

FLÁVIA MARIA ALVES

**ESTRATÉGIAS PARA MITIGAR OS EFEITOS DO DEFICIT HÍDRICO NO
TOMATEIRO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2019

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

T

A474e
2019
Alves, Flávia Maria, 1991-
Estratégias para mitigar os efeitos do deficit hídrico no
tomateiro / Flávia Maria Alves. – Viçosa, MG, 2019.
xiv, 65 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Carlos Nick Gomes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Tomate -Melhoramento genético. 2. Enxertia. 3. *Solanum*

sp.. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.6422

FLÁVIA MARIA ALVES

**ESTRATÉGIAS PARA MITIGAR OS EFEITOS DO DEFICIT HÍDRICO NO
TOMATEIRO**

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

APROVADA: 29 de maio de 2019.



Bruno Soares Laurindo



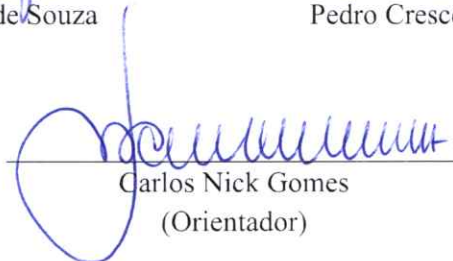
Pablo Forlan Vargas



Fabiana Silva de Souza



Pedro Crescêncio Souza Carneiro



Carlos Nick Gomes
(Orientador)

A Deus e Nossa Senhora
Aos meus pais Manoel e Diva
Aos meus irmãos Gervando, Geomar, Gislene e Luciene
Aos meus sobrinhos

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos. Obrigada por Sua eterna compreensão e tolerância, por Seu infinito amor, pela Sua voz “invisível” que não me permitiu desistir.

À Nossa Senhora pelo seu amor, carinho e delicadeza para comigo e por sempre interceder ao meu favor.

Aos meus pais Manoel e Diva, por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho, pelo amor que me mostrou a direção correta e me ensinou a ter fé na vida.

Aos meus irmãos Gervando, Geomar, Gislene e Luciene pelo amor, confiança e motivação incondicional.

Aos meus cunhados Cláudia, Daniela e André, pelo apoio.

Aos meus sobrinhos, Larissa, Luís Phellippe, Gustavo, João Victor, Gabriela, Andressa e Davi, que sempre me impulsionam em direção às vitórias dos meus desafios.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de cursar o doutorado.

Aos professores da UFV, pelos valiosos ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos do doutorado e do doutorado sanduíche.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo do doutorado.

Ao meu orientador, Professor Dr. Carlos Nick, pela orientação, ensinamentos, amizade, confiança e incentivo.

Aos membros da banca, Dr. Bruno, Prof^a. Fabiana, Prof. Pablo e Prof. Pedro pelas contribuições.

Aos colegas do Laboratório de Manejo de Recursos Genéticos, do Núcleo de Estudos em Olericultura (NEO-UFV) e aos funcionários da Horta Velha, pela ajuda e conhecimentos compartilhados.

Aos meus irmãos de república, Juliana, Wellington e Heloísa que sempre tiveram ao meu lado, torcendo por mim.

Às minhas irmãs de coração, Mariane e Francielle, pelo incentivo, amor e conselhos.

À minha *sweet baby girl*, Melissa, por ter vindo ao mundo para transbordar os nossos corações de amor e alegria.

À minha mãe de coração, Roseli, Vó Joana e toda sua família por me acolherem, me darem amor, me mostrarem que existem pessoas boas nesse mundo e pelos almoços aos domingos na casa de Vó Joana.

À Nena pelos conselhos, por me ensinar a viver e tonar minha vida mais leve e feliz.

À Renata, Juninho e Ciene pelo carinho.

Aos meus amigos de Viçosa pela amizade e apoio.

Ao Ministério Universidades Renovadas de Viçosa por me aproximar mais de Deus.

A todos do centro de pesquisa Texas A&M AgriLife Research & Extension Center at Uvalde por me fazerem me sentir em casa. Ao Dr. Leskovar pelos ensinamentos (pessoais e acadêmicos), paciência e dedicação. À Sierra, Arianne, Amanda, Kuan, Andrea, Desire, Grant, família Penney e família Joshi por todo carinho, paciência e apoio.

A todos, que de alguma forma, contribuíram para essa conquista.

BIOGRAFIA

Flávia Maria Alves, filha de Manoel Alves Valentim e Diva Dorvalina da Silva, nasceu em Patos de Minas, Minas Gerais, em 24 de março de 1991.

Em dezembro de 2008, concluiu o Segundo Grau no Colégio Nossa Senhora das Graças e em 2009 ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba (UFV-CRP). Em março de 2010, começou suas atividades no Grupo de Pesquisa em Manejo Integrado de Pragas (GPMIP), no qual desenvolveu vários trabalhos na área de manejo integrado pragas de hortaliças e grandes culturas. No ano de 2010 foi selecionada para o Programa de Bolsas Institucionais de Pesquisa – PIBIC/CNPq, com o projeto de Análise Multivariada dos Ganhos de Seleção no Melhoramento Genético do Tomateiro para Alto Paranaíba, sendo orientada pelo Professor Dr. Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. No ano de 2011 foi selecionada novamente para o mesmo Programa, com o projeto: Programa de Manejo da Resistência de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) a Inseticidas em Cafeeiros no Brasil, sendo orientada pelo Professor Dr. Flávio Lemes Fernandes. No semestre de 2012-II desempenhou atividades de monitoria voluntária, nível I, da disciplina AGR 146 – Entomologia, no Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba. Em julho de 2013, defendeu o trabalho de conclusão de curso (TCC) intitulado: Antixenose de Híbridos de *Solanum lycopersicum* a *Tuta absoluta*. Em setembro de 2013, graduou-se Engenheira Agrônoma pela UFV-CRP. Em agosto de 2013, iniciou o curso de Mestrado Acadêmico em Agronomia – Produção Vegetal na UFV-CRP, submetendo-se a defesa em 20 de fevereiro de 2015 com a dissertação intitulada: Amostragem Convencional e Níveis de Controle de Minadores em *Solanum tuberosum*. Em março de 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Fitotecnia UFV. Durante esse período participou do Núcleo de Estudos de Olericultura (NEO). Entre setembro de 2017 e agosto de 2018 fez doutorado sanduíche em Texas A&M AgriLife Research & Extension Center at Uvalde, Texas, Estados Unidos. Em maio de 2019, submeteu-se a defesa da tese.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	4
CAPÍTULO I: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DO TOMATEIRO ENXERTADO EM <i>Solanum pennellii</i> e <i>Solanum peruvianum</i> SOB DEFICIT HÍDRICO	7
RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1. Local e Material vegetal	12
2.2. Delineamento experimental e Condução do experimento	12
2.3. Avaliações	13
2.3.1. Determinação dos parâmetros de trocas gasosas	13
2.3.2. Determinação do “status” hídrico da planta	14
2.3.3. Determinação do teor de malonaldeído	14
2.3.4. Determinação de prolina	15
2.4. Análise estatística	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4. CONCLUSÃO	29
5. REFERÊNCIAS	30
CAPÍTULO II: SELEÇÃO DE GENÓTIPOS VISANDO A TOLERÂNCIA AO DEFICIT HÍDRICO NO TOMATEIRO	38
RESUMO	39
ABSTRACT	40
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAL E MÉTODOS	43
2.1. Recursos fitogenéticos	43
2.2. Local do experimento e Delineamento experimental	44
2.3. Multiplicação de sementes	44

2.4. Tolerância ao deficit hídrico durante a germinação das sementes de tomateiro	45
2.5. Tolerância ao deficit hídrico durante o estágio reprodutivo do tomateiro	46
2.6. Índice de tolerância ao deficit hídrico	47
2.7. Análises estatísticas	48
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
3.1. Análise de <i>deviance</i>	49
3.2. Diversidade genética.....	52
3.3. Correlações canônicas	56
3.4. Seleção por meio de índice FAI-BLUP	57
4. CONCLUSÃO	60
5. REFERÊNCIAS.....	61
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Umidade volumétrica do solo (A) e peso de vasos (B) para a condição irrigada e não irrigada durante 8 dias. 16
- Figura 2.** (A) Potencial hídrico (Ψ_w) e (B) teor relativo de água (TRA) de quatro combinações de enxerto/porta-enxerto (HM/HM: ‘HM 1823’ enxertada em ‘HM 1823’, HM/MU: ‘HM 1823’ enxertada em ‘Multifort’, HM/PN: ‘HM 1823’ enxertada em *S. pennellii* e HM/PR: ‘HM 1823’ enxertada em *S. peruvianum*) de plantas de tomate e pé-franco (HM: cultivar ‘HM 1823’) sob condição irrigada e não irrigada. Letras maiúsculas iguais entre as condições de irrigação e letras minúsculas iguais entre pé-franco e combinações de enxerto/porta-enxertos não diferem pelo teste LSD ($P \leq 0,05$). Valores estão apresentados como medias \pm erro padrão..... 18
- Figura 3.** (A) Assimilação de CO₂ (A_N) e (B) condutância estomática (g_s) de quatro combinações de enxerto/porta-enxerto (HM/HM: ‘HM 1823’ enxertada em ‘HM 1823’, HM/MU: ‘HM 1823’ enxertada em ‘Multifort’, HM/PN: ‘HM 1823’ enxertada em *S. pennellii* e HM/ PR: ‘HM 1823’ enxertada em *S. peruvianum*) de plantas de tomate e pé-franco (HM: cultivar ‘HM 1823’) sob condição irrigada e não irrigada. Letras maiúsculas iguais entre as condições de irrigação e letras minúsculas iguais entre pé-franco e combinações de enxerto/porta-enxertos não diferem pelo teste LSD ($P \leq 0,05$). Valores estão apresentados como medias \pm erro padrão..... 21
- Figura 4.** (A) Eficiência instantânea do uso da água (EUA_{ins}) e (B) eficiência intrínseca do uso da água (EUA_{intr}) de quatro combinações de enxerto/porta-enxerto (HM/HM: ‘HM 1823’ enxertada em ‘HM 1823’, HM/MU: ‘HM 1823’ enxertada em ‘Multifort’, HM/PN: ‘HM 1823’ enxertada em *S. pennellii* e HM/PR: ‘HM 1823’ enxertada em *S. peruvianum*) de plantas de tomate e pé-franco (HM: cultivar ‘HM 1823’) sob condição irrigada e não irrigada. Letras maiúsculas iguais entre as condições de irrigação e letras minúsculas iguais entre pé-franco e combinações de enxerto/porta-enxertos não diferem pelo teste LSD ($P \leq 0,05$). Valores estão apresentados como medias \pm erro padrão. 24
- Figura 5.** (A) Teor de malonaldeído (MDA) e (B) prolina de quatro combinações de enxerto/porta-enxerto (HM/HM: ‘HM 1823’ enxertada em ‘HM 1823’, HM/MU: ‘HM

1823' enxertada em 'Multifort', HM/PN: 'HM 1823' enxertada em *S. pennellii* e HM/PR: 'HM 1823' enxertada em *S. peruvianum*) de plantas de tomate e pé-franco (HM: cultivar 'HM 1823') sob condição irrigada e não irrigada. Letras maiúsculas iguais entre as condições de irrigação e letras minúsculas iguais entre pé-franco e combinações de enxerto/porta-enxertos não diferem pelo teste LSD ($P \leq 0,05$). Valores estão apresentados como medias \pm erro padrão. 26

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os *P*-valores para os efeitos de irrigação e combinação de enxerto/porta-enxertos e pé-franco para potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA), assimilação líquida de CO₂ (A_N), condutância estomática (g_s), taxa transpiratória (E), eficiência instantânea e intrínseca do uso da água (EUA_{ins} e EUA_{intr}), teor de malonaldeído (MDA) e prolina..... 17

CAPÍTULO II

Tabela 1. Identificação dos acessos, espécie, procedência, ano de coleta e tamanho do fruto de 29 acessos de tomateiro do BGH-UFV avaliados quanto a tolerância ao deficit hídrico. 43

Tabela 2. Análise de *deviance* para os caracteres avaliados em 31 genótipos de tomateiro durante a germinação, estágio reprodutivo; dados obtidos pela diferença e razão. 51

Tabela 3. Agrupamento de 31 genótipos de tomateiro, pelo método de otimização de Tocher, obtido a partir das médias BLUP dos caracteres avaliados durante germinação e estágio reprodutivo. 53

Tabela 4. Correlações canônicas e cargas nos pares canônicos (U_i , V_i) estimados entre os caracteres avaliados durante germinação e estágio reprodutivo obtidas pelos dados de diferença para 31 genótipos..... 56

Tabela 5. Ranking dos 31 genótipos de acordo com o índice FAI-BLUP e probabilidade de distância entre os genótipos e o ideótipo tolerante ao deficit hídrico (Pro) para os caracteres avaliados durante a germinação, estágio reprodutivo obtidas pela diferença. 58

RESUMO

ALVES, Flávia Maria, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2019. **Estratégias para mitigar os efeitos do deficit hídrico no tomateiro.** Orientador: Carlos Nick Gomes.

