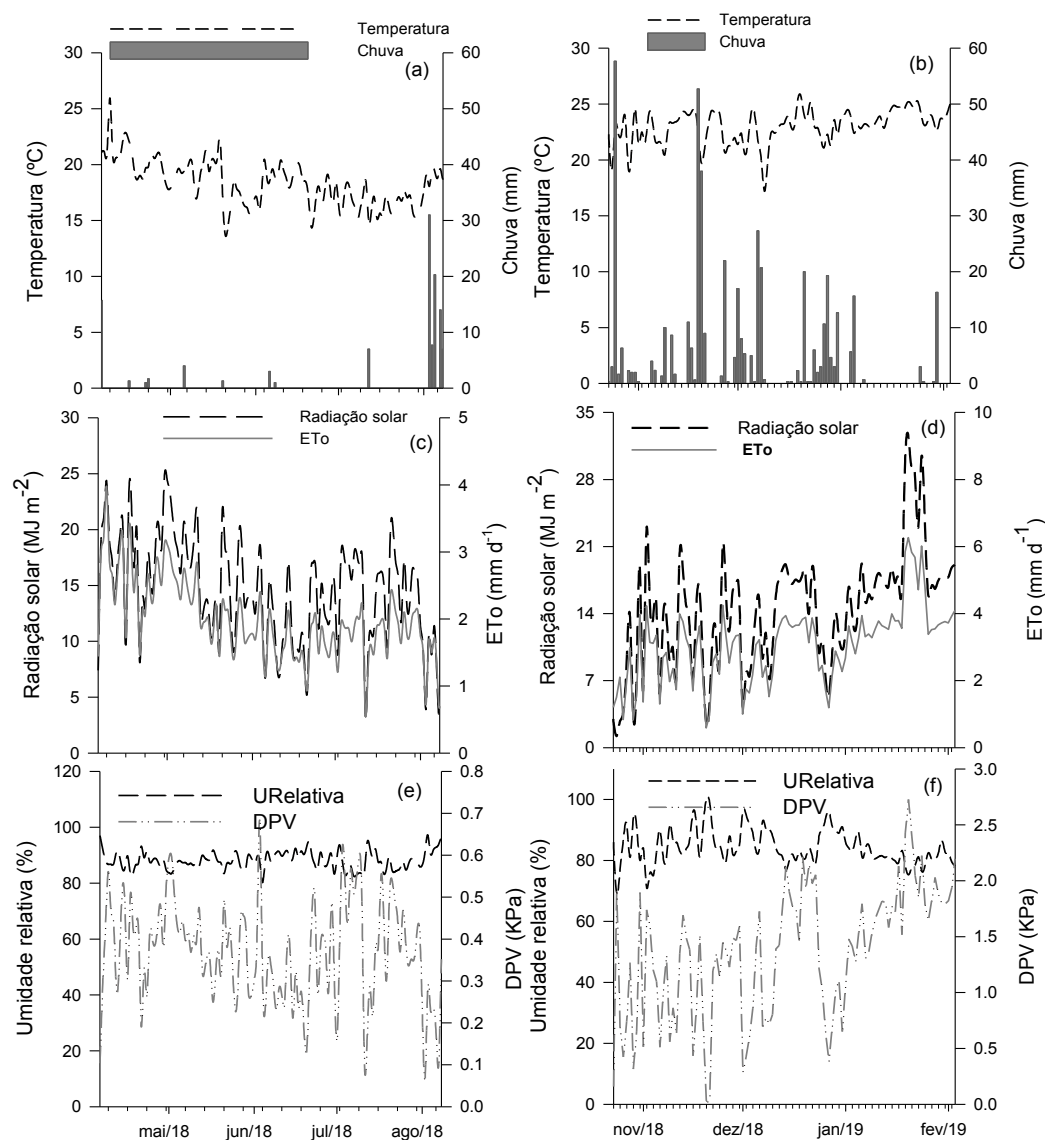


Figura 1. (a) e (b) Temperatura média e precipitação, (c) e (d) Radiação solar e evapotranspiração de referência e (e) e (f) Umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor para experimentos I e II, respectivamente Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

3.6. Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos seguindo o esquema fatorial 3x2 (três manejo do solo: tardio; Gesso + silicatos; Gesso+ silicatos + cultivo de milho e duas cultivares: Inovatr e N-901) no delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições. A área experimental era composta por 30 parcelas de 18 m² e área total de 540 m², considerando as duas linhas das extremidades como bordaduras e as centrais utilizadas para avaliação. As parcelas experimentais possuíam 6 m de comprimento e 3 m de largura, sendo compostas por 60 plantas cada e 20 plantas centrais.

Os tratamentos foram compostos pelas combinações dos fatores estudados (tabela 2):

Tabela 2: Descrição dos tratamentos

Tratamentos	Manejos	Cultivares
1	Manejo tardio (MT): aplicação de gesso agrícola (4,44 e 6,5 t ha ⁻¹) e silicato de Ca ²⁺ e Mg ²⁺ (2,5 e 3,78 t ha ⁻¹) uma semana antes do transplântio, experimentos I e II, respectivamente.	Inovart
2		N-901
3	Gesso e silicatos (G+S): aplicação de gesso agrícola (4,44 e 6,5 t ha ⁻¹) e silicato de Ca ²⁺ e Mg ²⁺ (2,5 e 3,78 t ha ⁻¹) dois meses antes do transplântio, experimentos I e II, respectivamente.	Inovart
4		N-901
5	Gesso, silicatos e milho (G+S+M): aplicação de gesso agrícola (4,44 e 6,5 t ha ⁻¹) e silicato de Ca ²⁺ e Mg ²⁺ (2,5 e 3,78 t ha ⁻¹) e cultivo de milho dois meses antes do transplântio, experimentos I e II, respectivamente.	Inovart
6		N-901



Figura 2. (a) Manejo tardio, aplicação de silicatos e gesso agrícola uma semana antes do transplântio, (b) silicatos e gesso agrícola aplicados dois meses antes do transplântio e (c) e (d) Cultivo de milho e aplicação de silicatos e gesso agrícola dos meses antes do transplântio, respectivamente, ano 2018/2019 em Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

3.7. Caracterização química do solo

Na tabela 3 são apresentados os resultados das análises químicas do solo em função do manejo solo nos dois experimentos 20 dias após o transplântio. Podendo se constatar que os manejos “G+S e G+S+M” proporcionaram alterações nos diferentes parâmetros químicos do solo, tais como incrementos nos teores de nutrientes em profundidade, manutenção do pH, redução na acidez potencial e trocável, incrementos no teor da matéria orgânica, índice de saturação por bases (V%). O alumínio trocável (Al^{3+}) foi reduzido pelos manejos usados.

Tabela 3: Atributos químicos do solo antes da implementação dos experimentos e 20 dias após o transplante em função do manejo de solo e profundidades estudadas. Viçosa-MG, 2018/19

Manejo	Experimento I									Experimento II									
	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	V	MO	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	V	MO	
		mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	%		dag/kg	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	%
	6.15	334	252	6.83	0.8	2.4	0	77.5	3.26		5.29	31.4	111	3.13	0.54	4.8	0.1	45.1	2.51
MT	5.43	48.9	217	4	0.69	3.9	0	57.4	2.87	5.3	43.3	164	5.05	0.6	3.8	0	61.5	2.66	
G+S	5.99	60.6	186	5.3	0.81	2.7	0	70.9	3.26	5.05	52.8	201	3.88	0.51	5.5	0	47.2	2.93	
G+S+M	6.2	63.5	126	5.32	0.87	2.2	0	74.7	3.13	5.6	90.2	181	4.99	0.61	5.2	0	53.8	3.06	
	5.85	102	113	5.21	0.61	2.3	0	72.7	2.17		4.92	10.3	36	2.43	0.41	3.5	0	45.6	1.88
MT	5.27	3.8	56	3.54	0.61	2.6	0	62.3	1.83	4.92	34.3	114	4.72	0.63	4.7	0	54.5	2.13	
G+S	5.51	15.3	168	3.79	0.51	2.7	0	63.7	2.22	4.44	36.2	158	2.61	0.38	6.1	0	35.9	2.39	
G+S+M	5.4	32.4	95	3.4	0.51	3.9	0	51.6	2.35	4.91	47	102	3.14	0.41	5.5	0	40.9	2.79	
	5.62	20.2	80	3.74	0.49	2.4	0	64.9	1.63		5.05	1.8	18	3.02	0.51	3	0	54.4	1.78
MT	5.38	1.1	42	3.29	0.59	2.2	0	64.5	1.57	4.84	7.9	32	3.28	0.55	3.8	0	50.7	1.46	
G+S	5.32	1.9	63	3.17	0.6	2.4	0	62.1	1.83	4.13	7.2	65	1.81	0.23	5.3	0.1	29.4	1.46	
G+S+M	4.79	2.3	36	2.38	0.38	3.5	0	44.9	1.83	4.81	6.9	110	3.19	0.45	4.2	0	48.3	2.39	

P e K- disponíveis extraídos com Mehlich I; Ca, Mg e Al-trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; H+Al- a pH extraída com acetato de Cálcio 1

mol/L, SB= soma de bases trocáveis, V- Índice de saturação por bases, MO- Matéria orgânica

No entanto, pode-se constatar ainda que acidez trocável na profundidade 40-60cm no manejo G+S+M, foi alto devendo parcialmente a maior extração dos nutrientes feito pelo milho associado a não incorporação desta gramínea afetando consideravelmente a qualidade química do solo. Assim, foi realizada a segunda análise química do solo um mês após a colheita do tomateiro, onde se constatou melhorias na capacidade de troca catiônica e no índice da saturação por (tabela 4).

Tabela 4: Atributos químicos do solo antes da implementação do experimento e um (1) mês após a colheita em função do manejo de solo e profundidades estudadas. Viçosa-MG, 2018.