A tomaticultura demanda uma grande quantidade de água. Visando tornar os sistemas de produção mais sustentáveis é necessário obter cultivares que sob menor volume de água mantenham sua performance agrônômica, sem reduzir sua produção. Diante disso, esse trabalho teve dois objetivos: i) avaliar as respostas fisiológicas de plantas de tomate enxertadas em *Solanum pennellii* e *Solanum peruvianum* sob deficit hídrico; ii) avaliar os índices de tolerância e selecionar genótipos com potencial para tolerância ao deficit hídrico. No primeiro experimento, os porta-enxertos utilizados foram dois acessos de tomateiro *S. pennellii* (PN) e *S. peruvianum* (PR) que são tolerantes ao deficit hídrico e a cultivar ‘Multifort’ (MU). O enxerto utilizado foi ‘HM 1823’ (HM), também foi realizada a autoenxertia nessa cultivar. O tratamento consistiu em plantas irrigadas periodicamente (controle) e plantas não irrigadas (sob deficit hídrico) onde a água foi suprimida totalmente. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5. Foram realizadas avaliações dos parâmetros fisiológicos e as análises do teor de malonaldeído e prolina. No segundo experimento, foram utilizados 29 acessos de *Solanum* sp., do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFRV). Dentre esses acessos, o BGH-6904 e BGH-6906 (*S. peruvianum*) são tolerantes ao deficit hídrico. Além dos acessos, duas cultivares, ‘Santa Clara’ (padrão de susceptibilidade) e ‘Gabryelle’ também foram usadas no experimento. Os acessos e as cultivares (genótipos) foram avaliados durante a germinação e estágio reprodutivo sob deficit hídrico. O delineamento experimental utilizado durante a germinação foi inteiramente casualizado com quatro repetições e durante o estágio reprodutivo o delineamento foi em blocos casualizados, com e sem deficit hídrico, com três repetições. Foram testados dois índices de tolerância e a seleção dos melhores genótipos foi feita pelo índice de seleção FAI-BLUP (*factor analysis and genotype-ideotype distance*). No primeiro experimento, HM/PN e HM/PR, sob deficit hídrico, apresentaram maiores valores para potencial hídrico, teor relativo de água, assimilação líquida de CO₂, eficiência intrínseca e instantânea do uso de água. O agrupamento realizado com os dados obtidos por meio da razão entre os caracteres do tratamento deficit hídrico e controle alocou ‘Santa Clara’ (padrão de

susceptibilidade) e BGH-6904 e BGH-6906 (padrões de tolerância) no mesmo grupo, ou seja, esses três genótipos são considerados similares. Os genótipos selecionados pelo índice FAI-BLUP durante a germinação, não foram os mesmos selecionados durante o estágio reprodutivo. Portanto, de acordo com os resultados do primeiro experimento, os tomates silvestres utilizados como porta-enxertos podem ser uma estratégia para se obter a tolerância ao déficit hídrico. Com base nos resultados do segundo experimento, é possível concluir que para esse conjunto de dados a forma mais eficiente para selecionar genótipos durante a germinação e estágio reprodutivo sob déficit hídrico é usando os dados obtidos por meio da diferença entre os caracteres do tratamento controle e do déficit hídrico. Os genótipos mais promissores visando a tolerância ao déficit hídrico durante a germinação foram BGH-2014, BGH-6904, BGH-3493, BGH-2020, BGH-2208, BGH-1988 e BGH-6906. Durante o estágio reprodutivo os genótipos tolerantes foram BGH-6912, BGH-3394, BGH-6924, BGH-3500, BGH-7299, BGH-2051 e BGH-2202.

ABSTRACT

ALVES, Flávia Maria, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2019. **Strategies to mitigate the effects of water deficit in tomato.** Adviser: Carlos Nick Gomes.

The tomato crop demands a high amount of water. In order to make production systems more sustainable, it is necessary to obtain cultivars that under a smaller volume of water maintain their agronomic performance without reducing their production. Therefore, this work had two objectives: i) to evaluate the physiological responses of tomato plants grafted on *Solanum pennellii* and *Solanum peruvianum* under water deficit; ii) to evaluate the tolerance indices and select genotypes with potential for tolerance to water deficit. In the first experiment, the rootstocks were two accessions of tomatoes *S. pennellii* (PN) and *S. peruvianum* (PR) that are tolerant to water deficit, and 'Multifort' cultivar (MU). The graft used was 'HM 1823' (HM), the self-grafted was also performed in this cultivar. The treatment consisted of plants irrigated periodically (control) and plants not irrigated (under water deficit) where the water was totally suppressed. The experimental design was in randomized blocks, in a 2x5 factorial scheme. Evaluations of the physiological parameters and analyzes of malonaldehyde and proline content were performed. In the second experiment, 29 accessions of *Solanum* sp., From the Germoplasm of Vegetables of the Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) were used. Among these accesses, BGH-6904 and BGH-6906 (*S. peruvianum*) are tolerant to water deficit. In addition to the accessions, two cultivars, 'Santa Clara' (susceptibility pattern) and 'Gabryelle' were also used in the experiment. Accessions and cultivars (genotypes) were evaluated during germination and reproductive stage under water deficit. The experimental design used during germination was completely randomized with four replicates and during the reproductive stage the design was randomized blocks, with and without water deficit, with three replications. Two tolerance indice were tested and the selection of the best genotypes was done by the FAI-BLUP (Factor analysis and genotype-ideotype distance) selection index. In the first experiment, HM / PN and HM / PR, under water deficit, presented higher values for water potential, relative water content, net assimilation of CO₂, and intrinsic and instantaneous water use efficiency. The grouping performed with the data obtained by means of the ratio between the water deficit and control treatment characters allocated 'Santa Clara' (susceptibility pattern) and BGH-6904 and BGH-6906 (tolerance patterns) in the same group, that is, these

three genotypes are considered similar. The genotypes selected by the FAI-BLUP index during germination were not the same selected during the reproductive stage. Therefore, according to the results of the first experiment, wild relative tomatoes used as rootstocks may be a strategy to obtain tolerance to water deficit. Based on the results of the second experiment, it is possible to conclude that for this data set the most efficient way to select genotypes during germination and reproductive stage under water deficit is using the data obtained by means of the difference between the control and the control traits water deficit. The most promising genotypes for tolerance to water deficit during germination were BGH-2014, BGH-6904, BGH-3493, BGH-2020, BGH-2208, BGH-1988 and BGH-6906. During the reproductive stage the tolerant genotypes were BGH-6912, BGH-3394, BGH-6924, BGH-3500, BGH-7299, BGH-2051 and BGH-2202.

INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro, *Solanum lycopersicum* L., é uma espécie autógama, diploide, com $x=12$ cromossomos ($2n=24$ cromossomos). Essa espécie pertence à família Solanaceae e o centro de diversidade do tomateiro compreende o oeste do Equador, o norte da Bolívia e Chile, na América do Sul (Peralta et al., 2008). O tomateiro é uma das hortaliças mais importante do mundo devido sua importância nutricional e socioeconômica (Pervez et al., 2009).

O fruto do tomateiro é rico em potássio, ácido fólico, vitamina C, vitamina E, flavonoides e carotenoides (beta caroteno e licopeno) (Frusciante et al., 2007). Em relação a sua importância econômica, o tomateiro é a segunda hortaliça mais produzida no mundo, tanto *in natura*, como processada, nas formas de suco, molho, pasta, desidratada e doce dentre outros. A produção de tomate mundial, *in natura*, é de aproximadamente 182 milhões de toneladas e a área plantada é de 6 milhões de hectares. O Brasil produz 4,23 milhões de toneladas de tomate, ficando na 10ª posição no ranking mundial (FAO 2017).

Entretanto um dos fatores que afeta essa produção do tomateiro destinado para consumo *in natura* é o déficit hídrico. A deficiência hídrica é a perda de água pela planta que excede à capacidade de absorção de água pelas raízes a partir do solo, durante tempo suficiente para provocar danos à planta (Jaleel et al., 2007).

O cultivo de plantas de tomate de mesa requer de 0,89 a 2,3 L/planta/dia de água para seu pleno crescimento e desenvolvimento (Wahb-Allah et al., 2011). Se ocorrer um déficit hídrico durante o cultivo, esse estresse poderá causar uma redução de 50% na produção da cultura do tomate de mesa (*in natura*), entretanto esse valor pode variar de acordo com a intensidade, severidade e duração desse estresse (Cantore et al., 2016). Essa perda se deve ao fato das cultivares comerciais de tomate de mesa não possuírem boas características agrônômicas aliados a tolerância ao déficit hídrico serem sensíveis ao déficit hídrico (Foolad et al., 2003).

Além de afetar a produção, o déficit hídrico interfere na germinação, crescimento, no desenvolvimento, no metabolismo, consequentemente na sobrevivência das plantas (Omena-Garcia et al., 2019; Begcy et al., 2012; Loyola et al., 2012; Urano et al., 2009; Verslues et al., 2006). O déficit hídrico durante a germinação pode alterar a velocidade e a uniformidade, bem como impedir que a mesma aconteça (Verslues et al., 2006). Nos estádios posteriores à germinação, tal

estresse conduz ao decréscimo da turgidez celular, fechamento estomático, diminuição do crescimento e desenvolvimento, além de alterações na respiração e fotossíntese das plantas (Fathi e Tari, 2016).

Diante dos danos e perdas que esse estresse causa à cultura do tomate é de suma importância o desenvolvimento de cultivares de tomateiro para consumo *in natura* adaptadas ao déficit hídrico. A melhor forma para fazer isso é selecionar genótipos tolerantes à essa condição e utilizá-los em cruzamentos. Além disso, o ideal seria fazer a seleção indireta dos genótipos tolerantes durante o estágio de germinação. As vantagens de se fazer isso é por necessitar de pouco espaço, pouco tempo, e poucos recursos, quando comparado a ensaios de campo, tornando o custo de avaliação de linhagens bem mais barato, e com resultados disponíveis em um curto espaço de tempo (Dantas et al., 2017).

O local ideal para buscar os genótipos tolerantes é o banco de germoplasma, pois possui vários acessos ainda não avaliados para esse tipo de estresse. Entretanto, existe uma espécie silvestre de tomateiro que é considerada tolerante ao déficit hídrico. *Solanum peruvianum* (L.) Mill. tem como centro de diversidade a região central do Peru ao norte do Chile, sendo encontrada em regiões áridas, arenosas ou rochosas, às vezes perto de campos agrícolas (Peralta et al., 2008). Essa espécie apresenta como mecanismo de tolerância o acúmulo de prolina, o que auxilia no ajustamento osmótico reduzindo os efeitos do déficit hídrico (Tapia et al., 2016).

Além dessa espécie silvestre ser utilizada no melhoramento genético para tolerância ao déficit hídrico, pode estudar o efeito dela como porta-enxerto. Dessa forma, a enxertia pode ser também uma estratégia para mitigar os efeitos do déficit hídrico sobre o tomateiro. Outra espécie silvestre que é tolerante ao déficit hídrico e que pode ser utilizada como porta-enxerto é *Solanum pennellii* (Corr.) D'Arcy.

Essa espécie é encontrada em encostas ocidentais dos Andes, no Peru. Essa região é quente e extremamente seca (Torrecillas et al., 1995). Os mecanismos de tolerância em ambientes áridos utilizados por essa espécie são: a sua composição cuticular associada a maior resistência ao fluxo de água, menor área e maior espessura foliar, e comportamento estomático voltado a maior conservação de água (Bolger et al., 2014).

Vários trabalhos têm relatado a tolerância ao déficit hídrico por meio da enxertia. Por exemplo, o uso de porta-enxertos de tomate aumentou o crescimento radicular, a razão raiz para parte aérea, promoveu a absorção de água aumentando a

condutividade hidráulica e aumentando a absorção de nutrientes quando o estresse hídrico foi imposto (Cantero-Navarro et al., 2016; Poudyala et al., 2015; Sánchez-Rodríguez et al., 2013; Weng, 2000). Planta de tomates enxertadas em diferentes porta-enxertos aumentaram a produção de frutos, a qualidade dos frutos e a eficiência do uso da água em comparação com plantas auto-enxertadas (Cantero-Navarro et al., 2016; Poudyala et al., 2015; Sánchez-Rodríguez et al., 2013). Entretanto, não existe nenhum trabalho utilizando essas duas espécies como porta-enxerto e que abordam os efeitos fisiológicos em resposta ao déficit hídrico.

Diante disso, as hipóteses deste trabalho foram: i) os parâmetros fisiológicos das plantas enxertadas em *S. pennellii* e *S. peruvianum* são menos afetados do que enxertadas em outros porta-enxertos e pé-franco sob déficit hídrico; ii) o BGH-UFV possui acessos tolerantes ao déficit hídrico.

Nesse sentido, esse trabalho propõe avaliar o efeito dos porta-enxertos *S. pennellii* e *S. peruvianum* nos parâmetros fisiológicos sob déficit hídrico e avaliar os índices de tolerância, de modo a selecionar genótipos com potencial para tolerância ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- Begcy, K., Mariano, E. D., Gentile, A., Lembke, C. G., Zingaretti, S. M., Souza, G. M., and Menossi, M. (2012). A novel stress-induced sugarcane gene confers tolerance to drought, salt and oxidative stress in transgenic tobacco plants. *PLoS one* **7**, e44697.
- Bolger, A., Scossa, F., Bolger, M. E., Lanz, C., Maumus, F., Tohge, T., Quesneville, H., Alseekh, S., Sørensen, I., Lichtenstein, G., Fich, E. A., Conte, M., Keller, H., Schneeberger, K., Schwacke, R., Ofner, I., Vrebalov, J., Xu, Y., Osorio, S., and Aflitos, S. A. (2014). The genome of the stress-tolerant wild tomato species *Solanum pennellii*. *Nature Genetics* **46**, 1034-1038.
- Cantero-Navarro, E., Romero-Aranda, R., Fernández-Muñoz, R., Martínez-Andújar, C., Pérez-Alfocea, F., and Albacete, A. (2016). Improving agronomic water use efficiency in tomato by rootstock-mediated hormonal regulation of leaf biomass. *Plant Science* **251**, 90-100.
- Cantore, V., Lechkar, O., Karabulut, E., Sellami, M. H., Albrizio, R., Boari, F., Stellacci, A. M., and Todorovic, M. (2016). Combined effect of deficit irrigation and strobilurin application on yield, fruit quality and water use efficiency of “cherry” tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Agricultural Water Management* **167**, 53-61.
- Dantas, S. A. G., Silva, F. C. S., Silva, L. J., and Silva, F. L. (2017). Strategy for selection of soybean genotypes tolerant to drought during germination. *Genetics and Molecular Research* **16**, 1-8.
- Fathi, A., and Tari, D. B. (2016). Effect of drought stress and its mechanism in plants. *International Journal of Life Sciences* **10**, 1-6.
- FAO. Faostat - Statistics Database. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 22 abril 2019.
- Foolad, M. R., Subbiah, P., Kramer, C., Hargrave, G., and Lin, G. Y. (2003). Genetic relationships among cold, salt and drought tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato. *Euphytica* **130**, 199-206.
- Frusciante, L., Carli, P., Ercolano, M. R., Pernice, R., Di Matteo, A., Fogliano, V., and Pellegrini, N. (2007). Antioxidant nutritional quality of tomato. *Molecular Nutrition & Food Research* **51**, 609-617.