Manejo	Experimento I									Experimento II								
	pH H2O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	V	MO	pH H2O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	V	MO
	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	%	dag/kg	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	%	dag/kg
0-20																		
	6.15	333.6	252	6.83	0.8	2.4	0	77.5	3.26	5.29	31.4	111	3.13	0.54	4.8	0.1	45.1	2.51
MT	5,55	50,35	196,5	5,32	0,75	2,7	0	65,75	3,125	5,31	43,3	164	5,05	0,6	3,8	0	61,5	2,66
G+S	5,86	39,2	144	5,47	0,56	2,4	0	69,15	2,925	5,09	52,8	201	3,88	0,51	5,5	0	47,2	2,93
G+S+M	5,88	61	155	5,78	0,61	3	0	68,95	3,13	5,62	90,2	181	4,99	0,61	5,2	0	53,8	3,06
20-40																		
	5.85	102.2	113	5.21	0.61	2.3	0	72.7	2.17	4.92	10.3	36	2.43	0.41	3.5	0	45.6	1.88
MT	5,37	18,9	126,5	3,89	0,425	3,6	0	59,15	1,99	4,95	34,3	114	4,72	0,63	4,7	0	54,5	2,13
G+S	5,45	6,6	71,5	3,22	0,565	2,8	0	61	1,59	4,60	36,2	158	2,61	0,38	5,1	0	55,9	2,39
G+S+M	5,32	19,2	94,5	3,83	0,43	4	0	55,75	2,33	4,95	47	102	3,14	0,41	5,0	0	48,9	2,79
40-60																		
	5.62	20.2	80	3.74	0.49	2.4	0	64.9	1.63	5.05	1.8	18	3.02	0.51	3	0	54.4	1.78
MT	5,25	2,2	63,5	3,13	0,42	2,2	0	60,8	1,39	4,86	7,9	32	3,28	0,55	3,8	0	50,7	1,46
G+S	5,425	1,4	74	3,26	0,41	3,1	0	60,7	1,53	4,53	7,2	65	1,81	0,23	4,3	0	49,4	1,46
G+S+M	5,02	19,2	104,4	3,905	0,48	3,3	0	57,3	1,33	4,81	6,9	110	3,19	0,45	4,2	0	48,3	2,39

P e K- disponíveis extraídos com Mehlich I; Ca, Mg e Al-trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; H+Al- a pH extraída com acetato de Cálcio 1 mol/L, SB= soma de bases trocáveis, V- Índice de saturação por bases, MO- Matéria orgânica

3.8. Caracterização física do solo

Os resultados das análises físicas em função do manejo do solo e profundidades nos dois experimentos são apresentados na tabela 5. Pode constatar-se que todos os manejos possibilitaram valores elevados da densidade de partículas (D_p) e densidade de solo (D_s). No entanto, os manejos G+S e G+S+M apresentaram valores elevados da macroporosidade (ma) e condutividade hidráulica (K_o).

Tabela 5: Atributos físicos do solo na floração em função do manejo do solo nos dois experimentos. Viçosa-MG, 2018/2019.

Manejo	D_p		D_s		P_t		M_i		Ma		K_o	
	Experimentos											
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	g.cm⁻³				%				cm/h			
	10cm											
MT	2,6	2,59	1,21	1,25	0,49	0,41	0,37	0,38	0,12	0,04	5,03	1,67
G+S	2,74	2,6	1,45	1,27	0,42	0,61	0,41	0,32	0,01	0,29	9,15	4,39
G+S+M	2,68	2,61	1,26	1,25	0,47	0,46	0,38	0,35	0,09	0,11	11,75	10,71
20cm												
MT	2,7	2,59	1,37	1,38	0,52	0,59	0,4	0,35	0,12	0,24	6,99	1,36
G+S	2,68	2,61	1,32	1,41	0,49	0,5	0,37	0,36	0,12	0,14	9,45	2,13
G+S+M	2,64	2,65	1,34	1,34	0,46	0,47	0,38	0,41	0,08	0,06	17,13	11,51
30cm												
MT	2,6	2,59	1,36	1,36	0,47	0,45	0,38	0,36	0,07	0,08	5,9	1,26
G+S	2,71	2,61	1,38	1,41	0,45	0,53	0,41	0,43	0,05	0,09	3,32	2,17
G+S+M	2,68	2,58	1,4	1,35	0,47	0,47	0,37	0,39	0,1	0,09	13,44	2,1

D_p-densidade de partículas; **D_s**- densidade do solo; **M_i**-microporosidade; **P_t**- porosidade total; **Ma**- macroporosidade; **K_o**- condutividade hidráulica; MC- manejo convencional; G+S- gesso e silicatos e G+S+M- gesso, silicatos e milho.

3.9. Avaliações experimentais

Os frutos foram colhidos e utilizados para avaliação da produção de frutos (P , em $t\ ha^{-1}$). O número de frutos foi o somatório dos frutos colhidos.

A eficiência do uso da água (EUA) foi definida pela relação entre a produtividade (P) e a quantidade de água aplicada (V) com a equação $WUE = P/V$, onde: WUE = eficiência do uso da água, ($kg\ m^{-3}$), P = produção de frutos ($kg\ ha^{-1}$) V = quantidade de água aplicado ($m^3\ ha^{-1}$).

A área foliar (AF em m^2) foi determinada utilizando medidas de comprimento e largura máximos de todas as folhas da planta e diferentes tamanhos. O comprimento e

largura máximos de cada folha foram tomados com uma régua milimétrica, e da área foliar de cada folha através do medidor de área foliar LAI-3100 (LI-COR). Com os dados da área foliar, comprimento e largura máximos foi feita análise de regressão para obtenção do modelo estatístico que permite determinar a área foliar com maior precisão. No entanto, a área foliar foi estimada pelo modelo estatístico potencial o modelo que se

$$AF = 0,2419 \times L^{2,1246} \quad \text{com } R^2 \text{ igual a } 0,9613.$$

Onde: L é a largura da folha; AF é área foliar.

O índice de área foliar (IAF em $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) foi determinado pela relação da área foliar pela área ocupada pela planta, como mostrado na equação 4.

$$IAF = \frac{AF}{AP} \quad \text{eq. (3)}$$

Onde: IAF é o índice de área foliar; AF, área foliar, em m^2 ; AP, área ocupada pela planta, em m^2 .

Para amostragem do sistema radicular, foi utilizado um trado tipo sonda com 50 mm de diâmetro e 1,20 m de comprimento (GUAN et al., 2015; QUANQI et al., 2010; SHARMA et al., 2014). Foram retiradas amostras nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. A amostragem foi composta por uma planta por tratamento, com cinco repetições. Após a retirada, as amostras de solo e raiz foram colocadas sobre uma peneira de malha 2.0 mm e com auxílio de jatos de água para separação do solo e das raízes. As raízes de cada amostra foram submetidas a um scanner (Epson V700, Indonésia) para obtenção das imagens. Usando o software WinRHIZO versão 5.0 (Regent Instruments Inc., Quebec City, Canadá), avaliou-se a densidade de comprimento radicular (DCR, cm de raiz cm^{-3} do solo) e a densidade da área superficial radicular (DSR, cm^2 raiz cm^{-3} do solo) (GUAN et al., 2015; MOSADDEGHI; MAHBOUBI; SAFADOUST, 2009; QUANQI et al., 2010).

A taxa fotossintética líquida (An), a transpiração (E) e a condutância estomática (gs) foram medidas entre: 8:00 – 11:00, em condições de campo em dias ensolarados, com o analisador IRGA (LI-6400, LI-COR Biosciences, Inc Lincoln Nebraska). Utilizou-se o segundo par de folíolos da terceira folha em um folíolo de uma planta por unidade experimental, registrando-se cinco leituras sucessivas. Foram utilizadas luz actínica constante ($1000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração atmosf\u00e9rica de CO_2 (Ca) ($\sim 385 \mu\text{mol mol}^{-1}$) e temperatura do ambiente ($23,9^\circ\text{C} \pm 0,9$ e $28,0 \pm 0,7$).

A eficiência instantânea de carboxilação da rubisco (C_{ei}) foi definida pela relação entre a fotossíntese líquida (A_n) e o CO_2 interno (C_i) com a equação $C_{ei} = A_n/C_i$, onde: C_{ei} = eficiência instantânea de carboxilação da rubisco, (adimensional), A_n = fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), C_i = CO_2 interno ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Para discriminação isotópica de carbono, foi usada a terceira folha totalmente expandida desenvolvida durante a aplicação dos tratamentos. As amostras foram colocadas em estufas com circulação de ar forçado a 65°C , por 72 horas para a secagem e moídas até uma textura fina utilizando um moinho ZM200 (Retsch, Alemanha). A razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($R_{amostra}$) das amostras de folhas foi analisada utilizando o analisador automático de carbono e nitrogênio- Sólido e líquido (ANCA-SL, SerCon, Reino Unido) em interface com um espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS) (20-20, SerCon, Reino Unido). A composição isotópica foi relatada como $\delta^{13}\text{C}$ em ‰ usando Vienna Pee Dee Belemnite (V-PDB) como padrão internacional ($R_{padrão}$) e calculada usando a equação 4 (FARQUHAR; EHLERINGER; HUBICK, 1989; WEI et al., 2016).

A discriminação isotópica de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$, ‰) foi calculada pela equação 5 e foi adotado o valor da composição isotópica de carbono do ar ($\delta^{13}\text{C}_{ar}$) de $-8,0\text{‰}$ (LANARI et al., 2018).

$$\delta^{13}\text{C}_{amostra} = \left(\frac{R_{amostra}}{R_{padrão}} - 1 \right) \times 1000 \quad \text{eq.(4)}$$

$$\Delta^{13}\text{C} = \left[\frac{\delta^{13}\text{C}_{ar} - \delta^{13}\text{C}_{planta}}{1 + \delta^{13}\text{C}_{planta}} \right] \times 1000 \quad \text{eq.(5)}$$

Em que:

$\delta^{13}\text{C}_{amostra}$: Composição isotópica de carbono da amostra (‰);

$R_{amostra}$ - Razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra;

$R_{padrão}$ - Razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ padrão;

$\delta^{13}\text{C}_{ar}$ - Composição isotópica de carbono do ar (‰);

$\Delta^{13}\text{C}$ - Discriminação isotópica do carbono(‰).

Os fito-hormônios e osmorreguladores foram extraídos das folhas seguindo-se a metodologia descrita por MÜLLER et al. (2011) com modificações. Onde, cerca de 110 mg de tecido fresco foi macerado em nitrogênio líquido seguida da adição de 400 μl de

solução extratora (metanol:isopropanol:ácido acético 20:79:1). As amostras foram agitadas em vortex (4 vezes por 20 segundos), sonicadas (5 min) e mantidas no gelo (30 minutos). Após centrifugação (13000g, 10 min a 4°C), 350 µl do sobrenadante foi coletado para novo tubo. Ao pellet resultante, repetiu-se o processo de extração e, em seguida, juntou-se os sobrenadantes. Uma última centrifugação (20000g, 5 min a 4°C) foi realizada para remoção de restos de tecido em suspensão. O extrato obtido foi automaticamente injetado (5µl) no sistema LC-MS/MS utilizando o equipamento modelo Agilent 1200 Infinity Series acoplado ao espectrômetro de massas tipo triplo quadrupolo (QqQ), modelo 6430 Agilent Technologies.

Foram realizadas leituras das massas do íon precursor/fragmento de cada molécula: citocinina (zeatina), etileno via ácido 1-carboxílico-1-amino ciclopropano (ACC), ácido abscísico (ABA), ácido indol acético (AIA), ácido jasmoníco (JA), prolina, putrescine, espermine e espermidine. E, com a equação da reta obtida mediante a curva de calibração (0.1ng a 200ng) foi feita a quantificação absoluta de cada molécula. Os dados gerados foram analisados no software “MassHunter Workstation” para obtenção da área dos picos de cada hormônio nas amostras e os resultados foram expressos em ng/g de tecido fresco.