- Jaleel, C. A., Gopi, R., Manivannan, P., and Panneerselvam, R. (2007). Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. to paclobutrazol treatment under salinity. *Acta Physiologiae Plantarum* **29**, 205-209.
- Loyola, J., Verdugo, I., González, E., Casaretto, J., and Ruiz-Lara, S. (2012). Plastidic isoprenoid biosynthesis in tomato: physiological and molecular analysis in genotypes resistant and sensitive to drought stress. *Plant Biology* **14**, 149-156.
- Omena-Garcia, R. P., Martins, A. O., Medeiros, D. B., Vallarino, J. G., Ribeiro, D. M., Fernie, A. R., Araújo, W. L., and Nunes-Nesi, A. (2019). Growth and metabolic adjustments in response to gibberellin deficiency in drought stressed tomato plants. *Environmental and Experimental Botany* **159**, 95-107.
- Peralta, I. E., Spooner, D. M., and Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs* **84**, 1-186.
- Pervez, M. A., Ayub, C. M., Khan, H. A., Shahid, M. A., and Ashraf, I. (2009). Effect of drought stress on growth, yield and seed quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* **46**, 174-178.
- Poudyala, D., Khatria, L., and Uptmoora, R. (2015). An introgression of *Solanum habrochaites* in the rootstock improves stomatal regulation and leaf area development of grafted tomatoes under drought and low root-zone-temperatures. *Advances in Crop Science and Technology* **3**, 1-11.
- Sánchez-Rodríguez, E., Romero, L., and Ruiz, J. M. (2013). Role of grafting in resistance to water stress in tomato plants: ammonia production and assimilation. *Journal of Plant Growth Regulation* **32**, 831-842.
- Tapia, G., Méndez, J., and Inostroza, L. (2016). Different combinations of morpho-physiological traits are responsible for tolerance to drought in wild tomatoes *Solanum chilense* and *Solanum peruvianum*. *Plant Biology* **18**, 406-416.
- Torrecillas, A., Guillaume, C., Alarcón, J. J., and Ruiz-Sánchez, M. C. (1995). Water relations of two tomato species under water stress and recovery. *Plant Science* **105**, 169-176.
- Urano, K., Maruyama, K., Ogata, Y., Morishita, Y., Takeda, M., Sakurai, N., Suzuki, H., Saito, K., Shibata, D., Kobayashi, M., Yamaguchi-Shinozaki, K., and Shinozaki, K. (2009). Characterization of the ABA-regulated global responses

- to dehydration in Arabidopsis by metabolomics. *The Plant Journal* **57**, 1065-1078.
- Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., and Zhu, J. K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal* **45**, 523-539.
- Wahb-Allah, M. A., Alsadon, A. A., and Ibrahim, A. A. (2011). Drought tolerance of several tomato genotypes under greenhouse conditions. *World Applied Sciences Journal* **15**, 933-940.
- Weng, J.-H. (2000). The role of active and passive water uptake in maintaining leaf water status and photosynthesis in tomato under water deficit. *Plant Production Science* **3**, 296-298.

**CAPÍTULO I: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DO TOMATEIRO
ENXERTADO EM *Solanum pennellii* e *Solanum peruvianum* SOB
DEFICIT HÍDRICO**

RESUMO

A enxertia pode reduzir os problemas causados pelo deficit hídrico na cultura do tomate. *Solanum pennellii* e *Solanum peruvianum* são espécies silvestres de tomate que são tolerantes ao deficit hídrico e podem ser usadas como porta-enxerto. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar as respostas fisiológicas do tomateiro enxertado em *S. pennellii* e *S. peruvianum* sob deficit hídrico. Os porta-enxertos utilizados foram dois acessos de tomateiro *S. pennellii* (PN) e *S. peruvianum* (PR), e a cultivar ‘Multifort’ (MU). O enxerto utilizado foi ‘HM 1823’ (HM), também foi realizada a autoenxertia nessa cultivar. Após 30 dias do transplante aplicou-se o tratamento que consistiu em plantas irrigadas periodicamente (controle) e plantas não irrigadas (sob deficit hídrico) onde a água foi suprimida totalmente. As avaliações da assimilação líquida de CO₂ (A_N), condutância estomática (g_s), taxa de transpiratória (E), potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA), eficiência intrínseca (EUA_{intr}) e instantânea do uso da água (EUA_{ins}), bem como coletas de folhas para análises do teor de malonaldeído (MDA) e prolina foram iniciadas quando 50% das plantas do tratamento não irrigado estavam murchas. Isso ocorreu no oitavo dia após a suspensão da irrigação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste LSD, a 5 % de probabilidade, com auxílio do software R. Entre a combinação de enxerto/porta-enxertos e pé-franco, os enxertos HM/PN e HM/PR apresentaram maiores valores sob deficit hídrico para Ψ_w (-1,657 e -1,552 MPa), TRA (61,217 e 58,655%), A_N (4,041 e 3,975 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), EUA_{ins} (2,928 e 1,856 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹) e EUA_{intr} (87,794 e 60,608 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹). Além disso, foram os enxertos que apresentaram menores valores de MDA (6,174 e 6,082 μmol g⁻¹ P.F.) e prolina (50,897 e 40,410 μmol g⁻¹ P.F.). Portanto, os tomates silvestres utilizados como porta-enxertos podem ser uma estratégia para se obter a tolerância ao deficit hídrico.

Palavras-chave: Enxertia, espécies silvestres, trocas gasosas.

ABSTRACT

Grafting may reduce problems caused by water deficit in tomato crop. *Solanum pennellii* and *Solanum peruvianum* are wild tomato species that are tolerant to water deficit and can be used as rootstock. Thus, the objective of this work was to evaluate the physiological responses of tomatoes grafted on *S. pennellii* and *S. peruvianum* under water deficit. The rootstocks were two accessions of *S. pennellii* (PN) and *S. peruvianum* (PR), and 'Multifort' (MU) cultivar. The graft used was 'HM 1823' (HM), also the autograft was performed in this cultivar. After 30 days of transplanting the treatment was applied, which consisted of plants irrigated periodically (control) and non-irrigated plants (under water deficit) where the water was totally suppressed. The CO₂ assimilation (A_N), stomatal conductance (g_s), leaf transpiration rate (E), water potential (Ψ_w), relative water content (RWC), intrinsic efficiency (WUE_{intr}) and instantaneous (WUE_{ins}) as well as leaf samples for analyzes of malonaldehyde (MDA) and proline were initiated when 50% of the plants of the non-irrigated treatment were wilted. This occurred on the eighth day after the suspension of irrigation. The experimental design was in randomized blocks, in a 2x5 factorial scheme. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the LSD test, with a 5% probability, using software R. Among the grafting combination and non-grafted, the HM/PN and HM/PR presented higher values under water deficit for Ψ_w (-1.657 and -1.552 MPa), RWC (61.217 and 58.655%), A_N (4.041 and 3.975 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), WUE_{ins} (2.928 and 1.856 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) and WUE_{intr} (87.794 and 60.608 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$). In addition, the grafts showed the lowest MDA values (6.174 and 6.082 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ F.W.}$) and proline (50.897 and 40.410 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ F.W.}$). Therefore, wild tomatoes used as rootstocks may be a strategy to obtain tolerance to water deficit.

Key words: Grafting, wild relative species, gas exchange.

1. INTRODUÇÃO

O estresse causado pela restrição hídrica às plantas apresenta-se como grave risco natural, pois é capaz de impactar significativamente o setor agrícola, seja pela limitação da quantidade de água disponível, seja pela limitação das áreas com aptidão agrícola. O tomateiro é, dentre as espécies de importância agrícola mundial, passível de ser acometido por vários distúrbios ocasionados pela restrição hídrica (Sakya et al., 2018; Zdravković et al., 2013; Pervez et al., 2009), tendo em vista sua suscetibilidade a esse estresse (Foolad et al., 2003).

Sob restrição hídrica ocorre redução da abertura estomática, redução do influxo de CO₂ e, por conseguinte, das taxas fotossintéticas, além de modificações na elasticidade da parede celular e síntese de formas reativas de oxigênio (Ahuja et al., 2010). Essas alterações reduzem a produtividade do tomateiro e a qualidade do fruto (Celebi, 2014; Chen et al., 2014; Kuşçu et al., 2014).

Atualmente apresenta-se para o setor agrícola um cenário de insegurança hídrica, tornando-se imperativo o desenvolvimento de tecnologias capazes de mitigar os possíveis efeitos decorrentes da escassez hídrica. De maneira análoga, torna-se necessário desenvolver estratégias para reduzir os problemas causados pelo déficit hídrico sobre a tomaticultura.

Dentre as estratégias passíveis de utilização, cita-se a possibilidade de obtenção de cultivares tolerantes ao déficit hídrico por meio de técnicas de melhoramento genético (Bernier et al., 2008). Contudo, apesar dos grandes esforços investidos no melhoramento de plantas visando a tolerância ao déficit hídrico, o desenvolvimento de variedades tolerantes não tem tido sucesso, devido as variações genéticas estreitas das plantas, e pela natureza complexa e multigênica da característica de tolerância ao déficit hídrico (Egea et al., 2018).

Outra estratégia passível de uso é a técnica da enxertia, por meio da qual, é possível a utilização de recursos genéticos de espécies silvestres tolerantes ao déficit hídrico como porta-enxerto. O uso de porta-enxertos de espécies relacionadas ao tomateiro resulta em maior crescimento radicular, aumento na razão raiz e parte aérea, maior absorção de água, e, por conseguinte, aumento na absorção de nutrientes quando o déficit hídrico foi imposto (Cantero-Navarro et al., 2016; Poudyala et al., 2015; Sánchez-Rodríguez et al., 2013; Weng, 2000). Ademais, tomateiros enxertados têm maior produção de frutos, melhoria em atributos de qualidade e maior eficiência do

uso da água quando expostas a condições de restrição hídrica (Cantero-Navarro et al., 2016; Poudyala et al., 2015; Sánchez-Rodríguez et al., 2013).

Dois tipos de combinações são possíveis: a intraespecífica (porta-enxerto e enxerto pertencentes à mesma espécie botânica) e interespecífica (porta-enxerto e enxerto pertencentes a diferentes espécies do mesmo gênero) (Mudge et al., 2009). A combinação de enxertos intraespecífica é comum e tem sido relatado para melhorar a tolerância a vários estresses abióticos, como frio, seca, calor e inundação (Palada e Wu, 2009; Black et al., 2003). Por outro lado, a tolerância por meio da combinação interespecífica para tomate tem sido pouco pesquisada (Bloom et al., 2004; Sanders e Markhart, 1992; Zijlstra e Nijs, 1987).

Dentro do gênero *Solanum*, existem as espécies silvestres do tomateiro que são tolerantes a diversos estresses bióticos e abióticos e que poderiam ser usadas para ampliar a diversidade de porta-enxertos, quanto às mudanças ambientais (Petran e Hoover, 2014). *S. pennellii* (Corr.) D'Arcy e *S. peruvianum* (L.) Mill. são espécies silvestres do tomateiro e apresentam características adaptativas para regiões áridas. *S. pennellii* é nativa da região andina da América do Sul de forma que se adaptou às condições áridas (Rick e Tanksley, 1981). A transcriptômica entre *S. pennellii* e *S. lycopersicum* mostrou padrões distintos de evolução. *S. pennellii* teve padrões de expressão gênica mais adequados para tolerância ao estresse em relação ao tomateiro domesticado (Koenig et al., 2013).

A distribuição de *S. peruvianum* é principalmente no litoral central / sul do Peru e norte do Chile. Essa espécie é comumente encontrada em regiões áridas, arenosas ou rochosas (Peralta et al., 2008). A tolerância a ambientes salinos e secos foi identificada por um fator de transcrição que é capaz de ativar a expressão de genes que regulam o ácido abscísico (ABA) em condições de estresse (Yáñez et al., 2009). Dessa forma, essas duas espécies silvestres de tomateiro são promissoras para serem utilizadas como porta-enxerto visando à tolerância ao déficit hídrico.

Entretanto, até o presente momento não existe nenhum trabalho utilizando essas duas espécies como porta-enxerto sob condições de déficit hídrico. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar as respostas fisiológicas do tomateiro enxertado em *S. pennellii* e *S. peruvianum* sob déficit hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e Material vegetal

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no centro de pesquisa Texas A&M AgriLife Research & Extension Center at Uvalde, TX (29°13' N, 99°45' W; altitude 283 m), durante os meses de fevereiro a junho de 2018.

Os porta-enxertos utilizados foram dois acessos de tomateiro LA0716 (*Solanum pennellii*), PI128659 (*Solanum peruvianum*) e 'Multifort'. 'Multifort' é um híbrido interespecífico (*S. lycopersicum* × *S. habrochaites*) amplamente utilizado como porta-enxerto na tomaticultura.

A cultivar utilizada como copa foi 'HM 1823', possui hábito de crescimento determinado é uma planta vigorosa e com frutos extragrandes (Ozores-Hampton e McAvoy, 2014).

2.2. Delineamento experimental e Condução do experimento

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5, correspondendo a dois regimes hídricos (plantas irrigadas e plantas sob deficiência hídrica - suspensão da irrigação) e um pé-franco ('HM 1823') mais quatro combinações de enxertia (HM/HM: 'HM 1823' enxertada em 'HM 1823', HM/MU: 'HM 1823' enxertada em 'Multifort', HM/PN: 'HM 1823' enxertada em *S. pennellii* e HM/PR: 'HM 1823' enxertada em *S. peruvianum*), com quatro repetições para cada tratamento.

A sementeira foi realizada em bandejas de poliestireno expandido com 128 células preenchidas com substrato comercial. Os porta-enxertos 'Multifort', *S. pennellii* e *S. peruvianum* foram semeados 2, 11 e 17 dias antes do enxerto. O intervalo entre a sementeira foi necessário para obtenção de plântulas com diâmetros do hipocótilo compatíveis entre enxerto e porta-enxerto a fim de obter maior porcentagem de pegamento.

A enxertia foi realizada 26 dias após a emergência das plântulas da cultivar 'HM 1823', quando as mesmas atingiram de três a quatro folhas verdadeiras. A técnica utilizada para realização da enxertia foi a garfagem do tipo inglesa simples, que consiste na realização de um corte em diagonal, bisel simples. Em seguida, realizou-se a união entre o porta-enxerto e o enxerto com o auxílio de um clipe de silicone próprio para enxertia em hortaliças.

As plantas enxertadas foram acondicionadas em câmara úmida e escura, tipo *floating*. A temperatura média variou de 18 a 25 °C e a umidade relativa foi maior que 85 %. As condições de umidade e temperatura no interior da câmara úmida foram monitoradas por um *datalogger*.

As plantas enxertadas ficaram dez dias nessa câmara e após esse período as mudas passaram por um período de aclimação. As mudas eram mantidas, pela manhã, fora da câmara e expostas ao sol, ou até a observação de murcha das folhas. Em seguida retornavam para a câmara úmida e escura, onde eram mantidas até o dia seguinte, para recuperação da turgidez. Esse processo foi realizado até o momento em que as mudas se mantiveram completamente túrgidas e independentes do uso da câmara úmida, o que ocorreu no quinto dia de aclimação.