A determinação do conteúdo relativo de água na folha (**CRA**) foi obtida mediante a coleta de três folíolos de uma folha totalmente desenvolvida de uma planta por unidade experimental, em um dia estável em relação a irradiância e temperatura. A coleta foi realizada em quatro período ao longo do dia (08:00, 10:00, 13:00 e 15:00 horas). Os folíolos coletados foram pesados para obtenção do peso fresco [**PF**] e imersas em uma solução de CaCl₂ à 5 mM por 8 h. Em seguida, foram pesados novamente para obtenção do peso túrgido [**PT**] e então armazenadas a 60 ° C por 48 h. Após este período foi obtido o peso seco [**PS**]. O conteúdo relativo de água (CRA) foi obtido de acordo com Barrs e Weatherley (1962):

$$CRA(\%) = \frac{PF - PS}{PT - PS} * 100 \quad \text{eq. (6)}$$

3.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para cada experimento individual com o programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

4. RESULTADOS

4.1. Características Agronômicas

Não houve o efeito da interação e do fator cultivar em nenhuma das variáveis estudadas nos dois experimentos (Anexo 1).

4.1.1. Produtividade total ($t \cdot ha^{-1}$)

A tabela 6 mostra que houve o efeito significativo do fator manejo sobre a variável produtividade, evidenciando que o uso de manejo G+S no experimento I proporcionou maior produtividade ($168,0 t \cdot ha^{-1}$), diferindo dos demais, MT e G+S+M, que obtiveram $130,79$ e $130,26 t \cdot ha^{-1}$, respectivamente. Analisando o experimento II pode-se constatar que os manejos G+S e G+S+M proporcionaram maiores produtividades apresentando $102,86$ e $96,71 t \cdot ha^{-1}$, respectivamente. Diferindo em relação ao MT. O aumento da produtividade nos dois experimentos, considerando a mesma aplicação de água possibilitou um aumento de 24% na eficiência do uso de água % do manejo G+S em relação aos restantes manejos para o experimento I, e 24,4 e 19,7% do manejo G+S e G+S+M, respectivamente, considerando o experimento II (tabela 6).

Tabela 6: Valores médios da produtividade ($t \cdot ha^{-1}$) e eficiência do uso de água-EUA ($kg \cdot m^{-3}$) em função dos manejos e cultivares estudados nos dois experimentos.

	Experimento I		Experimento II	
	Manejo			
	PROD ($t \cdot ha^{-1}$)	EUA ($kg \cdot m^{-3}$)	PROD ($t \cdot ha^{-1}$)	EUA ($kg \cdot m^{-3}$)
MT	130,79 B	2,10 B	77,61 B	0,756 B
G+S	168,80 A	2,72 A	102,86 A	1,00 A
G+S+M	130,26 B	2,09 B	96,71 A	0,94 A
Cultivar				
INOVART	143,39 A	2,31 A	90,38 A	0,88 A
N-901	143,17 A	2,30 A	94,41 A	0,92 A
CV	13,13	13,08	9,01	8,93

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Viçosa, MG, 2018.

4.1.2. Área foliar (AF) e Índice de área foliar (IAF)

A área foliar e índice da área foliar foram maiores médias nos manejos G+S e G+S+M quando comparados ao manejo tardio, 1.91 e 1.77 $\text{m}^2.\text{planta}^{-1}$, 4.25 e 4.022, respectivamente, no experimento I. Por outro lado, estas variáveis não mostraram diferenças significativas no experimento II (figura 3).

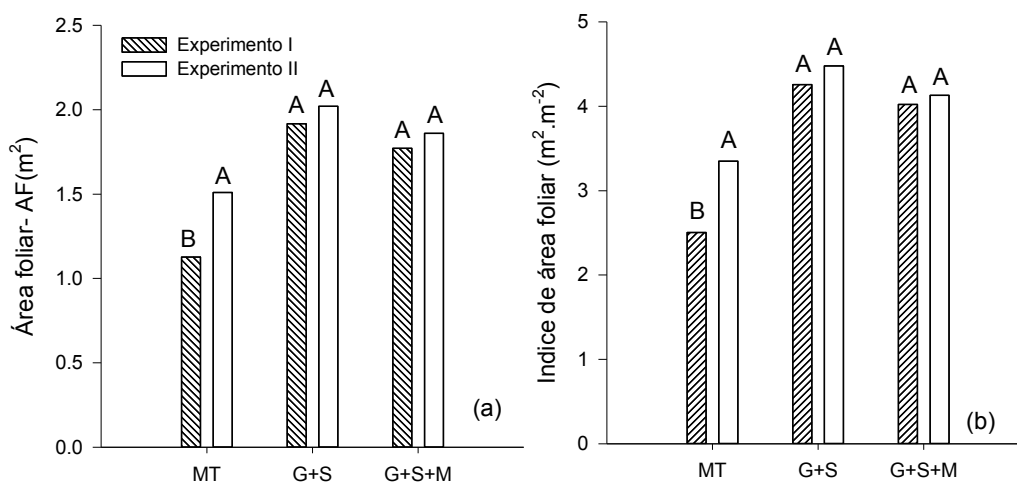


Figura 3: Área foliar- AF (a) e Índice de área foliar- IAF (b) em função dos manejos estudados nos dois experimentos. Médias seguidas de mesma letra para cada experimento, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Viçosa, MG, 2018/2019

4.1.3. Densidade do comprimento radicular (DCR) e da área específica radicular (DSR)

As figuras 4a e b mostram a densidade do comprimento radicular, nos experimentos I e II, respectivamente. Pode-se constatar que no experimento I pode-se constatar que o manejo G+S+M apresentou maior densidade de comprimento radicular (DCR) - $0,42 \text{ cm cm}^{-3}$ na profundidade de (80-100cm), seguido do manejo G+S e manejo tardio, com $0,29$ e $0,24 \text{ cm cm}^{-3}$, respectivamente. Enquanto no experimento II, as diferenças entre os manejos nesta profundidade foram mínimas, $0,19$; $0,17$ e $0,15 \text{ cm cm}^{-3}$, para os manejos G+S+M, MT e G+S, respectivamente. A densidade de área superficial da raiz (DSR) mostrou comportamento similar da DCR nas profundidades 20 a 80cm, porém na profundidade 80-100cm não houve diferenças entre os manejos (figura 4 c e d).

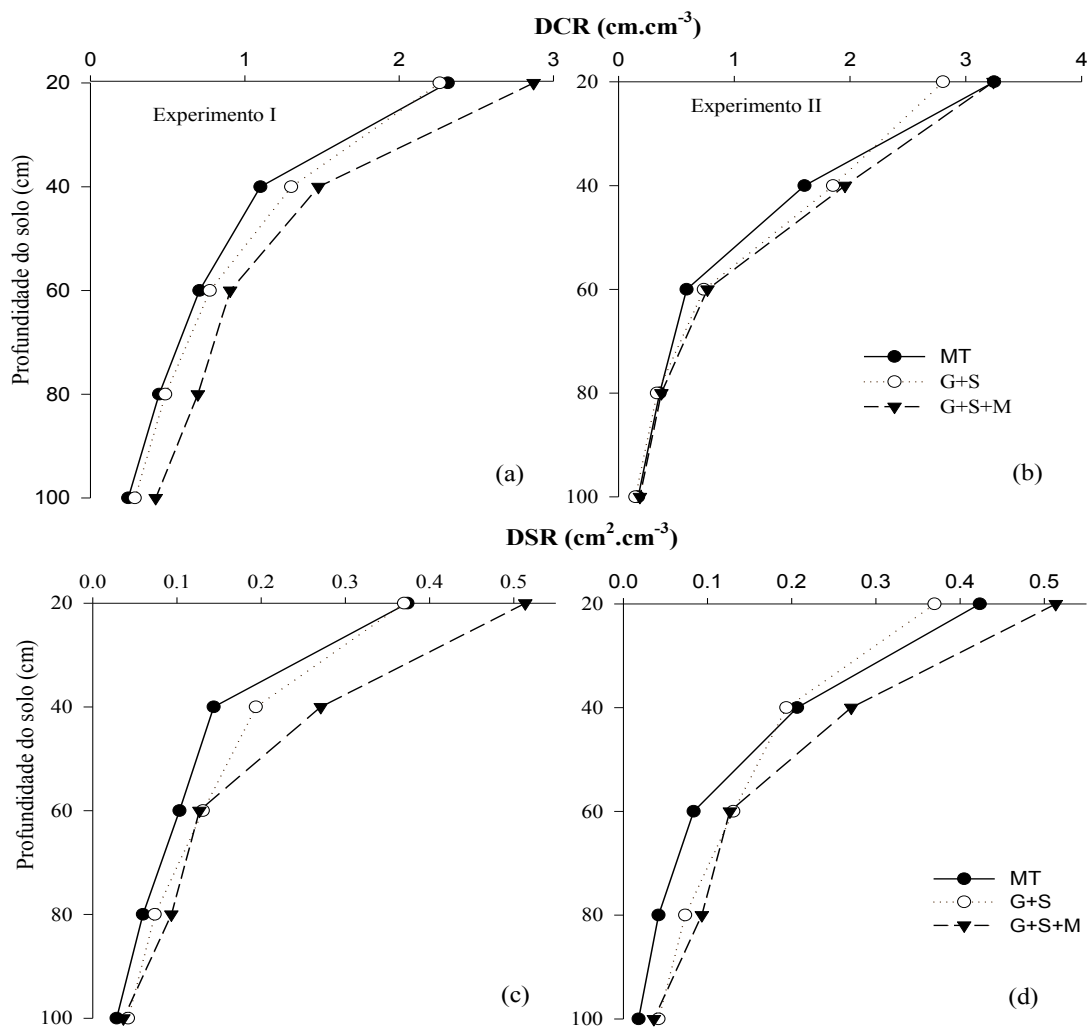


Figura 4: Distribuição da densidade de comprimento radicular – DCR (a) e (b) e da densidade da área superficial radicular -DSR (c) e (d), em todo o perfil de solo avaliado nos experimentos I e II, respectivamente

Na figura 5 são apresentadas comparações entre a densidade de comprimento radicular (DCR) e densidade da área superficial da raiz (DSR) em função dos manejos estudados nas camadas 0-40; 40-100 e 0-100cm, para os dois experimentos, respectivamente. Na mesma figura pode-se verificar que para o experimento I, os manejos G+S+M e G+S proporcionaram maior DCR na profundidade de 40 a 100 cm, 2,02 e 1,54 cm cm⁻³, respectivamente. Diferindo significativamente do manejo tardio. No entanto, não foram verificadas diferenças significativas para DSR no experimento I e todas as variáveis no experimento II.

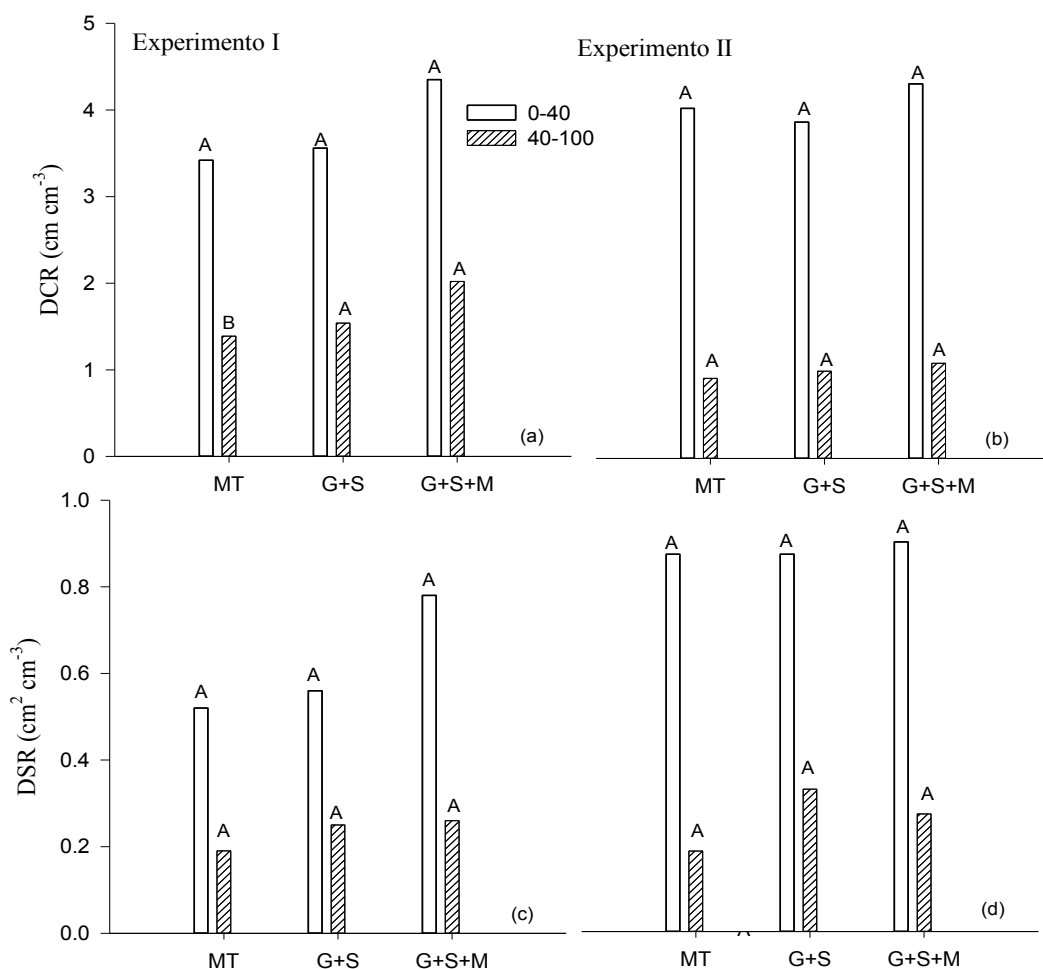


Figura 5: Densidade de comprimento radicular- DCR (a) e densidade da área superficial radicular -DSR (b) em função dos manejos estudados. Médias seguidas de mesma letra para cada experimento, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Viçosa, MG, 2018/2019

4.2. Trocas gasosas

De acordo com o resumo da análise de variância, observou-se efeito isolado do manejo do solo e da cultivar para a maioria das variáveis de trocas gasosas estudadas no experimento I, exceto a concentração interna de CO₂ (C_i). A interação manejo do solo não foi significativa para nenhuma das variáveis estudadas. No entanto, análises feitas para o experimento II, mostram efeito isolado do manejo do solo sobre as variáveis taxa de assimilação líquida de CO₂ (A_N) e eficiência instantânea de carboxilação (C_{ei}). (Anexo 2).

A taxa de assimilação líquida de CO₂ (A_N) (Tabela 7) foi superior nas plantas submetidas aos manejos G+S+M e G+S, com 28,34 e 27,34 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente, diferindo significativamente das plantas submetidas ao manejo tardio

no experimento I. Para cultivar Inovart ($27,55 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram observadas diferenças significativas em relação à N-901 ($26,05 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). De igual forma, a A_N no experimento II, foi superior em plantas submetidas aos manejos G+S e G+S+M com $25,41$ e $23,77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, diferindo significativamente do manejo tardio. Porém, comparando o manejo G+S+M e o MT, não houve diferenças significativas.

Em relação a condutância estomática (g_s) foi observado que esta variável teve comportamento similar à A_N considerando o experimento I, onde as maiores foram registradas nos manejos G+S e G+S+M, com $0,68$ e $0,64 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, mostrando diferenças significativas em relação ao manejo tardio ($0,58 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Enquanto que, a maior média da g_s entre as cultivares foi registrada na cultivar N-901 ($0,66 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) diferindo significativamente da Inovart ($0,59 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Da igual forma, a transpiração (E) mostrou o mesmo padrão de resposta da g_s , mostrando as maiores médias de E nos manejos G+S e G+S+M, com $7,73$ e $7,40 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, diferindo significativamente do manejo MT, $6,83 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, independente da cultivar usada. No entanto, o g_s e E não mostraram diferenças significativas no experimento II.

Quanto ao parâmetro eficiência da carboxilação da rubisco (C_{ei}) avaliado no experimento I, os valores mais elevados foram encontrados nos manejos G+S+M e G+S com $0,095$ e $0,09 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente. Enquanto que o valor mais baixo foi verificado no manejo tardio, não diferindo significativamente do manejo “G+S”. A cultivar Inovart apresentou maior C_{ei} ($0,093 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$) diferindo significativamente da eficiência obtida pela N-901. No experimento II, os valores mais elevados foram $0,067$ e $0,0634 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$, encontrados nos manejos G+S e G+S+M, respectivamente. E o valor mais baixo foi observado no manejo convencional ($0,056 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$), não diferindo significativamente do manejo “G+S+M”.

Tabela 7: Valores médios de A_N - Taxa de assimilação líquida de CO_2 ($\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); g_s - condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); E - transpiração foliar ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); C_i - concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e C_{ei} - eficiência instantânea de carboxilação ($\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol } CO_2 \text{ mol}^{-1}$), em diferentes manejos do solo e cultivares de tomate, nos dois experimentos. Viçosa, MG, 2018.

	Experimento I					Experimento II				
	A_N	g_s	E	C_{ei}	C_i	A_N	g_s	E	C_{ei}	C_i
Manejo										
MT	24,9 B	0,58 B	6,83 B	0,084 B	299,8 A	20,96 B	0,92 A	5,35 A	0,056 B	377,9 A
G+S	27,4 A	0,68 A	7,73 A	0,09 AB	300,0 A	25,41 A	1,04 A	5,53 A	0,067 A	379,65 A
G+S+M	28,3 A	0,64 AB	7,4 AB	0,095 A	308,9 A	23,77 AB	1,04 A	5,40 A	0,0634 AB	373,63 A
Cultivar										
INOVART	27,6 A	0,59 B	6,7 A	0,093 A	299,3 A	23,96 A	1,01 A	5,58 A	0,06 A	375,25 A
N-901	26,1 B	0,66 A	6,72 B	0,079 B	306,5 A	22,81 A	0,98 A	5,27 A	0,065 A	378,85 A
CV (%)	5,91	10,74	7,39	10,2	5,05	15,99	20,68	10,88	14,98	6,15

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%

4.3.

Discriminação isotópica de carbono

Não verificou-se efeito significativo para nenhuma das fontes de variação para a discriminação isotópica do carbono (Anexo 3). Tendo os valores médios de 22,5; 23,24 e 23,95 ‰ para os manejos MT, G+S e G+S+M respectivamente. Já para as cultivares os valores médios foram 23,19 e 23,33 ‰ para Inovatr e N-901, respectivamente.

4.4. Fito hormônios e osmorreguladores

O resumo da análise de variância mostrou efeito isolado do manejo do solo para todos os fito-hormônios e osmorreguladores avaliados. Porém, não houve o efeito da interação e do fator cultivar (Anexo 4).

De acordo com figura 6a, o manejo G+S+M apresentou em média menores concentrações do fito hormônio, ácido abscísico (ABA), 39,13 e 50,07 ng g⁻¹, não diferindo significativamente do manejo G+S, 47,74 e 61,81 ng g⁻¹, nos experimentos I e II, respectivamente. No entanto, a maior média da concentração do ABA foi observado no manejo tardio, ABA (122,24 e 74,35 ng g⁻¹) diferindo significativamente dos restantes manejos. Em relação ao Zeatin, a menor média foi observado no manejo G+S+M (154,41 ng g⁻¹), não diferindo significativamente do manejo G+S (182,39 ng g⁻¹), para o experimento I, e no experimento II não foram observadas diferenças significativas entre os manejos (figura 6c).

Comportamento similar das concentrações de fito hormônio foi observado nos osmorreguladores avaliados. Sendo, os manejos G+S+M e G+S apresentado em média menores concentrações de Putrescine 0,07 e 0,18 ng.g⁻¹, respectivamente no experimento I, diferindo da concentração observada no manejo tardio (0,39 ng g⁻¹). No entanto, não foram observadas diferenças significativas para este osmorregulador no experimento II. Para a Prolina, a menor média da concentração para o experimento I foi observada no manejo G+S (17,61 g.g⁻¹) diferindo significativamente dos restantes manejos. Para o experimento II, a menor concentração da prolina foi observada no manejo G+S+M (4,85 g g⁻¹), não diferindo significativamente da concentração observada no manejo G+S (13,93 g g⁻¹) (figura 6b). No entanto, pode-se constatar que as concentrações dos fito hormônios e osmorreguladores avaliados foram relativamente variáveis, com coeficientes de variação altos.