As mudas foram transplantadas no sétimo dia após a aclimação. Elas foram transplantadas para vasos de 10 L (25 cm de diâmetro, 20 cm de altura) que foram preenchidos com solo. Antes do transplante foram colocados sensores de umidade do solo nos vasos (sondas de umidade do solo ECH2O[®], Em5b, Decagon Devices Inc., WA). Esses sensores monitoravam continuamente o teor de água do solo com base nas mudanças no conteúdo volumétrico de água. Os vasos foram pesados diariamente às 08:00 da manhã para monitorar também a quantidade de água.

Após 30 dias do transplante aplicou-se o tratamento que consistiu em plantas irrigadas periodicamente com base na capacidade de campo (controle) e plantas não irrigadas (sob déficit hídrico) no qual a água foi suprimida totalmente. Plantas do tratamento controle foram irrigadas diariamente a fim de manter a umidade do solo dos vasos próxima à capacidade de campo até o fim do experimento.

As avaliações de trocas gasosas, bem como coletas de folhas para análises bioquímicas iniciaram-se quando 50 % das plantas do tratamento não irrigado estavam murchas. Isso ocorreu no oitavo dia após a suspensão da irrigação.

As plantas foram adubadas com 20N-10P-20K (Mayo Fertilizer Inc., Mayo, FL) e micronutrientes (Valagro Brexil Multi, Itália). As práticas padrão de manejo do tomateiro e o controle de pragas foram aplicados em ambos os tratamentos.

2.3. Avaliações

2.3.1. Determinação dos parâmetros de trocas gasosas

A assimilação líquida de CO₂ (A_N), a condutância estomática (g_s) e a taxa transpiratória (E) foram medidas no penúltimo folíolo da terceira folha, do ápice para

base. As medições desses parâmetros foram por meio de um analisador de gases a infravermelho em sistema aberto (IRGA – Infrared Gas Analyzer), modelo LI 6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, EUA).

A eficiência instantânea do uso da água (EUA_{ins}) foi obtida pela razão entre assimilação líquida de CO_2 e taxa transpiratória. Já o cálculo da eficiência intrínseca do uso da água (EUA_{intr}) foi por meio da razão entre assimilação líquida de CO_2 e condutância estomática.

2.3.2. Determinação do “status” hídrico da planta

O potencial hídrico das plantas foi obtido com auxílio de uma câmara de pressão do tipo Scholander (modelo 1000, PMS Instruments, Albany, NY, USA), entre o período de 12:00 às 14:00. Nesse horário é possível obter as maiores diferenças entre os tratamentos, uma vez que esse é o período de maior diferença de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera. O penúltimo folíolo da quarta folha, do ápice para a base, foi utilizado para aferição do potencial hídrico (Ψ_w).

O teor relativo de água (TRA) também foi usado para determinar o status hídrico e foi obtido de acordo com Jamaux et al. (1997). Oito discos foliares de 0,212 cm^2 (0,519 cm de diâmetro) foram coletados de folhas localizadas na base, meio e ápice da planta no oitavo dia. A determinação da massa fresca (MF) foi realizada pela pesagem dos discos imediatamente após a coleta. Depois da pesagem foram colocados em placas de Petri contendo água destilada. Após um período de 24 horas os discos foram secos com papel adsorvente e pesados para obtenção da massa turgida (MT). Posteriormente, os discos foram colocados em sacos de papel e levados a estufa com ventilação forçada à temperatura de 65 °C por 48 horas para obtenção da massa seca (MS). A obtenção do valor do TRA foi obtida por meio da seguinte fórmula:

$$TRA (\%) = \frac{MF - MS}{MT - MS} * 100$$

2.3.3. Determinação do teor de malonaldeído

A peroxidação de lipídeos foi estimada através da determinação do teor de malonaldeído (MDA), de acordo com o protocolo de Heath e Packer (1968). As amostras foliares foram coletadas no oitavo dia sendo imediatamente congeladas em

nitrogênio líquido e armazenadas a -80 °C até o momento do uso para a determinação do teor de malonaldeído.

As amostras de 0,1 g das folhas armazenadas foram homogenizadas com 0,5 mL de ácido tricloracético (TCA) 1 % (p/v). Depois foram centrifugados por 10 min, a 15.000 xg, 4 °C. A fração sobrenadante foi coletada e adicionou-se 1,5 mL de 0,5 % ácido tiobarbitúrico (TBA) diluídos em 20 % TCA. Isso foi incubado em banho maria por 25 min a 95 °C com leve agitação. Após esse período, a reação foi paralisada com a incubação em gelo. As leituras foram feitas em dois comprimentos de onda, 532 e 600 nm.

$$\text{MDA } (\mu\text{mol g}^{-1}) = \frac{(A532 - A600)}{155} * 1000$$

2.3.4. Determinação de prolina

As amostras foliares foram coletadas no oitavo dia e foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e armazenada a -80 °C. Em 20 mg dessas amostras adicionou-se 200 µL (10 vezes o peso da amostra) de uma solução tampão (250 pmol/Nor-valine in 20 mM HCl) devidamente armazenada a -20 °C. Em seguida, agitou essa mistura por dois minutos e colocando-a em gelo por 25 minutos. Depois centrifugou por 20 minutos a 14.000 rpm, 4 °C. Transferiu-se o sobrenadante, filtrando-o em Pall vacum. Coletou-se as amostradas filtradas, mantendo-as em -4 °C até o uso. Foram misturados 5 µL dessa amostra em 35 µL da solução tampão. Depois foram coletados 10 µL dessa mistura e deixado por 10 minutos no escuro. Em seguida, foi realizada a quantificação de prolina pela cromatografia líquida de ultra performace.

2.4. Análise estatística

Cada parcela foi formada por quatro plantas, adotando-se uma planta como bordadura em ambos os extremos de cada parcela. Dessa forma, duas plantas úteis para coleta dos dados. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste LSD, a 5 % de probabilidade, com auxílio do software R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade volumétrica do solo e o peso dos vasos se manteve constante na condição irrigada devido à irrigação diária (Fig. 1A e B). Entretanto, para a condição

em que suspendeu a irrigação, durante oito dias, houve uma redução de 32,14 % na umidade volumétrica do solo e 13,33 % no peso dos vasos.

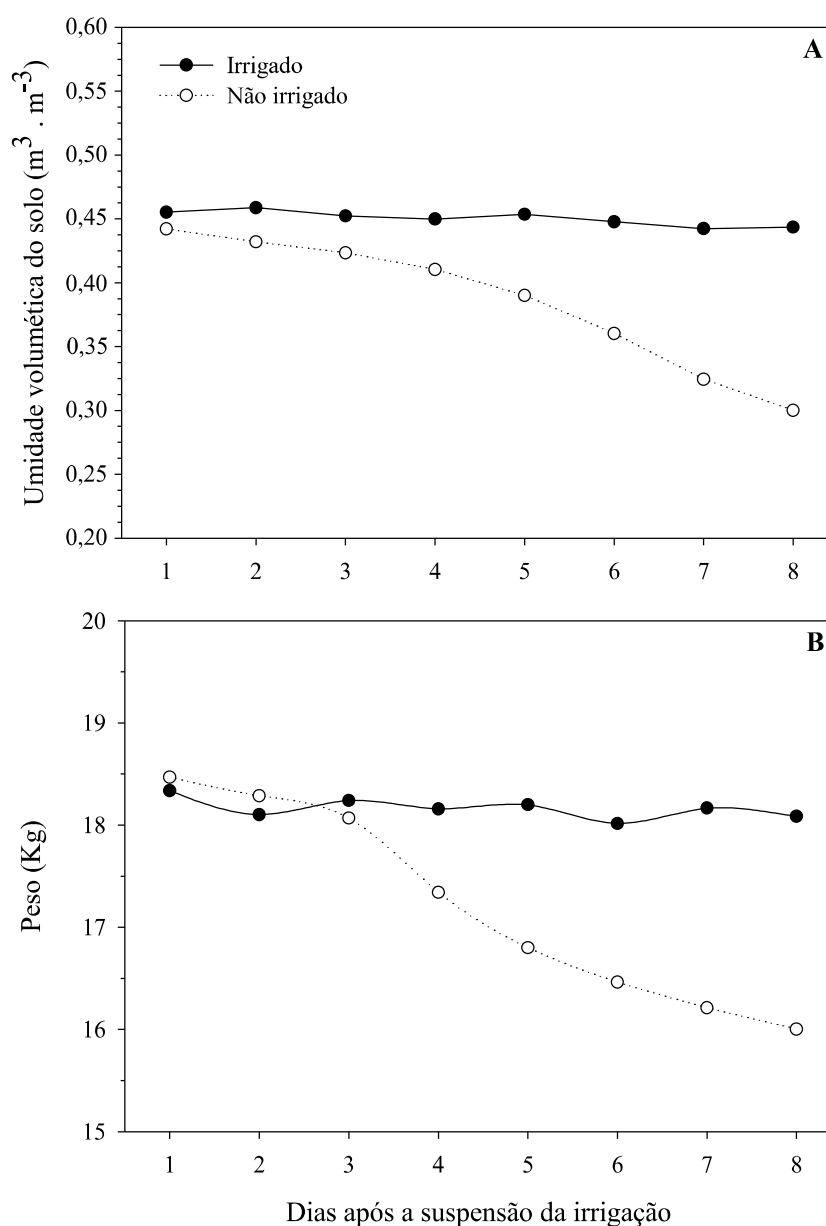


Figura 1. Umidade volumétrica do solo (A) e peso de vasos (B) para a condição irrigada e não irrigada durante 8 dias.

A análise de variância evidenciou interações significativas entre os regimes de irrigação e as combinações de enxerto/porta-enxertos e pé-franco para todas as variáveis, exceto para a taxa transpiratória. Para taxa transpiratória houve diferença significativa para cada efeito estudado isoladamente (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os *P*-valores para os efeitos de irrigação e combinação de enxerto/porta-enxertos e pé-franco para potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA), assimilação líquida de CO₂ (A_N), condutância estomática (g_s), taxa transpiratória (E), eficiência instantânea e intrínseca do uso da água (EUA_{ins} e EUA_{intr}), teor de malonaldeído (MDA) e prolina.

Variável	FV ¹	GL ²	<i>P</i> -valor	CV (%) ³
Ψ_w (MPa)	Irrigação (I)	1	<0,001	6,52
	Enxertos (E)	4	<0,001	
	IxE	4	<0,001	
TRA (%)	Irrigação (I)	1	<0,001	6,21
	Enxertos (E)	4	0,478	
	IxE	4	<0,001	
A_N ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Irrigação (I)	1	<0,001	21,87
	Enxertos (E)	4	0,001	
	IxE	4	0,022	
g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Irrigação (I)	1	<0,001	45,38
	Enxertos (E)	4	0,003	
	IxE	4	0,035	
E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Irrigação (I)	1	<0,001	23,96
	Enxertos (E)	4	<0,001	
	IxE	4	0,113	
EUA _{ins} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$)	Irrigação (I)	1	<0,001	21,91
	Enxertos (E)	4	<0,001	
	IxE	4	<0,001	
EUA _{intr} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$)	Irrigação (I)	1	<0,001	30,63
	Enxertos (E)	4	<0,001	
	IxE	4	<0,001	
MDA ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ P.F.}$)	Irrigação (I)	1	<0,001	9,10
	Enxertos (E)	4	<0,001	
	IxE	4	<0,001	
Prolina ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ P.F.}$)	Irrigação (I)	1	<0,001	42,18
	Enxertos (E)	4	<0,001	
	IxE	4	<0,001	

¹FV: Fonte de variação; ²GL: Grau de liberdade e ³CV: Coeficiente de variação.

Na condição irrigada, HM/PN atingiu menor potencial hídrico foliar (-1,26 MPa). As demais combinações, bem como o pé-franco não diferiram quanto a essa variável. Sob restrição hídrica as combinações HM/PN (-1,65 MPa) e HM/PR (-1,55 MPa) apresentaram maior potencial hídrico foliar em comparação com HM/MU (-2,08 MPa), HM/HM (-1,95 MPa) e a HM (-2,17 MPa), sendo essa última, aquela com menor potencial (Figura 2A).

As menores reduções percentuais do potencial hídrico foliar quando contrapostas as condições de suprimento adequado de água e a restritiva, foram mensuradas nas combinações HM/PR (23,84 %) e HM/PN (34,80 %).

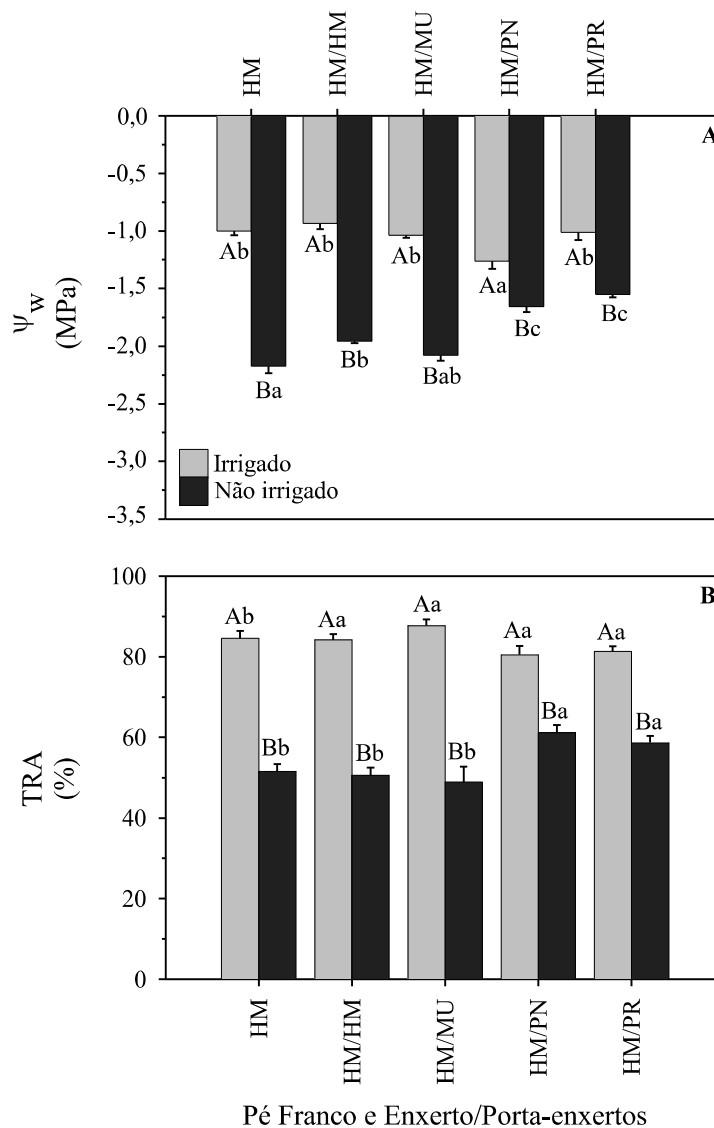


Figura 2. (A) Potencial hídrico (Ψ_w) e (B) teor relativo de água (TRA) de quatro combinações de enxerto/porta-enxerto (HM/HM: ‘HM 1823’ enxertada em ‘HM 1823’, HM/MU: ‘HM 1823’ enxertada em ‘Multifort’, HM/PN: ‘HM 1823’ enxertada em *S. pennellii* e HM/PR: ‘HM 1823’ enxertada em *S. peruvianum*) de plantas de tomate e pé-franco (HM: cultivar ‘HM 1823’) sob condição irrigada e não irrigada. Letras maiúsculas iguais entre as condições de irrigação e letras minúsculas iguais entre pé-franco e combinações de enxerto/porta-enxertos não diferem pelo teste LSD ($P \leq 0,05$). Valores estão apresentados como médias \pm erro padrão.