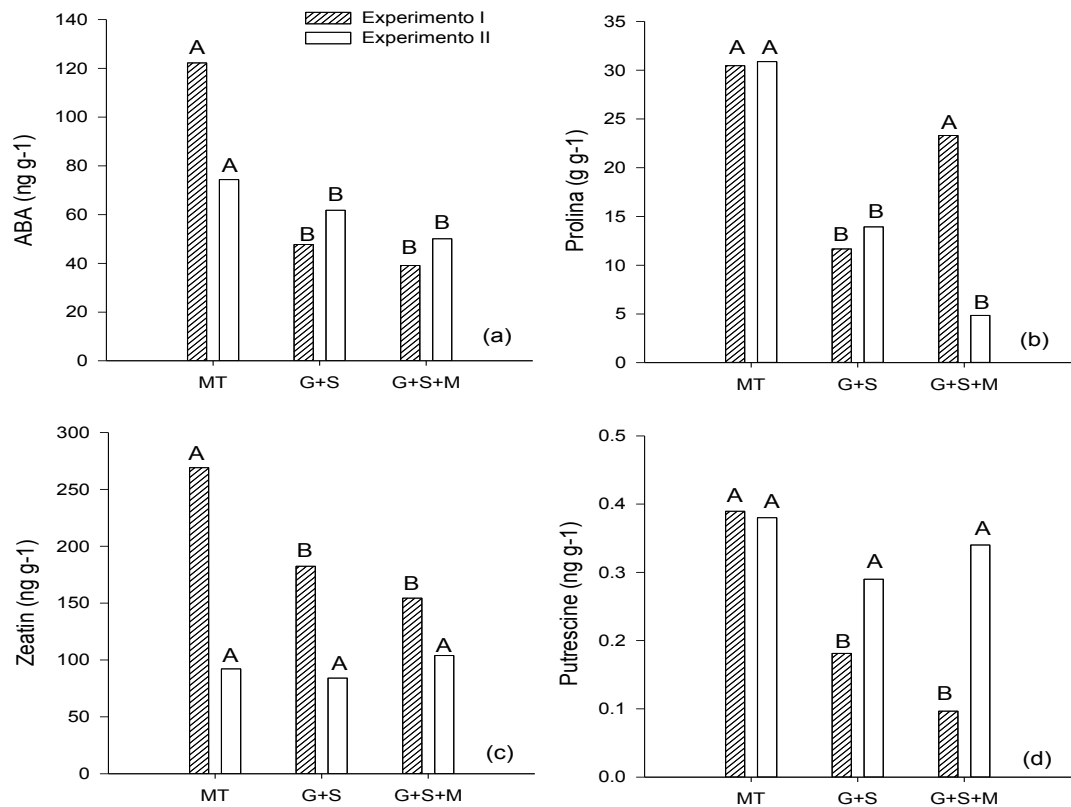


Figura 6: Valores médios de fitohormônios: Ácido abscísico- ABA (a) com $CV_1=31,01$ e $CV_2=29,9\%$, e Zeatina (c), $CV_1=29,31$ e $CV_2=51,63\%$, nos experimentos I e II respectivamente. E osmorreguladores: Prolina (b) com $CV_1=35,49$ e $CV_2=83,21\%$, e putrescine (d), $CV_1=47,08$ e $CV_2=43,86\%$. Médias seguidas de mesma letra para cada experimento, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5. Conteúdo relativo de água nas folhas

Os resumos da análise de variância mostram que efeito isolado do manejo sobre o conteúdo relativo de água nas folhas no horário das 13 Horas para o experimento I e 13 e 15 Horas para o experimento II (Anexo 5).

A figura 7 apresenta o conteúdo relativo de água nas folhas (CRA), mostrando que as plantas submetidas aos manejos G+S e G+S+M apresentarão o CRA acima dos 75% no horário mais quente do dia (13 Horas) no experimento I e acima dos 65% de CRA nos horários das 13 e 15 Horas no experimento II, considerando seis (6) dias sem irrigação.

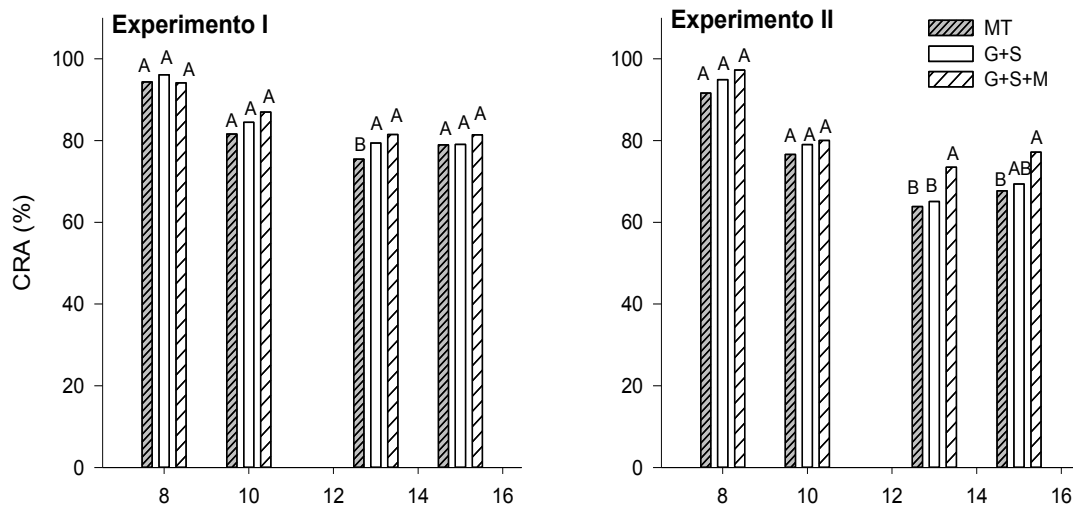


Figura 7: Valores médios do conteúdo relativo de água nas folhas (CRA) em função do Manejo do solo em diferentes horários do dia 01/08/2018 para experimento I e 23/01/2019 para experimento II. Médias seguidas de mesma letra dentro de cada horário, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Viçosa, MG, 2018/2019.

5. DISCUSSÃO

O manejo antecipado de gesso e silicatos proporcionou maiores produtividades (168 e 102,86 t ha⁻¹), nos experimentos I e II, respectivamente. Tais resultados podem ser explicados, ao menos parcialmente, pela melhoria nas características químicas do solo, tais como aumento nos teores de nutrientes, principalmente de Ca²⁺, Mg²⁺ e P. Aliado a isso, a melhoria na qualidade física do solo, garantiu ambiente favorável para o desenvolvimento das raízes, possibilitando maior área de exploração no solo absorvendo mais água e nutrientes (MÜLLER; RANQUET BOULEAU; PERONA, 2016; SINCLAIR et al., 2011). No entanto, o uso do milheto, apesar de ter proporcionado melhorias em parâmetros físicos do solo, acarretou maior extração dos nutrientes, influenciando a química do solo. Ademais, a não incorporação do milheto e sua elevada relação C/N podem ter afetado negativamente as características químicas do solo nas camadas mais profundas, afetando a produtividade do tomateiro.

Segundo CALVO; FOLONI; BRANCALIÃO (2010), além da alta adaptabilidade à deficiência hídrica e grande capacidade de reciclar nutrientes, o milheto apresenta grande demanda por N e relação C/N elevada quando comparada a leguminosas. Segundo ROBERTO et al.(2014), os resíduos do milheto apresentam baixa concentração de N, afetando a quantidade de N mineralizado, podendo imobilizar o N mineral disponível no solo, comprometendo a química do solo. Não obstante, é razoável sugerir que nas condições aqui utilizadas as melhorias em parâmetros físicos do solo foram traduzidas em ganhos na produtividade a despeito dos prejuízos nas características químicas do solo.

A melhoria das características físicas do solo verificadas nos manejos G+S e G+S+M possibilitaram uma maior desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente maior absorção de água e nutriente. Segundo XU et al., (2015) a baixa disponibilidade de água no solo promove a realocação de assimilados da parte aérea para as raízes para que a planta se adapte a esta condição provocando mudanças na estrutura da raiz. A expansão da raiz para camadas mais profundas do solo tem sido considerada a principal manifestação da déficit hídrico em plantas, para extrair água e nutrientes (KUMAR et al., 2017).

As plantas submetidas aos manejos G+S e G+S+M apresentaram um sistema radicular desenvolvido e profundo, evidenciando que estes manejos associado a frequência de irrigação adotada, possibilitou o carreamento de nutrientes para camadas mais profundas (CARMEIS FILHO et al., 2016; MOHAMMADSHIRAZI et al., 2017;

NEIS et al., 2010). A redução da umidade nas camadas superficiais ocasionada pela frequência de irrigação, induziu o crescimento radicular buscando por camadas mais úmidas (JIA et al., 2018b; QUANQI et al., 2010; SHARMA et al., 2014). Um sistema radicular desenvolvido e profundo possibilita uma maior absorção de água garantindo maior potencial hídrico nas folhas e maior expansão celular e área foliar. Assim, as diferenças encontradas para área foliar e índice de área foliar foram, em larga parte, devidas ao manejo antecipado de gesso e silicatos. Segundo REIS et al. (2013), a elevação do potencial hídrico nas folhas favorece a expansão foliar contribuindo para uma maior interceptação da energia luminosa, resultando em maior produção de fotoassimilados e maior produção.

As plantas submetidas aos manejos G+S e G+S+M, em virtude de apresentarem sistema radicular mais profundo, atenderam melhor a demanda transpiratória, mantendo a condutância estomática alta e transpirando mais. TAIZ; ZEIGER (2013) salientam que a disponibilidade de água favorece o aumento da condutância estomática garantido a manutenção da abertura estomática por mais tempo. Segundo KUWAHARA; et. al, (2009) existe uma forte relação entre a transpiração e a abertura estomática, sendo que quanto maior a condutância estomática, maior é a transpiração. WANG et al., (2012) apontam a redução do potencial da água na folha, como o principal fator para o fechamento dos estômatos e diminuição da condutância estomática, e consequente decréscimo na transpiração. Portanto, uma regulação efetiva da abertura dos estômatos é primordial para o desenvolvimento da planta sob condições de déficit hídrico.

Estudos comparativos demonstraram que o déficit hídrico do solo provoca uma redução da condutância estomática (SUN et al., 2018), mesmo na ausência de déficit hídrico foliar (HOLBROOK et al., 2002), levando a uma diminuição da transpiração. As diferenças significativas encontradas para as cultivares nas características fisiológicas para o presente trabalho, podem ser explicadas, ao menos em parte, pelas características intrínsecas da cultivar. Segundo BATISTA; DOMBROSKI (2011) diferenças na condutância estomática entre cultivares da mesma espécie devem-se, basicamente, a características intrínsecas da cultivar. CASTRO; PEREIRA; PAIVA (2009) apontaram que alguns genótipos adaptados a condições de maior luminosidade, apresentam maior densidade estomática e estômatos menores, permitindo que os estômatos se tornem mais eficientes na captação de CO₂ com menor perda de água por transpiração.

MANZONI et al., (2013) apontam que a redução da condutividade hidráulica do solo, limita a quantidade de água disponível para as plantas, causando redução da

condutância estomática impactando assim na transpiração e na fotossíntese. Porém, LAWLOR; TEZARA (2009), sustentam que sob condições de déficit hídrico, as plantas apresentam uma menor abertura estomática, para manter maior potencial de água e pressão de turgor ideal.

A maior condutância estomática (g_s) apresentada por plantas submetidas aos manejos G+S e G+S+M, possibilitou uma maior taxa de assimilação líquida de CO_2 (A_N) sugerindo que o controle das trocas gasosas esteja associado mais fortemente à fatores estomáticos, uma vez que aumentos na g_s promovem incrementos na A_N (FREITAS et al.; 2012), porém no presente trabalho estes incrementos não foram proporcionais. Todavia, MEDRANO et al., (2002) apontam que sob condições de déficit hídrico, a fotossíntese dependem mais da condutância estomática do que parâmetros típicos que refletem o estado da água da folha. DA SILVA et al. (2015) afirmam que a redução da condutância estomática seja um dos principais responsáveis pela redução da fotossíntese.