A baixa disponibilidade de água no solo induz o decréscimo no conteúdo de água no tecido foliar e subsequentemente no potencial hídrico da folha (Shangguan et al., 2000; Bogoslavsky e Neumann, 1998). À medida que o potencial hídrico foliar diminui, as células-guarda começam a perder o turgor, causando o fechamento estomático (Brodrigg e McAdam, 2017). Além disso, baixos valores de potencial hídrico foliar resultam em grandes reduções na fotossíntese. A taxa fotossintética diminui devido à redução da abertura estomática (Boyer, 1976). Dessa forma, não há processo vital que não seja afetado de alguma forma pelo declínio do potencial hídrico.

Na condição não irrigada, HM, HM/HM e HM/MU apresentaram valores menores de potencial hídrico foliar e seus valores de assimilação líquida de CO₂ foram iguais ou próximos de zero, ou seja, isso mostra que eles são mais sensíveis ao deficit hídrico quando comparados com HM/PR e HM/PN. O potencial hídrico foliar foi utilizado para quantificar a tolerância ao deficit hídrico em plantas de *Arabidopsis thaliana* (Mane et al., 2007), bem como em plantas cultivadas (Mishra et al., 2012; Haupt-Herting e Fock, 2002; Jongdee et al., 2002).

Os valores do TRA foram iguais estatisticamente entre as combinações enxertos/porta-enxertos e pé-franco na condição irrigada. O teor relativo de água declinou da condição irrigada em relação a condição não irrigada 39,00 %, 39,90 %, 44,22 %, 24,90 % e 27,88 % para HM, HM/HM, HM/MU, HM/PN e HM/PR, respectivamente (Figura 2B). As combinações que sob condição de restrição hídrica mantiveram os valores de TRA elevados foram HM/PN (61,21 %) e HM/PR (58,65 %).

O TRA é considerado um indicador confiável que reflete o teor de água em relação ao teor máximo de água, portanto, indica o nível de hidratação (Tanentzap et al., 2015; Hassanzadeh et al., 2009; Schonfeld et al., 1988). Sob deficit hídrico é observado redução no TRA, essa redução causa danos na membrana celular, consequentemente, afeta as respostas fisiológicas (Shinohara e Leskovar, 2014; Upreti et al., 2000).

Sob condições deficit hídrico *S. pennellii* apresentou maior teor relativo de água comparado com *S. lycopersicum* (Egea et al., 2018). Similarmente, uma linhagem de introgressão de *S. habrochaites* (IL, “LA3957”), usada como porta-enxerto de tomate, resultou em diminuição da condutância estomática em resposta ao estresse hídrico, de modo a manter o turgor das folhas (Poudyala et al., 2015). Plantas enxertadas em porta-enxerto silvestres de berinjela (*S. torvum*) apresentaram maior

teor relativo de água do que aquelas auto-enxertadas sob restrição de água (Zhou et al., 2012).

Vários trabalhos verificaram a alta correlação entre TRA e a capacidade de determinados genótipos tolerarem o deficit hídrico (Boutraa et al., 2010; Sánchez-Rodríguez et al., 2010). Além disso, a manutenção da TRA foi considerada um dos melhores critérios para identificar e classificar genótipos tolerantes (Sánchez-Rodríguez et al., 2010; Rahman et al., 2004). Neste estudo, o maior valor de TRA na condição não irrigada foi encontrado nos enxertos HM/PN e HM/PR. De acordo com Sánchez-Rodríguez et al. (2010), esses enxertos podem ser definidos como os mais tolerantes ao deficit hídrico. Uma vez que a maior capacidade de retenção de água durante a desidratação é uma estratégia para adquirir tolerância (Selote e Khanna-Chopra, 2006).

HM/PR ($17,57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) quando em condição normal de suprimento de água foi aquela com maior valor de assimilação líquida de CO_2 (Figura 3A). Apesar da redução verificada na assimilação líquida de CO_2 para todas as combinações de enxerto/porta-enxertos e pé-franco na condição não irrigada, as plantas enxertadas em *S. peruvianum* e *S. pennellii* reduziram menos, aproximadamente 75 % (Figura 3A).

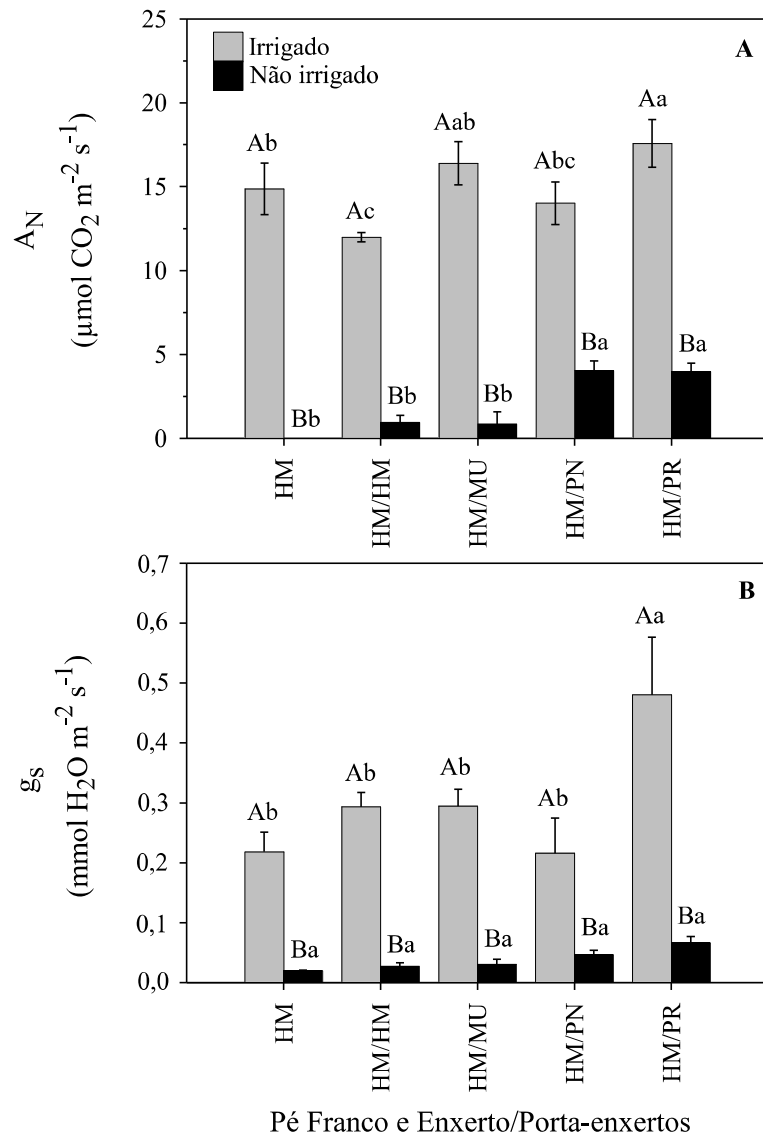


Figura 3. (A) Assimilação de CO₂ (A_N) e (B) condutância estomática (g_s) de quatro combinações de enxerto/porta-enxerto (HM/HM: ‘HM 1823’ enxertada em ‘HM 1823’, HM/MU: ‘HM 1823’ enxertada em ‘Multifort’, HM/PN: ‘HM 1823’ enxertada em *S. pennellii* e HM/ PR: ‘HM 1823’ enxertada em *S. peruvianum*) de plantas de tomate e pé-franco (HM: cultivar ‘HM 1823’) sob condição irrigada e não irrigada. Letras maiúsculas iguais entre as condições de irrigação e letras minúsculas iguais entre pé-franco e combinações de enxerto/porta-enxertos não diferem pelo teste LSD (P ≤ 0,05). Valores estão apresentados como médias ± erro padrão.

Os valores de condutância estomática mensurados nas combinações enxertadas e pé-franco reduziram os valores médios observados quando ocorreu a suspensão da irrigação. Essa redução foi de aproximadamente 91 %, 90 %, 89 %, 78 % e 86 % para HM, HM/HM, HM/MU, HM/PN e HM/PR (Figura 3B).

A combinação HM/PR ($0,480 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi aquela de maior condutância estomática em relação aos demais níveis da combinação de enxerto/porta-enxertos e pé-franco quando irrigada conforme a necessidade da cultura. Na condição não irrigada os valores de condutância foram iguais para as combinações enxerto/porta-enxerto e o pé-franco.

Não houve interação significativa entre o efeito irrigação e forma de propagação para a variável transpiração, mas houve diferença significativa para cada efeito estudado isoladamente. A taxa transpiratória na condição irrigada foi $6,253 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e na condição não irrigada foi $1,252 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Com base nesses dados houve uma redução de 80% na taxa transpiratória. Em relação combinações enxerto/porta-enxertos e o pé-franco, o enxerto que apresentou maior valor de taxa transpiratória foi HM/PR ($5,203 \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). O pé-franco ($3,066 \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), HM/HM ($3,544 \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), HM/MU ($3,752 \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e HM/PN ($3,198 \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) não apresentaram diferença estatística para a taxa transpiratória.

As plantas que estão sob restrição hídrica reduzem a condutância estomática e conseqüentemente, a transpiração; uma vez que o movimento estomático controla esse processo (Sperry et al., 2002; Jones, 1998). O fechamento estomático também está envolvido na redução da absorção de CO_2 , utilizado no processo fotossintético, o que leva a redução da fotossíntese. Dessa forma, quanto mais prolongado for o deficit hídrico, menor será a fotossíntese da planta (Flexas et al., 2006; Royer, 2001; Jones, 1998). Portanto, a condutância estomática é essencialmente uma estimativa da transpiração (perda de água) e da absorção de CO_2 através dos estômatos.

O responsável pelo fechamento dos estômatos sobre restrição hídrica é o ácido abscísico (ABA). Nesse tipo de condição as raízes produzem ABA e transportam-no até a parte aérea via xilema. Nas folhas, o ABA se ligará aos receptores da membrana plasmática da célula-guarda e irá promover a abertura de canais de K^+ e Cl^- , conseqüentemente, ocorrerá a saída de íons K^+ das células guarda. A saída desses íons diminui a pressão de turgor das células-guarda, o que leva ao fechamento estomático (Kuromori et al., 2018; Anjum et al., 2011; Easlon e Richards, 2009). Portanto, no início de um período de deficit hídrico o fechamento dos estômatos é um mecanismo básico para reduzir o efeito desse tipo de estresse na planta (Morales et al., 2015).

Com base nesses resultados a técnica de enxertia melhora os parâmetros fisiológicos sob deficit hídrico, pois a assimilação líquida de CO_2 no pé-franco foi igual a $0 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A assimilação líquida de CO_2 foi diferente entre as

combinações enxertadas e o pé-franco. HM/PN ($4,01 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e HM/PR ($3,97 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) apresentaram maiores valores de assimilação líquida de CO_2 na condição não irrigada. Tal comportamento reforça o papel das espécies silvestres utilizadas como porta-enxerto em relação aos parâmetros fotossintéticos mensurados.

Os valores de EUA_{ins} reduziram após a suspensão da irrigação para HM (100 %), HM/HM (58,28 %) e HM/MU (79,11 %). Os enxertos HM/PN e HM/PR não apresentaram diferença significativa da condição irrigada para a não irrigada. Houve diferença significativa entre a combinação de enxerto/porta-enxertos e pé-franco nas duas condições. Na condição não irrigada os enxertos que apresentaram maiores valores de EUA_{ins} foram HM/PN ($2,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) e HM/PR ($1,856 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) (Figura 4A).