Segundo KONRAD et al., (2005), a eficiência da carboxilação da RUBISCO (C_e) possibilita estimar os fatores não-estomáticos que estariam afetando o rendimento fotossintético e, conseqüentemente, a produtividade, tendo ação na enzima RUBISCO, fatores estes que podem estar relacionados ao ambiente, ou mesmo a própria planta (CAMILLI et al., 2007). A redução na eficiência da RUBISCO observada pelas plantas submetidas ao manejo tardio pode ser devido aumento na resistência mesofilica causado pelo fechamento estomático, ocasionando o aumento da atividade oxigenase da RUBISCO com conseqüente aumento da fotorrespiração, e redução da fotossíntese (KRON; SOUZA; RIBEIRO, 2008). Porém, a discriminação isotópica de carbono das plantas em todos os manejos, mostra que estas não foram influenciadas pelo tipo de manejo nem cultivar usado, evidenciando que os aumentos na taxa fotossintética foram devidos a manutenção da abertura estomática e não a relação entre a concentração intercelular e atmosférica de CO_2 (FARQUHAR; EHLERINGER; HUBICK, 1989; LANARI et al., 2018).

Outro indício da redução da fotossíntese ocasionada pelo manejo tardio foi o aumento da concentração do ácido abscísico (ABA) na folha, como conseqüência da resposta direta do sistema radicular a redução na disponibilidade hídrica no solo, promovendo a redução da abertura estomática e transpiração (VERSLUES, 2016; YAN; LI; LIU, 2017). YAN; LI; LIU (2017) apontam que reduções na condutância estomática em resposta à redução do potencial hídrico do solo são devidas principalmente ao

fechamento parcial estomático induzido pela sinalização química da raiz para parte aérea, principalmente pelo ABA. No entanto, as respostas do ABA mais relatadas ocorrem sob estresse severo (CLAEYS; INZE, 2013). POSPÍŠILOVÁ et al., (2005) apontam reduções de níveis de zeatina com o aumento do nível do ABA e a diminuição da condutância estomática, especialmente sob déficit hídrico, levando ao decréscimo da fotossíntese, senescência foliar e inibição do crescimento.

A estabilidade osmótica das plantas submetidas aos manejos G+S e G+S+M mostrado pela concentração dos osmorreguladores (prolina e putrescina), evidencia que estas plantas não se ajustaram osmoticamente como forma de reduzir a perda de água pelas células. Os osmorreguladores normalmente são abundantes nas plantas, no entanto, sob condições de estresse por temperatura, salinidade e por falta de água ocorre o aumento significativo da produção para reduzir danos ocasionados por esses estresses (GONZALEZ-AGUILAR et al., 1997; TANOU et al., 2014; YAMAGUCHI et al., 2007). No entanto, concentrações encontradas nas plantas do manejo tardio, evidenciam que estas plantas tiveram que se ajustar osmoticamente a uma situação de redução da disponibilidade hídrico no solo. MARIJUAN; BOSCH (2013), apontando que o ajuste osmótico é um dos mecanismos fisiológicos mais eficazes para manutenção da turgescência celular, sob baixo potencial hídrico no solo.

A manutenção do equilíbrio entre a quantidade de água e a concentração de prolina nas células vegetais é importante para o funcionamento normal destas. Em condições de redução da água na planta, é aumentada a concentração de prolina como resposta da planta, ajustando osmoticamente as células impedindo as rupturas das atividades normais (KHAN et al., 2015).

Os manejos G+S e G+S+M proporcionaram elevado conteúdo relativo de água nas folhas (CRA) das plantas, sendo evidenciadas por reduções de até 20 e 35 % do CRA em horários de pico de temperaturas diárias, para os experimentos I e II, respectivamente. Indicando que os manejos garantiram suprimento constante da água para as plantas. Segundo ANJUM et al., (2011) o CRA é uma das características fisiológicas mais importantes relacionadas com mecanismo de tolerância a desidratação, e a manutenção do elevado CRA é uma forma de medir o estado hídrico da planta. A água é o fator responsável pela manutenção da turgidez nas folhas influenciando a temperatura foliar da planta (KHAN et al., 2015). No entanto, em situação de redução da disponibilidade de água no solo ocorre o fechamento estomático, e consequente

redução do conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas e aumento da temperatura foliar, provocando inativação de enzimas da fotossíntese e da respiração.

O decréscimo no CRA encontrados em todos os manejos e horários estudados, na ordem de 30% evidenciam, em parte, que foram devidos a aspectos ligados a manutenção da abertura estomática. Segundo LAWLOR; CORNIC (2002) decréscimo no CRA de plantas C3 apresentam diferentes comportamentos, sendo reduções entre 100 a 75% classificado como fase estomática, que pode ser superada com alterações na concentração atmosférica de CO₂, e a abaixo de 75% classificada como inibição metabólica, onde a assimilação de carbono vai se tornando progressivamente menos reversível com o aumento de CO₂ atmosférico.

6. CONCLUSÕES

O manejo antecipado de gesso e silicatos ocasionou ganhos significativos na produtividade em relação aos demais manejos. Registre-se que esse incremento se deve, em larga proporção, ao aprofundamento do sistema radicular que garantiu maiores condutâncias estomática.

Esse incremento na produtividade foi acompanhado de aumentos na taxa fotossintética líquida e uma maior condutância estomática. Apesar das pequenas diferenças observadas em parâmetros de raízes, os resultados obtidos indicam que os manejos antecipado de gesso e silicatos, e cultivo de milho proporcionaram maior aprofundamento radicular. Logo, o cultivo do tomateiro com manejo antecipado do gesso, silicatos e cultivo de milho proporciona aprofundamento radicular e maiores aberturas estomáticas em relação ao manejo tardio.

7. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 799–806, 2003.

ALMEIDA, V. S.; DELAZARI, F. T.; NICK, C. Optimizing yields in tomato cultivation: maximizing tomato plant use of resources. In: MATTOO, A. .; HANDA, A. (Eds.). . **Achieving sustainable cultivation of tomatoes**. Burleigh D ed. PURDUE: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2017. p. 1–18.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, casa de vegetação e Hidroponia**. 2. ed. rev ed. Lavras: [s.n.].

ANJUM, S. A. et al. Morphological , physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026–2032, 2011.

BAKHT, T. et al. INTEGRATION OF ROW SPACING , MULCHING AND HERBICIDES ON WEED MANAGEMENT IN TOMATO. **Pakistan Journal of Botany**, v. 46, n. 2, p. 543–547, 2014.

BARRS, H.; WEATHERLEY, P. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 15, p. 413–428, 1962.

BATISTA, T. M.; DOMBROSKI, J. L. D. **FOTOSSÍNTESE E CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DE TOMATE SM-16 E MARIANA CULTIVADOS COM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DO SOLO**. [s.l.] Universidade federal rural do semiárido- RN, 2011.

BUI, H. H.; SERRA, V.; PAGÈS, L. Root system development and architecture in various genotypes of the Solanaceae family. **Botany**, v. 93, n. April 2015, p. 1–10, 2016.

CALVO, C. .; FOLONI, J. .; BRANCALIÃO, S. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77–86, 2010.

CAMILLI, L. et al. Produtividade e Estimativa da Eficiência de Carboxilação in vivo da Enzima Rubisco em Girassol Ornamental Cultivado em Lodo de Esgoto. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. supl. 2, p. 858–860, 2007.

CARMEIS FILHO, A. C. A. et al. Impact of amendments on the physical properties of soil under tropical long-term no till conditions. **PLOS ONE**, v. 11, n. 12,

p. 1–21, 2016.

CARRIJO, O. A.; SOUZA, R. B. DE; MAROUELLI, W. A. Fertirrigação de hortaliças 1. n. CI, p. 1–13, 2004.

CARVALHO, J. .; PAGLIUCA, L. Tomate: Um mercado que não pára de crescer globalmente. **Revista Hortifruti Brasil**, 2007.

CASTRO, E. M. D. .; PEREIRA, F. J. .; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. UFLA ed. Lavras: [s.n.].

CHATER, C. et al. Elevated CO₂-Induced Responses in Stomata Require ABA and ABA Signaling. **Current Biology**, v. 25, n. 20, p. 2709–2716, 2015.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551–560, 2009.

CLAEYS, H.; INZE, D. The Agony of Choice: How Plants Balance Growth and Survival under Water-Limiting Conditions. **Plant Physiology**, v. 162, n. 4, p. 1768–1779, 2013.

CORNIC, G.; MASSACCI, A. Leaf photosynthesis under drought stress. In: **Photosynthesis and the Environment**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 347–366.

COSKUN, D. et al. The Role of Silicon in Higher Plants under Salinity and Drought Stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. July, p. 1–7, 2016.

CUTLER, S. R. et al. Abscisic Acid: Emergence of a Core Signaling Network. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, n. 1, p. 651–679, 2010.

DA SILVA, F. G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946–952, 2015.

DELAZARI, F. T. et al. Irrigation water management during the ripening of tomato aiming fruit quality. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 44, p. 4525–4531, 2016.

DELAZARI, F. T. **Frequência de irrigação em área com gesso como propiciadora de respostas ecofisiológicas visando aumento da produção em tomate para processamento industrial**. [s.l.] Universidade federal de Viçosa, 2018.

DUTRA, A. D. et al. Relação entre conteúdo relativo de água e potencial de turgor obtido com wiltmeter em folhas de mamoeiro. **Não tem**, p. 3–6, 2010.

FAOSTAT. **Agricultural Production**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Ação de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melão. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v. 21, n. 1984, p. 615–619, 2003.

FARQUHAR, G. D. ; EHLERINGER, J. R. ; HUBICK, K. T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual review plant. Physiol. plant Mol. Biol.**, v. 40, p. 503–37, 1989.

FREIRE, F. J. et al. Gesso mineral do Araripe e suas implicações na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 4, p. 199–213, 2014.

FREITAS, C.; ALMEIDA, A. F. D. E. CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE PLANTAS CLONAIAS DE *Passiflora alata* CRESCIDAS EM DIFERENTES PLANTS *Passiflora alata* GROWN IN DIFFERENT DOSES OF. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 859–872, 2012.

FREITAS KONRAD, M. L. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339–347, 2005.

GONZALEZ-AGUILAR, G. A. et al. Temperature and duration of water dips influence chilling injury, decay and polyamine content in “Fortune” mandarins. **Postharvest Biology and Technology**, v. 12, n. 1, p. 61–69, 1997.

GRZESIAK, S. et al. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. **Environmental and Experimental Botany**, v. 88, p. 2–10, 2013.

GUAN, D. et al. Soil & Tillage Research Tillage practices effect on root distribution and water use efficiency of winter wheat under rain-fed condition in the North China Plain. **Soil & Tillage Research**, v. 146, p. 286–295, 2015.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 201–213, 2012.