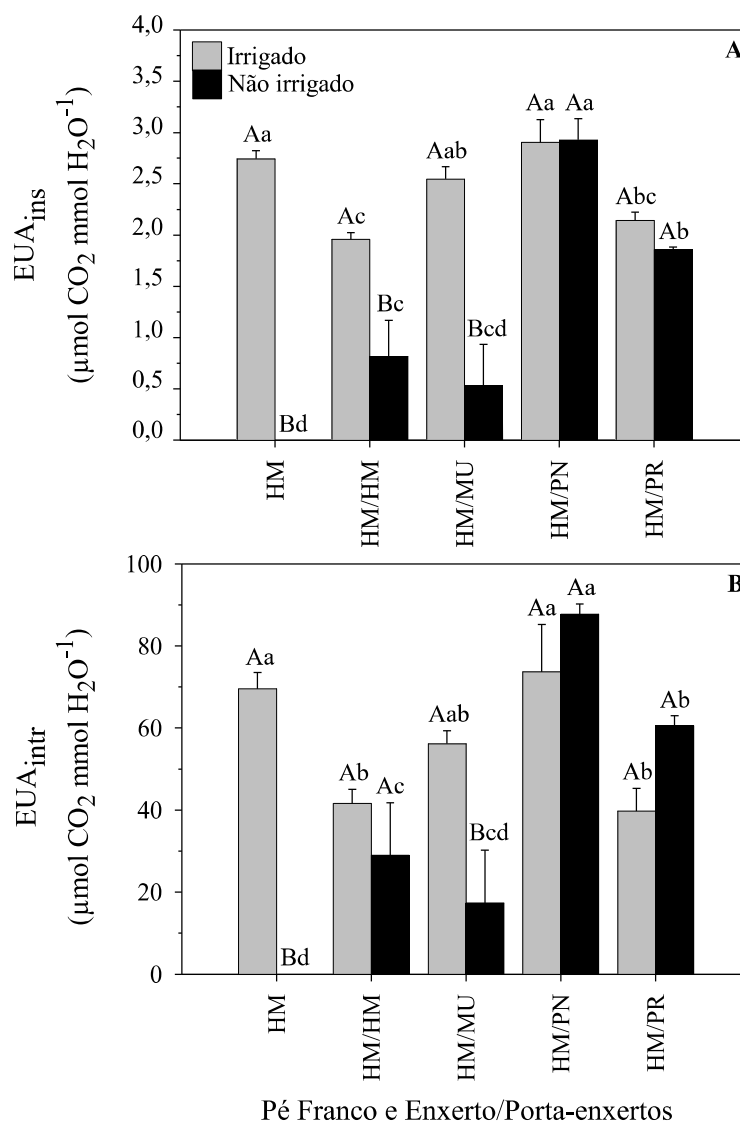


Figura 4. (A) Eficiência instantânea do uso da água (EUA_{ins}) e (B) eficiência intrínseca do uso da água (EUA_{intr}) de quatro combinações de enxerto/porta-enxerto (HM/HM: ‘HM 1823’ enxertada em ‘HM 1823’, HM/MU: ‘HM 1823’ enxertada em ‘Multifort’, HM/PN: ‘HM 1823’ enxertada em *S. pennellii* e HM/PR: ‘HM 1823’ enxertada em *S. peruvianum*) de plantas de tomate e pé-franco (HM: cultivar ‘HM 1823’) sob condição irrigada e não irrigada. Letras maiúsculas iguais entre as condições de irrigação e letras minúsculas iguais entre pé-franco e combinações de enxerto/porta-enxertos não diferem pelo teste LSD ($P \leq 0,05$). Valores estão apresentados como médias \pm erro padrão.

Na condição não irrigada os enxertos que apresentaram maiores valores para a variável EUA_{intr} , ou seja, foram mais eficientes foram HM/PN ($87,79 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) e HM/PR ($60,60 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$). Além disso, não houve diferença

significativa entre as duas condições de irrigação para esses dois enxertos e para HM/HM. HM e HM/MU reduziram EUA_{intr} após a suspensão da irrigação (Figura 4B).

EUA é um parâmetro fisiológico fundamental para a seleção de plantas (Zhang et al., 2018). Plantas que possuem altos valores de EUA sob deficit hídrico são capazes de economizar água (Bahadur et al., 2011). Dessa forma, EUA é um indicador importante de tolerância ao deficit hídrico.

Vários trabalhos mostram que sob deficit hídrico os valores de EUA tendem a aumentar (Li et al., 2017; Dias e Brüggemann, 2010; Muthuri et al., 2009; Liu et al., 2005). Entretanto, os valores EUA sob deficit hídrico dependem da severidade, da duração do estresse e também das características das plantas, como espécie e estágio fenológico (Reed e Loik, 2016; Sikder et al., 2016; Anyia e Herzog, 2004).

Entretanto, os valores de EUA_{inst} observados nesse trabalho reduziram para HM, HM/HM e HM/MU da condição irrigada para não irrigada. Os enxertos HM/PN e HM/PR não apresentaram diferença significativa de uma condição para outra. Já para a variável EUA_{intr} houve uma redução para HM e HM/MU. As combinações HM/PN e HM/PR na condição não irrigada apresentaram maiores valores de EUA_{ins} e EUA_{intr} comparados com demais combinações e o pé-franco, ou seja, nessa condição eles são mais eficientes no uso da água.

Provavelmente esses resultados se devem ao fato do deficit hídrico imposto ter sido severo, plantas com TRA abaixo de 20 % daquelas bem irrigadas, ou com potencial hídrico foliar menor do que -1,5 MPa (Haupt-Herting e Fock, 2002). A severidade desse estresse levou a uma queda drástica na condutância estomática, transpiração e fotossíntese. Pois em casos de deficit hídrico moderado a condutância estomática tem uma redução mais rápida do que a fotossíntese, resultando na elevação da EUA (Chaves e Oliveira, 2004).

O conteúdo de MDA aumentou e foi diferente estatisticamente da condição irrigada para não irrigada somente para HM (35,79 %), HM/HM (52,78 %) e HM/MU (38,43 %) (Figura 5A). Na condição irrigada a combinação de enxerto/porta-enxertos e pé-franco apresentaram diferença entre eles para o conteúdo de MDA. O mesmo comportamento foi observado para a condição não irrigada, porém os mesmos enxertos que apresentaram menor conteúdo de MDA na condição irrigada não coincidiu na não irrigada. Na condição não irrigada os enxertos que apresentaram menores valores de MDA foram HM/PN ($6,17 \mu\text{mol g}^{-1}$ P.F.) e HM/PR ($6,08 \mu\text{mol g}^{-1}$ P.F.).

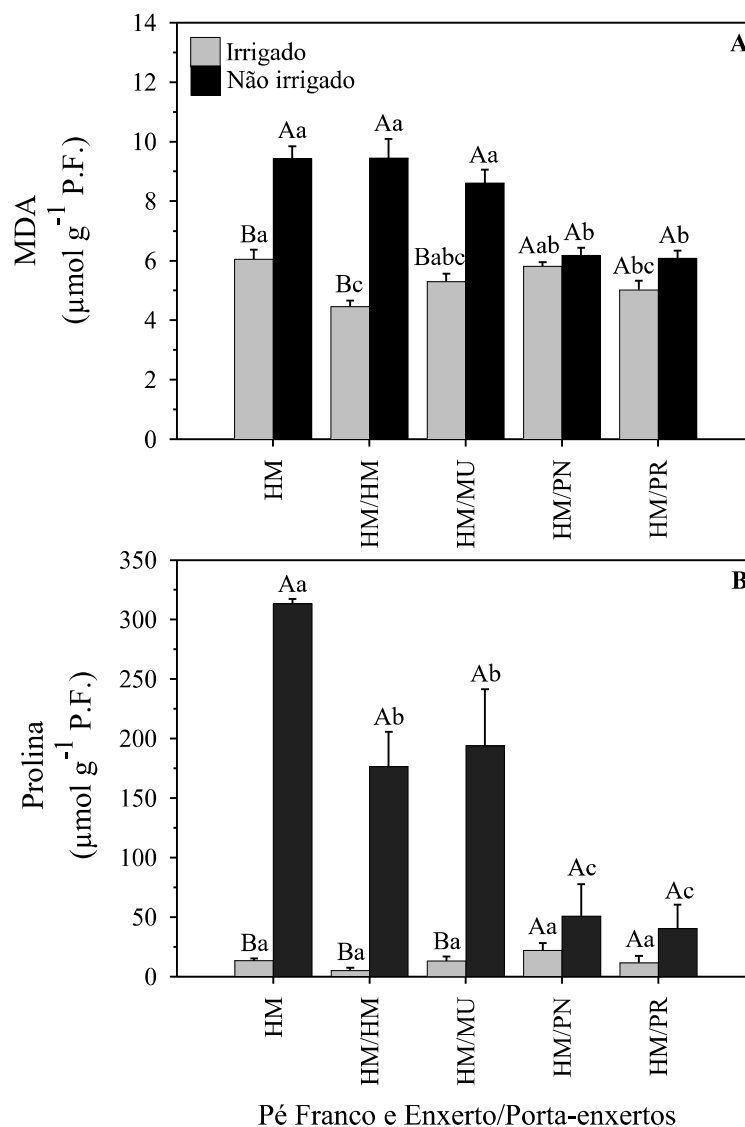


Figura 5. (A) Teor de malonaldeído (MDA) e (B) prolina de quatro combinações de enxerto/porta-enxerto (HM/HM: ‘HM 1823’ enxertada em ‘HM 1823’, HM/MU: ‘HM 1823’ enxertada em ‘Multifort’, HM/PN: ‘HM 1823’ enxertada em *S. pennellii* e HM/PR: ‘HM 1823’ enxertada em *S. peruvianum*) de plantas de tomate e pé-franco (HM: cultivar ‘HM 1823’) sob condição irrigada e não irrigada. Letras maiúsculas iguais entre as condições de irrigação e letras minúsculas iguais entre pé-franco e combinações de enxerto/porta-enxertos não diferem pelo teste LSD ($P \leq 0,05$). Valores estão apresentados como médias \pm erro padrão.

O conteúdo de prolina foi igual entre a combinação de enxerto/porta-enxertos e pé-franco na condição irrigada. Entretanto, na condição não irrigada a cultivar HM ($313,31 \mu\text{mol g}^{-1}$ P.F.) teve o maior conteúdo de prolina e os enxertos HM/PN ($50,89 \mu\text{mol g}^{-1}$ P.F.) e HM/PR ($40,41 \mu\text{mol g}^{-1}$ P.F.) apresentaram os menores valores de

prolina. O conteúdo de prolina aumentou significativamente da condição irrigada para não irrigada para HM (95,71 %), HM/HM (97,06%) e HM/MU (93,20 %) (Figura 5B).

O déficit hídrico altera o equilíbrio entre a produção e remoção de espécies reativas de oxigênio nas plantas, causando o acúmulo de radicais livres de oxigênio. Esse acúmulo provoca a oxidação de substâncias na membrana celular, resultando na peroxidação lipídica de membrana, que tem como produto final o malonaldeído (MDA) (Farooq et al., 2009; Garg e Manchanda, 2009; Moore e Roberts, 1998; Smirnoff, 1993).

O acúmulo de MDA pode ser usado como uma medida do grau de dano celular e como um indicador de déficit hídrico (Liu et al., 2018; Moore e Roberts, 1998). Aumento no conteúdo de MDA foi correlacionada com a redução de TRA e conteúdo de pigmento fotossintético sob déficit hídrico severo (Bahadur et al., 2011). Estudos mostraram que baixas concentrações de H₂O₂ e MDA têm sido associadas à tolerância ao estresse hídrico em plantas tomate (Aghaie et al., 2018; Egea et al., 2018; Sánchez-Rodríguez et al., 2010).

Plantas de tomate enxertadas no porta enxerto ‘Zarina’ apresentaram baixos valores de MDA sob déficit hídrico, o que indica sua maior capacidade de manter a homeostase celular, conferindo resistência ao déficit hídrico (Sánchez-Rodríguez et al., 2016). Baixos valores no conteúdo de MDA foram observados nesse trabalho para as plantas enxertadas sem *S. pennellii* e *S. peruvianum*. Dessa forma, o conteúdo de MDA observado no HM/PN e HM/PR comparado com as outras combinações de enxerto/porta-enxertos e pé-franco sob déficit hídrico confirma que esses dois porta-enxertos desempenha um papel importante na mitigação do dano oxidativo, mantendo o conteúdo de MDA em tecidos foliares.

Ajustamentos metabólicos são realizados em resposta a condições ambientais adversas (Silvente et al., 2012). Os metabólitos que desempenham importante função no metabolismo e na fisiologia das plantas sob estresse são glicina, betaína, trealose, taurina e aminoácidos, principalmente prolina (Bowne et al., 2012). Além da sua função como osmólito, a prolina contribui para eliminar espécies reativas de oxigênio, estabilizar estruturas subcelulares, modular a homeostase redox das células, também pode ser um componente importante das proteínas da parede celular (Kishor et al., 2005; Sharma et al., 2011; Verbruggen e Hermans, 2008).

Na maioria dos trabalhos o maior acúmulo de prolina sob condições de estresse tem sido considerado como um critério de seleção para identificar genótipos tolerantes

ao estresse (Mafakheri et al., 2010). No entanto, Sánchez-Rodríguez et al. (2010) observaram que o genótipo de tomate tolerante ao deficit hídrico apresentou menor valor de prolina comparado com os genótipos sensíveis.

Rampino et al. (2006) verificaram que as plantas de trigo tolerantes ao deficit hídrico mostraram alta correlação do teor relativo de água relacionado a baixa concentração de prolina. Esses resultados concordam com os observados em tomate, onde maior tolerância ao estresse hídrico não foi correlacionada com maior ajuste osmótico (Alian et al., 2000). Os enxertos HM/PN e HM/PR que apresentaram maiores valores de teor relativo de água foram os que apresentaram menores valores de prolina.

Dessa forma, a tolerância ao deficit hídrico nas plantas enxertadas nos porta-enxertos *S. pennellii* e *S. peruvianum* não ocorre em virtude do aumento no conteúdo de prolina. A tolerância ao deficit hídrico nem sempre se correlaciona com o potencial osmótico dos tecidos, ou seja, o ajuste osmótico utilizando a prolina não é a única estratégia usada para manter o turgor na planta (Sánchez-Rodríguez et al., 2010). Outros osmolitos podem contribuir para a manutenção do turgor celular nos tecidos. *S. pennellii* acumula solutos orgânicos como diamina putrescina se solutos orgânicos não forem suficientes para reduzir o potencial osmótico (Bolarín et al., 1995; Egea et al., 2018; Santa-Cruz et al., 1999).

De acordo com os resultados desse trabalho, os porta-enxertos tiveram efeito sobre os parâmetros fotossintéticos das plantas de tomates. A diferença desses parâmetros entre o pé-franco e as plantas enxertadas em quatro porta-enxertos, sugere que o sistema radicular é responsável por enviar um sinal para a parte aérea e provocar essas mudanças. Uma vez que o enxerto utilizado foi igual para os dois porta-enxertos. Resultados semelhantes em plantas de tomate enxertadas foram observados por Nilsen et al. (2014). Em experimento de enxertia utilizando tomates mutantes deficientes em ABA e espécies silvestres demonstrou que existe um sinal produzido pela raiz que é capaz de alterar a atividade fotossintética das plantas enxertadas (Holbrook et al., 2002).

Com base nesses resultados, provavelmente os porta-enxertos afetam a expressão de genes da parte aérea. Xu et al. (2018) observaram que a expressão de genes relacionados à fotossíntese em plantas enxertadas em *Mordordica* foram maiores que aquelas plantas enxertadas em pepino sob estresse térmico. As plantas de macieiras enxertadas no porta-enxerto M9T337 apresentaram expressão elevada de um número de genes relacionados à fotossíntese, enquanto que as plantas enxertadas no

porta-enxerto M7EMLA apresentaram expressão aumentada de alguns genes relacionados ao estresse (Jensen et al., 2003). Zhang et al. (2008) observaram a alteração no padrão de expressão gênica em plantas de berinjela enxertadas em tomate. Isso pode explicar em parte as alterações morfológicas e fisiológicas observadas.