HATTORI, T. et al. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, v. 123, n. 4, p. 459–466, 2005.

HAWORTH, M. ; ELLIOTT-KINGSTON, C. ; MCELWAIN, J. Co-ordination of physiological and morphological responses of stomata to elevated [CO₂] in vascular plants. **Oecologia**, v. 171, n. 1, p. 71–82, 2013.

HOLBROOK, N. M. et al. Stomatal control in tomato with ABA-deficient roots:

Response of grafted plants to soil drying. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 373, p. 1503–1514, 2002.

HOSSAIN, M. A. . et al. **Drought Stress Tolerance in Plants, Molecular and Genetic Perspectives**. Springer I ed. Switzerland: [s.n.]. v. 2

HUI, Y. et al. Evaluation of tomato fruit quality response to water and nitrogen management under alternate partial root-zone irrigation. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 5, p. 85–94, 2017.

JAIN, M., A. NANDWAL, S., B. KUNDU, S. AND KUMAR, B. Water relations, activities of antioxidants, ethylene evolution and membrane integrity of pigeonpea roots as affected by soil moisture. **Biologia Plantarum**, v. 50(2), p. 303–306., 2006.

JIA, Q. et al. Soil & Tillage Research Mulch covered ridges affect grain yield of maize through regulating root growth and root-bleeding sap under simulated rainfall conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 175, n. September 2017, p. 101–111, 2018a.

JIA, Q. et al. Mulch covered ridges affect grain yield of maize through regulating root growth and root-bleeding sap under simulated rainfall conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 175, n. September 2017, p. 101–111, 2018b.

JIN, K. et al. Wheat root growth responses to horizontal stratification of fertiliser in a water-limited environment. **Plant and Soil**, v. 386, n. 1–2, p. 77–88, 2014a.

JIN, K. et al. Wheat root growth responses to horizontal stratification of fertiliser in a water-limited environment. **Plant and Soil**, n. 386:77-88, 2014b.

KAHLON, M. S.; KHURANA, K. Effect of land management practices on physical properties of soil and water productivity in wheat- maize system of Northwest India. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 4, p. 1–13, 2017.

KHAN, S. H. . et al. Effect of Drought Stress on Tomato cv . Bombino. **Food processing & technology**, v. 6, n. 7, 2015.

KHAPTE, P. S. et al. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. **Scientia Horticulturae**, v. 248, n. January, p. 256–264, 2019.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Acclimation and Adaptive Responses of Woody Plants to Environmental Stresses. **The Botanical Review**, v. 68, n. 2, p. 270–334, abr. 2002.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, v. 67,

n. 1, p. 43–49, 2008.

KUMAR, P. et al. Vegetable Grafting as a Tool to Improve Drought Resistance and Water Use Efficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. June, 2017.

KUROMORI, T.; SEO, M.; SHINOZAKI, K. ABA Transport and Plant Water Stress Responses. **Trends in Plant Science**, v. 23, n. 6, p. 513–522, 2018.

KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja Relationship between phosphorus supplying and water deficit in soybean. **ciencia rural Santa Maria**, v. 38, n. 7, p. 1967–1973, 2009.

LAKE, J. A. et al. A novel root-to-shoot stomatal response to very high CO₂ levels in the soil: electrical, hydraulic and biochemical signalling. **Physiologia Plantarum**, v. 159, n. 4, p. 433–444, 2017.

LANARI, V. et al. Plant and leaf responses to cycles of water stress and re-watering of ‘ Sangiovese ’ grapevine. **Folia Horticulturae**, v. 30, n. 1, p. 27–38, 2018.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 275–294, 2002.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells : a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v. 103, p. 561–579, 2009.

LEAKEY, A. D. B. et al. Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 10, p. 2859–2876, 2009.

LEE, B. R. et al. Increased proline loading to phloem and its effects on nitrogen uptake and assimilation in water-stressed white clover (*Trifolium repens*). **New Phytologist**, v. 182, n. 3, p. 654–663, 2009.

LEMOS, R.; SANTOS, R. **Manual de descrição e coleta de solo no campo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 3 ed. Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1996.

LI, Q. et al. Root growth, available soil water, and water-use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 10, p. 1676–1682, 2010.

LIU, F. et al. Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying : ABA signalling , leaf gas exchange , and water use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 14, p. 3727–3735, 2006.

LIU, H. et al. A convenient method for simultaneous quantification of multiple phytohormones and metabolites: Application in study of rice-bacterium interaction. **Plant Methods**, v. 8, n. 1, p. 2, 2012.

LU, M. M. D. et al. Growth and yield of tomato applied with silicon supplements with varying material structures. **Philippine e-Journal for Applied Research and Development**, v. 6, p. 10–18, 2016.

LUDWIG, F.; BEHLING, A.; SCHMITZ, J. A. K. Silício na Produção e Qualidade Fitossanitária do Tomate (*Lycopersicon esculentum*). **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 1, p. 60–66, 2015.

LUNKES, J. A. ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS NO EMBORRACHAMENTO DE PLANTAS DE TRIGO INOCULADAS COM *Herbaspirillum seropedicae* SMR1 PALOTINA *Herbaspirillum seropedicae* SMR1. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2017.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392–397, 2006.

MAN, J. et al. Root growth , soil water variation , and grain yield response of winter wheat to supplemental irrigation. **Plant Production Science**, v. 1008, p. 1–13, 2016.

MANTOVANI, E. C. et al. Yield and water use efficiency for two sweet potato cultivars depending on irrigation depths. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602–606, dez. 2013.

MANZONI, S. et al. Advances in Water Resources Biological constraints on water transport in the soil – plant – atmosphere system. **Advances in water resources**, v. 51, p. 292–304, 2013.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M.-. Ecophysiology of invasive plants: Osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 12, p. 660–666, 2013.

MARODIN, J. C. et al. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 220–224, 2014.

MEDRANO, H. . et al. Regulation of Photosynthesis of C 3 Plants in Response to Progressive Drought : Stomatal Conductance as a Reference Parameter. **Annals of Botany, Oxford**, v. v.89, p. p.895-905, 2002.

MOHAMMADSHIRAZI, F. et al. A multi-year study of tillage and amendment effects on compacted soils. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 533–541, 2017.

MOHOTTI, A. J.; LAWLOR, D. W. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea : effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 367, p. 313–322, 2002.

MORAES, E. R. DE et al. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. **Revista de Agricultura Neotropical**, p. 60–65, 2018.

MORALES, R. G. F. et al. Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 1, p. 9–17, 2015.

MOSADDEGHI, M. R.; MAHBOUBI, A. A.; SAFADOUST, A. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. **Soil and Tillage Research**, v. 104, n. 1, p. 173–179, jun. 2009.

MULLAN, D. M.; PIETRAGALLA, J. Leaf relative water content. **Physiological breeding II: A field guide to wheat genotyping**, p. 25–27, 2012.

MÜLLER, M. et al. Rapid and sensitive hormonal profiling of complex plant samples by liquid chromatography coupled to electrospray ionization tandem mass spectrometry. **Plant Methods**, v. 7, n. 1, p. 37, 2011.

MÜLLER, T.; RANQUET BOULEAU, C.; PERONA, P. Optimizing drip irrigation for eggplant crops in semi-arid zones using evolving thresholds. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 54–65, 2016.

NAHAR, K.; ULLAH, S. M. Drought Stress Effects on Plant Water Relations , Growth , Fruit Quality and Osmotic Adjustment of Tomato (Solanum lycopersicum) under Subtropical Condition. **asian journal of agricultural and horticultural research**, v. 1, n. 2, p. 1–14, 2018.

NEIS, L. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 409–416, 2010.

OHNISHI, S.; MIYOSHI, T.; SHIRAI, S. Low temperature stress at different flower developmental stages affects pollen development, pollination, and pod set in soybean. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 1, p. 56–62, set. 2010.

PATANÈ, C. et al. Physiological screening for drought tolerance in Mediterranean long-storage tomato. **Plant Science**, v. 249, p. 25–34, 2016.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C. Efeito do uso do xisto em características químicas do solo e nutrição do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 317–

321, 2004.

POSPÍŠILOVÁ, J. et al. Interactions between abscisic acid and cytokinins during water stress and subsequent rehydration. **Biologia Plantarum**, v. 49, n. 4, p. 533–540, 2005.

QUANQI, L. et al. Root growth, available soil water, and water-use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 10, p. 1676–1682, out. 2010.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and environment for statistical computing**. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2014.

RAMOS, L. . et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 30, n. 5, p. 849–857, 2006.

REIS, L. S. et al. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido 1 Leaf area index and productivity of tomatoes under greenhouse conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 386–391, 2013.

REIS, T. H. P. . et al. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Empresa de ed. Belo Horizonte: Boletim Técnico nº 82, 2007.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS, 1999.

ROBERTO, S. B. .; CATTANI, C. .; MORAES, H. M. **SISTEMA RADICULAR DO MILHETO E CICLAGEM DE CÁLCIO EM DIRETO**. [s.l.] Unversidade estadual de são paulo, 2014.

SANTANA, M. J. DE; VIEIRA, T. A.; BARRETO, A. C. Efeitos dos níveis de reposição de água no solo 3 na produtividade do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 1378–1384, 2009.

SCHWARZ, K. et al. Desempenho agrônômico e qualidade físico-química de híbridos de tomateiro em cultivo rasteiro. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 410–418, 2013.

SEBASTIAN, B. et al. Response of grapevine cv. Syrah to irrigation frequency and water distribution pattern in a clay soil. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 269–279, 2015.

SEBASTIAN, B. et al. Effect of irrigation frequency and water distribution

pattern on leaf gas exchange of cv. 'Syrah' grown on a clay soil at two levels of water availability. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 410–418, 2016a.

SEBASTIAN, B. et al. Effect of irrigation frequency and water distribution pattern on leaf gas exchange of cv. 'Syrah' grown on a clay soil at two levels of water availability. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 410–418, nov. 2016b.

SERBA, D. D.; YADAV, R. S. Genomic Tools in Pearl Millet Breeding for Drought Tolerance: Status and Prospects. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. November, p. 1–10, 2016.

SHARMA, S. P. et al. Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 136, p. 75–85, abr. 2014.

SINCLAIR, T. R. et al. Irrigation frequency and amount effect on root extension during sod establishment of warm-season grasses. **HortScience**, v. 46, n. 8, p. 1202–1205, 2011.

SIVAKUMAR, R. Effect of drought on plant water status , gas exchange and yield parameters in Contrasting genotypes of Tomato (*Solanum lycopersicum*). **American International Journal of Research in Formal**, p. 57–62, 2014.

SPOONER, D. M. et al. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. **National academy of sciences of the USA**, v. 105, 2005.

SUBRAMANIAM, G. et al. Type B Heterotrimeric G Protein γ -Subunit Regulates Auxin and ABA Signaling in Tomato. **Plant Physiology**, v. 170, n. 2, p. 1117–1134, 2016.