Os porta-enxertos podem afetar a expressão gênica nos enxertos possivelmente de três formas, são elas: i) o porta-enxerto pode influenciar a expressão gênica dos enxertos pela translocação de hormônios e outras substâncias, ii) os componentes nutricionais oferecidos pelo porta-enxerto são diferentes dos existentes nos enxertos, os quais poderiam constituir uma forma de estresse para o enxerto, e iii) algumas espécies de RNA poderiam se mover a longa distância de um porta-enxerto para um enxerto através do floema (Zhang et al., 2008).

4. CONCLUSÃO

As combinações de enxerto/porta-enxertos afetam as respostas fisiológicas e bioquímicas das plantas sob déficit hídrico. As plantas enxertadas em *S. pennellii* e *S. peruvianum* tiveram maiores valores de Ψ_w , TRA, taxa de assimilação líquida de CO_2 , EUA_{ins} e EUA_{intr} em condição não irrigada. Diante disso, esses dois porta-enxertos contribuem para que o enxerto seja mais eficiente no uso da água, além de sofrerem menores danos oxidativos. Apesar de ser necessário mais estudos avaliando a produção, a qualidade dos frutos, os mecanismos de tolerância envolvidos, expressão gênica; os porta-enxertos *S. pennellii* e *S. peruvianum* podem ser utilizados para melhorar o desenvolvimento de plantas tolerantes ao déficit hídrico.

5. REFERÊNCIAS

- Aghaie, P., Tafreshi, S. A. H., Ebrahimi, M. A., and Haerinasab, M. (2018). Tolerance evaluation and clustering of fourteen tomato cultivars grown under mild and severe drought conditions. *Scientia Horticulturae* **232**, 1-12.
- Ahuja, I., de Vos, R. C. H., Bones, A. M., and Hall, R. D. (2010). Plant molecular stress responses face climate change. *Trends in Plant Science* **15**, 664-674.
- Alian, A., Altman, A., and Heuer, B. (2000). Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. *Plant Science* **152**, 59-65.
- Anjum, S. A., Xie, X.-y., Wang, L.-c., Saleem, M. F., Man, C., and Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research* **6**, 2026-2032.
- Anyia, A. O., and Herzog, H. (2004). Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European Journal of Agronomy* **20**, 327-339.
- Bahadur, A., Chatterjee, A., Kumar, R., Singh, M., and Naik, P. S. (2011). Physiological and biochemical basis of drought tolerance in vegetables. *Vegetable Science* **38**, 1-16.
- Bernier, J., Atlin, G. N., Serraj, R., Kumar, A., and Spaner, D. (2008). Breeding upland rice for drought resistance. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **88**, 927-939.
- Black, L. L., Wu, D. L., Wang, J. F., Kalb, T., Abbass, D., and Chen, J. H. (2003). Grafting tomatoes for production in the hot-wet season. *Asian Vegetable Research & Development Center* **551**, 1-6.
- Bloom, A. J., Zwieniecki, M. A., Passioura, J. B., Randall, L. B., Holbrook, N. M., and St. Clair, D. A. (2004). Water relations under root chilling in a sensitive and tolerant tomato species. *Plant, Cell & Environment* **27**, 971-979.
- Bogoslavsky, L., and Neumann, P. M. (1998). Rapid regulation by acid pH of cell wall adjustment and leaf growth in maize plants responding to reversal of water stress. *Plant Physiology* **118**, 701-709.
- Bolarín, M. C., Santa-Cruz, A., Cayuela, E., and Perez-Alfocea, F. (1995). Short-term solute changes in leaves and roots of cultivated and wild tomato seedlings under salinity. *Journal of Plant Physiology* **147**, 463-468.
- Boutraa, T., Akhkha, A., Al-Shoaibi, A. A., and Alhejeli, A. M. (2010). Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars

- (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia. *Journal of Taibah University for Science* **3**, 39-48.
- Bowne, J. B., Erwin, T. A., Juttner, J., Schnurbusch, T., Langridge, P., Bacic, A., and Roessner, U. (2012). Drought responses of leaf tissues from wheat cultivars of differing drought tolerance at the metabolite level. *Molecular Plant* **5**, 418-429.
- Boyer, J. S. (1976). Photosynthesis at low water potentials. *Biological Sciences* **273**, 501-512.
- Brodribb, T. J., and McAdam, S. A. M. (2017). Evolution of the stomatal regulation of plant water content. *Plant Physiology* **174**, 639-649.
- Cantero-Navarro, E., Romero-Aranda, R., Fernández-Muñoz, R., Martínez-Andújar, C., Pérez-Alfocea, F., and Albacete, A. (2016). Improving agronomic water use efficiency in tomato by rootstock-mediated hormonal regulation of leaf biomass. *Plant Science* **251**, 90-100.
- Celebi, M. (2014). The effect of water stress on tomato under different emitter discharges and semi-arid climate condition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **20**, 1151-1157.
- Chaves, M. M., and Oliveira, M. M. (2004). Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* **55**, 2365-2384.
- Chen, J., Kang, S., Du, T., Guo, P., Qiu, R., Chen, R., and Gu, F. (2014). Modeling relations of tomato yield and fruit quality with water deficit at different growth stages under greenhouse condition. *Agricultural Water Management* **146**, 131-148.
- Dias, M. C., and Brüggemann, W. (2010). Water-use efficiency in *Flaveria* species under drought-stress conditions. *Photosynthetica* **48**, 469-473.
- Easlon, H. M., and Richards, J. H. (2009). Drought response in self-compatible species of tomato (Solanaceae). *American Journal of Botany* **96**, 605-611.
- Egea, I., Albaladejo, I., Meco, V., Morales, B., Sevilla, A., Bolarin, M. C., and Flores, F. B. (2018). The drought-tolerant *Solanum pennellii* regulates leaf water loss and induces genes involved in amino acid and ethylene/jasmonate metabolism under dehydration. *Scientific Reports* **8**, 2791.
- Farooq, M., Wahid, A., and Lee, D.-J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status,

- photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum* **31**, 937-945.
- Flexas, J., Bota, J., Galmes, J., Medrano, H., and Ribas-Carbó, M. (2006). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum* **127**, 343-352.
- Foolad, M. R., Subbiah, P., Kramer, C., Hargrave, G., and Lin, G. Y. (2003). Genetic relationships among cold, salt and drought tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato. *Euphytica* **130**, 199-206.
- Garg, N., and Manchanda, G. (2009). ROS generation in plants: boon or bane? *Plant Biosystems* **143**, 81-96.
- Hassanzadeh, M., Ebadi, M., Panahyan-e-Kivi, A. G., Eshghi, S., Jamaati-e-Somarin, M., Saeidi, M., and Zabihi-e-Mahmoodabad, R. (2009). Evaluation of drought stress on relative water content and chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes at early flowering stage. *Research Journal of Environmental Sciences* **3**, 345-350.
- Haupt-Herting, S., and Fock, H. P. (2002). Oxygen exchange in relation to carbon assimilation in water-stressed leaves during photosynthesis. *Annals of Botany* **89**, 851-859.
- Heath, R. L., and Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **125**, 189-198.
- Holbrook, N. M., Shashidhar, V. R., James, R. A., and Munns, R. (2002). Stomatal control in tomato with ABA-deficient roots: response of grafted plants to soil drying. *Journal of Experimental Botany* **53**, 1503-1514.
- Jamaux, I., Steinmetz, A., and Belhassen, E. (1997). Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. *New Phytologist* **137**, 117-127.
- Jensen, P. J., Rytter, J., Detwiler, E. A., Travis, J. W., and McNellis, T. W. (2003). Rootstock effects on gene expression patterns in apple tree scions. *Plant Molecular Biology* **53**, 493-511.
- Jones, H. G. (1998). Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 387-398.

- Jongdee, B., Fukai, S., and Cooper, M. (2002). Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. *Field Crops Research* **76**, 153-163.
- Kishor, P. B. K., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. R. S. S., Rao, S., Reddy, K. J., Theriappan, P., and Sreenivasulu, N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science* **88**, 424-438.
- Koenig, D., Jiménez-Gómez, J. M., Kimura, S., Fulop, D., Chitwood, D. H., Headland, L. R., Kumar, R., Covington, M. F., Devisetty, U. K., Tat, A. V., Toghe, T., Bolger, A., Schneeberger, K., Ossowski, S., Lanz, C., Xiong, G., Taylor-Teeple, M., Brady, S. M., Pauly, M., Weigel, D., Usadel, B., Fernie, A. R., Peng, J., Sinha, N. R., and Maloof, J. N. (2013). Comparative transcriptomics reveals patterns of selection in domesticated and wild tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **110**, E2655-E2662.
- Kuromori, T., Seo, M., and Shinozaki, K. (2018). ABA transport and plant water stress responses. *Trends in Plant Science* **23**, 513-522.
- Kuşçu, H., Turhan, A., and Demir, A. O. (2014). The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management* **133**, 92-103.
- Li, Y., Li, H., Li, Y., and Zhang, S. (2017). Improving water-use efficiency by decreasing stomatal conductance and transpiration rate to maintain higher ear photosynthetic rate in drought-resistant wheat. *ScienceDirect* **5**, 231-239.
- Liu, C. J., Wang, H. R., Wang, L., Han, Y. Y., Hao, J. H., and Fan, S. X. (2018). Effects of different types of polyamine on growth, physiological and biochemical nature of lettuce under drought stress. In "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science", Vol. 185, pp. 1-11. IOP Publishing.
- Liu, F., Andersen, M. N., Jacobsen, S.-E., and Jensen, C. R. (2005). Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying. *Environmental and Experimental Botany* **54**, 33-40.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A. F., Bahramnejad, B., Struik, P. C., and Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science* **4**, 580-585.

- Mane, S. P., Vasquez-Robinet, C., Sioson, A. A., Heath, L. S., and Grene, R. (2007). Early PLD α -mediated events in response to progressive drought stress in *Arabidopsis*: a transcriptome analysis. *Journal of Experimental Botany* **58**, 241-252.
- Mishra, K. B., Iannacone, R., Petrozza, A., Mishra, A., Armentano, N., La Vecchia, G., Trtílek, M., Cellini, F., and Nedbal, L. (2012). Engineered drought tolerance in tomato plants is reflected in chlorophyll fluorescence emission. *Plant Science* **182**, 79-86.
- Moore, K., and Roberts, L. J. (1998). Measurement of lipid peroxidation. *Free Radical Research* **28**, 659-671.
- Morales, R. G. F., Resende, L. V., Bordini, I. C., Galvão, A. G., and Rezende, F. C. (2015). Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. *Scientia Agraria* **16**, 9-17.
- Mudge, K., Janick, J., Scofield, S., and Goldschmidt, E. E. (2009). A History of Grafting. *Horticultural Reviews* **35**, 437-493.
- Muthuri, C. W., Ong, C. K., Craigan, J., Mati, B. M., Ngumi, V. W., and Black, C. R. (2009). Gas exchange and water use efficiency of trees and maize in agroforestry systems in semi-arid Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **129**, 497-507.
- Nilsen, E. T., Freeman, J., Grene, R., and Tokuhisa, J. (2014). A rootstock provides water conservation for a grafted commercial tomato (*Solanum lycopersicum* L.) line in response to mild-drought conditions: a focus on vegetative growth and photosynthetic parameters. *PLoS One* **9**, e115380.
- Ozores-Hampton, M., and McAvoy, G. (2014). Tomato varieties for Florida-Florida “Red Rounds,” Plum, Cherries, Grapes, and Heirlooms. *Horticultural Sciences Department, UF/IFAS Extension*. **56**, 1-12.
- Palada, M. C., and Wu, D.-L. (2009). Grafting sweet peppers for production in the hot-wet season. *Asian Vegetable Research & Development Center* **772**, 1-8.
- Peralta, I. E., Spooner, D. M., and Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs* **84**, 1-186.
- Pervez, M. A., Ayub, C. M., Khan, H. A., Shahid, M. A., and Ashraf, I. (2009). Effect of drought stress on growth, yield and seed quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* **46**, 174-178.

- Petran, A., and Hoover, E. (2014). *Solanum torvum* as a compatible rootstock in interspecific tomato grafting. *Journal of Horticulture* **103**, 1-4.
- Poudyala, D., Khatria, L., and Uptmoora, R. (2015). An introgression of *Solanum habrochaites* in the rootstock improves stomatal regulation and leaf area development of grafted tomatoes under drought and low root-zone-temperatures. *Advances in Crop Science and Technology* **3**, 1-11.
- Rahman, S. M. L., Mackay, W. A., Nawata, E., Sakuratani, T., Uddin, A. S. M. M., and Quebedeaux, B. (2004). Superoxide dismutase and stress tolerance of four tomato cultivars. *HortScience* **39**, 983-986.
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., and Perrotta, C. (2006). Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell and Environment* **29**, 2143-2152.
- Reed, C. C., and Loik, M. E. (2016). Water relations and photosynthesis along an elevation gradient for *Artemisia tridentata* during an historic drought. *Oecologia* **181**, 65-76.
- Rick, C. M., and Tanksley, S. D. (1981). Genetic variation in *Solanum pennellii*: comparisons with two other sympatric tomato species. *Plant Systematics and Evolution* **139**, 11-45.
- Royer, D. L. (2001). Stomatal density and stomatal index as indicators of paleoatmospheric CO₂ concentration. *Review of Palaeobotany and Palynology* **114**, 1-28.
- Sakya, A. T., Sulistyaningsih, E., Indradewa, D., and Purwanto, B. H. (2018). Physiological characters and tomato yield under drought stress. In "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science", Vol. 200, pp. 012043. IOP Publishing.
- Sánchez-Rodríguez, E., Romero, L., and Ruiz, J. M. (2013). Role of grafting in resistance to water stress in tomato plants: ammonia production and assimilation. *Journal of plant growth regulation* **32**, 831-842.
- Sánchez-Rodríguez, E., Romero, L., and Ruiz, J. M. (2016). Accumulation of free polyamines enhances the antioxidant response in fruits of grafted tomato plants under water stress. *Journal of Plant Physiology* **190**, 72-78.
- Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., Romero, L., and Ruiz, J. M. (2010). Genotypic differences

- in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science* **178**, 30-40.
- Sanders, P. L., and Markhart, A. H. (1992). Interspecific grafts demonstrate root system control of leaf water status in water-stressed *Phaseolus*. *Journal of Experimental Botany* **43**, 1563-1567.
- Santa-Cruz, A., Acosta, M., Rus, A., and Bolarin, M. C. (1999). Short-term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species. *Plant Physiology and Biochemistry* **37**, 65-71.
- Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B. F., and Mornhinweg, D. W. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science* **28**, 526-531.
- Selote, D. S., and Khanna-Chopra, R. (2006). Drought acclimation confers oxidative stress tolerance by inducing co-ordinated antioxidant defense at cellular and subcellular level in leaves of wheat seedlings. *Physiologia Plantarum* **127**, 494-506.
- Shangguan, Z., Shao, M., and Dyckmans, J. (2000). Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Journal of Plant Physiology* **156**, 46-51.
- Sharma, S., Villamor, J. G., and Verslues, P. E. (2011). Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. *Plant physiology* **157**, 292-304.
- Shinohara, T., and Leskovar, D. I. (2014). Effects of ABA, antitranspirants, heat and drought stress on plant growth, physiology and water status of artichoke transplants. *Scientia Horticulturae* **165**, 225-234.
- Sikder, S., Qiao, Y., Baodi, D., Shi, C., and Liu, M. (2016). Effect of water stress on leaf level gas exchange capacity and water-use efficiency of wheat cultivars. *Indian Journal of Plant Physiology* **21**, 300-305.
- Silvente, S., Sobolev, A. P., and Lara, M. (2012). Metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive soybean genotypes in response to water stress. *PLoS One* **7**, e38554.
- Smirnoff, N. (1993). The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist* **125**, 27-58.
- Sperry, J. S., Hacke, U. G., Oren, R., and Comstock, J. P. (2002). Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant, Cell and environment* **25**, 251-263.