SUN, J. et al. Inconsistency of mesophyll conductance estimate causes the inconsistency for the estimates of maximum rate of Rubisco carboxylation among the linear, rectangular and non-rectangular hyperbola biochemical models of leaf photosynthesis-A case study of CO₂en. **Plant Science**, v. 226, p. 49–60, 2014.

SUN, Q. et al. Water use efficiency was improved at leaf and yield levels of tomato plants by continuous irrigation using semipermeable membrane. **Agricultural Water Management**, v. 203, n. March, p. 430–437, 2018.

SURAMA, P. et al. Conteúdo Relativo de Água , Teor de Prolina e Carboidratos Solúveis Totais em Folhas de Duas Cultivares de Milho submetidas a Estresse Hídrico. **Revista Brasileira de Biociência**, v. 5, p. 918–920, 2007.

TAIZ, L. .; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. p. 954, 2013.

TANOUE, G. et al. Polyamines reprogram oxidative and nitrosative status and the proteome of citrus plants exposed to salinity stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 37, n. 4, p. 864–885, 2014.

TARCHOUN, N.; M'HAMDI, M.; SILVA, J. A. T. Approaches to evaluate the abortion of hot pepper floral structures induced by low night temperature. **European Journal of Horticultural Science**, v. 77, n. 2, p. 78–83, 2012.

VERMA, V.; RAVINDRAN, P.; KUMAR, P. P. Plant hormone-mediated regulation of stress responses. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 1–10, 2016.

VERSLUES, P. E. ABA and cytokinins: challenge and opportunity for plant stress research. **Plant Molecular Biology**, v. 91, n. 6, p. 629–640, 2016.

VIANA, D. M. P.; NASCIMENTO, A. DOS R. **Efeito Do Silício E Irrigação Na Produtividade Do Tomate De Mesa No Sudeste Goiano**. [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2015.

VITTI, G. C. et al. Estudos confirmam efeitos favoráveis do gesso agrícola à cultura do milho. **Visão agrícola**, p. 49–51, 2015.

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**, v. 63, n. 5, p. 1907–1917, 2012.

WEI, Z. et al. Carbon isotope discrimination shows a higher water use efficiency under alternate partial root-zone irrigation of field-grown tomato. **Agricultural Water Management**, v. 165, p. 33–43, 2016.

WEI, Z. et al. Simulation of Stomatal Conductance and Water Use Efficiency of Tomato Leaves Exposed to Different Irrigation Regimes and Air CO₂ Concentrations by a Modified “Ball-Berry” Model. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. April, p. 445, 2018.

XU, W. et al. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 2, p. 0–11, 2015.

YAMAGUCHI, K. et al. A protective role for the polyamine spermine against drought stress in Arabidopsis. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 352, n. 2, p. 486–490, 2007.

YAN, F.; LI, X.; LIU, F. ABA signaling and stomatal control in tomato plants exposure to progressive soil drying under ambient and elevated atmospheric CO₂ concentration. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, n. April, p. 99–104,

2017.

ZHOU, R. et al. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. **BMC Plant Biology**, p. 1–13, 2017.

ZHU, Y. X. et al. Silicon improves salt tolerance by increasing root water uptake in *Cucumis sativus* L. **Plant Cell Reports**, v. 34, n. 9, p. 1629–1646, 2015.

8. ANEXOS

Anexo 1: Resumo da análise de variância: PROD - produtividade ($t\ ha^{-1}$), EUA - eficiência no uso de água ($\mu mol\ CO_2\ \mu mol^{-1}\ H_2O$); AF - área foliar (m^2), IAF- índice de área foliar (m^2/m^2), DCR- densidade de comprimento radicular ($cm\ cm^{-3}$) e DSR- Densidade da superfície radicular ($cm^2\ cm^{-3}$) em diferente manejo do solo e cultivares de tomate, para dois experimentos (I e II). Viçosa, UFV, 2018/2019.

Experimento I							
Quadro Médio							
Fonte de Variação	GL	PROD	EUA	AF	IAF	DCR	DSR
Bloco	4	140,2	0,037	0,2	0,99	0,028	0,019
Manejo	2	4884,61*	1,26*	1,84*	9,04*	0,326*	0,0045 ^{ns}
Cultivar	1	0,363 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,0038 ^{ns}	0,00217 ^{ns}
Interação	2	273,4 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Resíduo	20	354,03	0,09	0,14	0,68	0,0412	0,00346
CV (%)		13,13	13,08	22,95	22,95	12,26	25,83

Experimento II							
Quadro Médio							
Fontes de variação	GL	PROD	EUA	AF	IAF	DCR	DSR
Bloco	4	100,82	0,009	0,98	0,98	0,028	0,019
Manejo	2	1733,97*	0,164*	3,35 ^{ns}	3,35 ^{ns}	0,326*	0,0045 ^{ns}
Cultivar	1	121,61 ^{ns}	0,012 ^{ns}	2,98 ^{ns}	2,98 ^{ns}	0,0038 ^{ns}	0,00217 ^{ns}
Interação	2	33,68 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Resíduo	20	69,27	0,00645	0,99	0,99	0,0412	0,00346
CV (%)		9,01	8,93	25,07	25,07	12,26	25,83

FV: Fonte de variação; GL: grau de liberdade; ^{ns} Não significativo, *Significativo a 0,05 de probabilidade, pelo teste de F.

Anexo 2: Resumo da Análise de Variância: A_n- Taxa de assimilação líquida de CO₂ ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$); g_s - condutância estomática ($mol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$); E - transpiração foliar ($mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$); C_i - concentração interna de CO₂ ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$) e C_{ei} - eficiência instantânea de carboxilação ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1} / \mu mol\ CO_2\ mol^{-1}$), em diferente manejo do solo e cultivares de tomate para dois experimentos (I e II). Viçosa, UFV, 2018/2019.

Experimento I						
Quadrados médios						
FV	GL	A _N	g _s	E	C _i	C _{ei}
Bloco	4	2,31	0,009	0,485	309,13	0,000081

Manejo	2	33,51*	0,024*	2,081*	266,8 ^{ns}	0,00036*
Cultivar	1	16,74*	0,035*	0,467 ^{ns}	398,6 ^{ns}	0,0004*
Interação	2	2,39 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,911 ^{ns}	432,67 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Residuo	20	2,51	0,004	0,29	231,13	0,000082
CV%	-	5,91	0,74	7,39	5,02	10,2

Experimento II

Quadrados médios

FV	GL	AN	gs	E	Ci	Cei
Bloco	4	18,99	0,033	1,58	1603,8	0,000069
Manejo	2	50,64*	0,05 ^{ns}	0,08 ^{ns}	96,96 ^{ns}	0,00032*
Cultivar	1	10,06 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,69 ^{ns}	97,2 ^{ns}	0,000087 ^{ns}
Interação	2	2,52 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,00015 ^{ns}
Residuo	20	13,97	0,043	0,35	938,39	0,000086
CV%	-	15,99	20,68	10,88	6,15	14,98

FV: Fonte de variação; GL: grau de liberdade; ^{ns} Não significativo, *Significativo a 0,05 de probabilidade, pelo teste de F.

Anexo 3: Resumo da análise de variância: Discriminação isotópica de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$) em folha de duas cultivares de tomate com diferente manejo do solo. Viçosa, UFV, 2018.

Quadrado médio

FV	GL	$\Delta^{13}\text{C}$
Bloco	2	0,27
Manejo	2	2,79 ^{ns}
Cultivar	1	0,08 ^{ns}
Interação	2	4,23 ^{ns}
Residuo	10	1,70
CV%	-	5,61

FV: Fonte de variação; GL: grau de liberdade; ^{ns} Não significativo, *Significativo a 0,05 de probabilidade, pelo teste de F.

Anexo 4: Resumo da análise de variância: ABA – ácido abscísico (ng.g^{-1}), ZEA-zeatin-citocinina (ng.g^{-1}); PROL – prolina (g.g^{-1}) e PUTR- putrescine (ng.g^{-1}) sintetizados nas folhas de duas cultivares de tomate com diferente manejo do solo. Viçosa, UFV, 2018.

Experimento I

Quadrados médios

FV	GL	ABA	ZEA	PROL	PUTR
Bloco	4	991,96	5457,09	217,4	0,02

Manejo	2	20884,2*	35724,5*	1135,5*	0,26*
Cultivar	1	16,07 ^{ns}	636,27 ^{ns}	73,07 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Interação	2	324,51 ^{ns}	1559,52 ^{ns}	95,7 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Resíduo	20	467,3	3503,37	112,2	0,01
CV%	-	31,01	29,31	35,49	47,08

Experimento II

Quadrados médios

FV	GL	ABA	ZEA	PROL	PUTR
Bloco	4	252,3	1282,36	307,27	0,026
Manejo	2	1473,9*	982,2 ^{ns}	1746,11*	0,022 ^{ns}
Cultivar	1	369,7 ^{ns}	328,4 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Interação	2	155,8 ^{ns}	3134,94 ^{ns}	11,46 ^{ns}	0,026 ^{ns}
Resíduo	20	346,6	2324,13	189,79	0,022
CV%	-	29,9	51,63	83,21	43,83

FV: Fonte de variação; GL: grau de liberdade; ^{ns} Não significativo, *Significativo a 0,05 de probabilidade, pelo teste de F.

Anexo 5: Resumo da análise de variância: CRA- Conteúdo relativo de água (%) em cultivares de tomate com diferente manejo do solo nos experimentos I e II. Viçosa, UFV, 2018.

Experimento I

Quadrados médios

CRA (%)

FV	GL	8h	10h	13h	15h
Bloco	4	16,90	5,96	16,29	15,1
Manejo	2	11,70 ^{ns}	71,6 ^{ns}	93,97*	19,1 ^{ns}
Cultivar	1	0,001 ^{ns}	2,09 ^{ns}	11,53 ^{ns}	65,86 ^{ns}
Interação	2	3,99 ^{ns}	4,78 ^{ns}	7,68 ^{ns}	29,04 ^{ns}
Resíduo	20	22,40	23,9	6,70	6,74
CV%	-	4,99	5,8	3,29	3,26

Experimento II

Quadrados médios

CRA (%)

FV	GL	8h	10h	13h	15h
Bloco	4	19,69	27,59	132,9	62,43
Manejo	2	79,8 ^{ns}	31,28 ^{ns}	272,22*	254,23*
Cultivar	1	35,59 ^{ns}	21,43 ^{ns}	28,63 ^{ns}	18,24 ^{ns}
Interação	2	23,71 ^{ns}	0,46 ^{ns}	3,1 ^{ns}	13,89 ^{ns}
Resíduo	20	44,94	47,11	34,82	69,49
CV%	-	7,09	8,74	8,79	11,62

FV: Fonte de variação; GL: grau de liberdade; ^{ns} Não significativo, *Significativo a 0,05 de probabilidade, pelo teste de F.