- Tanentzap, F. M., Stempel, A., and Ryser, P. (2015). Reliability of leaf relative water content (RWC) measurements after storage: consequences for in situ measurements. *Botany* **93**, 535-541.
- Upreti, K. K., Murti, G. S. R., and Bhatt, R. M. (2000). Response of pea cultivars to water stress: changes in morphophysiological characters, endogenous hormones and yield. *Vegetable Science* **27**, 57-61.
- Verbruggen, N., and Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids* **35**, 753-759.
- Weng, J.-H. (2000). The role of active and passive water uptake in maintaining leaf water status and photosynthesis in tomato under water deficit. *Plant Production Science* **3**, 296-298.
- Xu, Y., Yuan, Y., Du, N., Wang, Y., Shu, S., Sun, J., and Guo, S. (2018). Proteomic analysis of heat stress resistance of cucumber leaves when grafted onto *Momordica* rootstock. *Horticulture Research* **5**, 1-18.
- Yáñez, M., Cáceres, S., Orellana, S., Bastías, A., Verdugo, I., Ruiz-Lara, S., and Casaretto, J. A. (2009). An abiotic stress-responsive bZIP transcription factor from wild and cultivated tomatoes regulates stress-related genes. *Plant Cell Reports* **28**, 1497-1507.
- Zdravković, J., Jovanović, Z., Đorđević, M., Girek, Z., Zdravković, M., and Stikić, R. (2013). Application of stress susceptibility index for drought tolerance screening of tomato populations. *Genetika* **45**, 679-689.
- Zhang, J., Jiang, H., Song, X., Jin, J., and Zhang, X. (2018). The responses of plant leaf CO₂/H₂O exchange and water use efficiency to drought: A meta-analysis. *Sustainability* **10**, 1-13.
- Zhang, Z.-J., Wang, Y.-M., Long, L.-K., Lin, Y., Pang, J.-S., and Liu, B. (2008). Tomato rootstock effects on gene expression patterns in eggplant scions. *Russian journal of plant physiology* **55**, 93-100.
- Zhou, B.-l., Meng, Z.-h., Li, J., and Chen, Z.-x. (2012). Effects of grafting on the growth, physiology, and biochemistry of eggplants under water stress. *Chinese Journal of Ecology* **31**, 2804-2809.
- Zijlstra, S., and Nijs, A. P. M. (1987). Effects of root systems of tomato genotypes on growth and earliness, studied in grafting experiments at low temperature. *Euphytica* **36**, 693-700.

**CAPÍTULO II: SELEÇÃO DE GENÓTIPOS VISANDO A TOLERÂNCIA AO
DEFICIT HÍDRICO NO TOMATEIRO**

RESUMO

A identificação de acessos de tomateiro tolerantes ao déficit hídrico é de suma importância para serem usados em cruzamentos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar os índices de tolerância e selecionar genótipos com potencial para tolerância ao déficit hídrico. Foram utilizados 29 acessos de *Solanum* sp., do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV). Dentre esses acessos, o BGH-6904 e BGH-6906 (*Solanum peruvianum*) são tolerantes ao déficit hídrico. Além dos acessos, duas cultivares, ‘Santa Clara’ e ‘Gabryelle’ também foram usadas no experimento. A cultivar ‘Santa Clara’ foi utilizada como padrão de susceptibilidade a esse tipo de estresse. Os acessos e as cultivares (genótipos) foram avaliados durante a germinação e estágio reprodutivo sob déficit hídrico. O delineamento experimental utilizado durante a germinação foi inteiramente casualizado com quatro repetições e durante o estágio reprodutivo o delineamento foi em blocos casualizados, com e sem déficit hídrico, com três repetições. Foram testados dois índices de tolerância, um obtido por meio da diferença entre os caracteres do tratamento controle e do déficit hídrico, já o outro foi obtido por meio da razão entre os caracteres do tratamento déficit hídrico e controle. A seleção dos melhores genótipos foi feita pelo índice de seleção FAI-BLUP (*factor analysis and genotype-ideotype distance*). O agrupamento realizado com os dados obtidos por meio da razão entre os caracteres do tratamento déficit hídrico e controle alocou ‘Santa Clara’ (padrão de susceptibilidade) e BGH-6904 e BGH-6906 (padrões de tolerância) no mesmo grupo, ou seja, esses três genótipos são considerados similares. Portanto, para esse conjunto de dados a forma mais eficiente para selecionar genótipos durante a germinação e estágio reprodutivo sob déficit hídrico é usando os dados obtidos por meio da diferença entre os caracteres do tratamento controle e do déficit hídrico. Os genótipos selecionados pelo índice FAI-BLUP durante a germinação, não foram os mesmos selecionados durante o estágio reprodutivo. Os genótipos mais promissores visando a tolerância ao déficit hídrico durante a germinação foram BGH-2014, BGH-6904, BGH-3493, BGH-2020, BGH-2208, BGH-1988 e BGH-6906. Durante o estágio reprodutivo os genótipos tolerantes foram BGH-6912, BGH-3394, BGH-6924, BGH-3500, BGH-7299, BGH-2051 e BGH-2202.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, *S. peruvianum*, índice FAI-BLUP.

ABSTRACT

The identification of accessions of tomatoes tolerant to water deficit is importance for use in crosses. In this sense, the objective of this work was to evaluate the tolerance indices and select genotypes with potential for tolerance to water deficit. Twenty-nine accessions of *Solanum* sp. from the Vegetable Germplasm Bank of the Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) were used. Among these accesses, BGH-6904 and BGH-6906 (*Solanum peruvianum*) are tolerant to water deficit. In addition to the accessions, two cultivars, 'Santa Clara' and 'Gabryelle' were also used in the experiment. The 'Santa Clara' cultivar was used as a pattern of susceptibility to this type of stress. Accessions and cultivars (genotypes) were evaluated during germination and reproductive stage under water deficit. The experimental design used during germination was completely randomized with four repetition and during the reproductive stage the design was randomized blocks, with and without water deficit, with three repetition. Two tolerance indices were tested, one obtained by means of the difference between the traits of the control treatment and the water deficit, and the other was obtained by means of the ratio between the characters of the water deficit and control treatment. The selection of the best genotypes was done by the FAI-BLUP (factor analysis and genotype-ideotype distance) selection index. The grouping performed with the data obtained by means of the ratio between the water deficit and control treatment characters allocated 'Santa Clara' (susceptibility pattern) and BGH-6904 and BGH-6906 (tolerance patterns) in the same group, that is, these three genotypes are considered similar. Therefore, for this data set the most efficient way to select genotypes during germination and reproductive stage under water deficit is using the data obtained through the difference between the traits of the control treatment and the water deficit. The genotypes selected by the FAI-BLUP index during germination were not the same selected during the reproductive stage. The most promising genotypes for tolerance to water deficit during germination were BGH-2014, BGH-6904, BGH-3493, BGH-2020, BGH-2208, BGH-1988 and BGH-6906. During the reproductive stage the tolerant genotypes were BGH-6912, BGH-3394, BGH-6924, BGH-3500, BGH-7299, BGH-2051 and BGH-2202.

Key words: *Solanum lycopersicum*, *S. peruvianum*, FAI-BLUP index.

1. INTRODUÇÃO

Estresses abióticos afetam sistematicamente o crescimento e desenvolvimento vegetal (Pandey et al., 2017; Ashraf e Foolad, 2007; Mittler, 2006). Dentre eles, o deficit hídrico é um dos mais limitantes à produção agrícola, interferindo em todos estádios fenológicos das plantas (Lesk et al., 2016; Lipiec et al., 2013).

O deficit hídrico durante a germinação pode alterar a velocidade e a uniformidade, bem como impedir que a mesma aconteça (Verslues et al., 2006). Nos estádios posteriores à germinação, tal estresse conduz ao decréscimo da turgidez celular, fechamento estomático, diminuição do crescimento e desenvolvimento, além de alterações na respiração e fotossíntese das plantas (Fathi e Tari, 2016).

Em várias espécies, incluindo o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), têm sido verificadas perdas quantitativas e qualitativas associadas ao deficit hídrico (Zhou et al., 2017; George et al., 2013). Dentre essas perdas são observadas redução na produtividade e qualidade dos frutos, maior suscetibilidade das plantas ao ataque de patógenos, aumento nas perdas pós-colheita, bem como alteração no conteúdo nutricional dos frutos (Celebi, 2014; Chen et al., 2014; Kuşçu et al., 2014).

A ocorrência dessas perdas se deve ao fato das cultivares de tomateiro serem consideradas susceptíveis ao deficit hídrico, ou seja, quando ocorre a restrição do fornecimento de água, a planta não apresenta mecanismos para suportar esse estresse, sem reduzir significativamente a produção (Foolad et al., 2003). Diante disso, uma estratégia que pode contribuir significativamente para a mitigação dos efeitos do deficit hídrico na cultura do tomateiro é o melhoramento genético.

A primeira etapa de um programa de melhoramento é identificar os genótipos promissores. O banco de germoplasma é o local ideal para fazer essa identificação, pois reúne em um local variedades antigas (etnovarietades), variedades modernas (melhoradas) e variedades silvestres. Em função de reunirem ao mesmo tempo constituições genéticas de diferentes níveis, podem constituir-se em ótimas fontes de genes para os programas de melhoramento (Vieira et al., 2008).

O banco de germoplasma de hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) possui cerca de 850 acessos de tomateiro registrado. Dentre esses acessos existem algumas espécies silvestres que possuem tolerância ao deficit hídrico (<http://www.bgh.ufv.br/>), a citar, por exemplo, *Solanum peruvianum* (L.) Mill.. Essa espécie, tem como centro de diversidade a região central do Peru ao norte do Chile,

sendo encontrada em regiões áridas, arenosas ou rochosas, em alguns casos próximo a campos agrícolas (Peralta et al., 2008).

S. peruvianum apresenta alguns mecanismos de tolerância ao deficit hídrico, como a capacidade de aumentar a quantidade de prolina, o que auxilia a regulação osmótica na planta (Tapia et al., 2016). Dessa forma, *S. peruvianum* pode ser utilizada como padrão de tolerância ao deficit hídrico para a identificação de outros acessos de tomateiro dentro do banco de germoplasma.

Em um programa de melhoramento visando tolerância ao deficit hídrico, além de identificar os acessos e cultivares utilizados, é de grande importância escolher os critérios de seleção que serão aplicados para distinguir os genótipos desejáveis. Índices de tolerância ao deficit hídrico são calculados com base no desempenho, em termos de produtividade, massa seca e/ou outros caracteres quantitativos, dos genótipos em condições sem e com deficit hídrico (Brdar-Jokanović et al., 2014).

Segundo Rosielle e Hamblin (1981), o índice de tolerância pode ser definido como sendo a diferença entre a produtividade na condição normal e sob deficit hídrico. Bouslama e Schapaugh (1984) propuseram o índice de tolerância como a razão entre a produtividade na condição de deficit hídrico sobre condição sem restrição de água.

A simulação da condição de deficit hídrico pode ser realizada em ensaios conduzidos no campo e em laboratório. Em laboratório é possível simular esse tipo de estresse por meio de teste de germinação utilizando polietileno glicol. As moléculas de polietilenoglicol são inertes, não-iônicas, impermeáveis às membranas celulares e podem induzir deficit hídrico de forma uniforme sem causar dano fisiológico direto (Kulkarni e Deshpande, 2007; Lu e Neumann, 1998).

A seleção indireta dos genótipos tolerantes ao deficit hídrico durante o estágio de germinação seria ideal, uma vez que, é um teste de fácil execução, necessita de pouco espaço, pouco tempo, e poucos recursos, quando comparado a ensaios de campo, tornando o custo de avaliação de linhagens bem mais barato, e com resultados disponíveis em um curto espaço de tempo (Dantas et al., 2017). Entretanto, não existem trabalhos relacionando o comportamento dos genótipos de tomateiro durante a germinação com o seu comportamento em campo e, subsequente com a produtividade.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar os índices de tolerância e selecionar genótipos tolerantes ao deficit hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Recursos fitogenéticos

Foram utilizados 29 acessos de *Solanum* sp., do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) (www.bgh.ufv.br). Dentre esses acessos, o BGH 6904 e BGH 6906 (*S. peruvianum*) são tolerantes ao déficit hídrico (Pandey et al., 2011; Tapia et al., 2010). Além dos acessos, duas cultivares, ‘Santa Clara’ e ‘Gabryelle’, foram usadas para a realização dos ensaios sob imposição de déficit hídrico durante a germinação em laboratório, estádio reprodutivo no campo (Tabela 1). A cultivar ‘Santa Clara’ foi utilizada como padrão de susceptibilidade.

Tabela 1. Identificação dos acessos (*Solanum* sp.), espécie, procedência, ano de coleta e tamanho do fruto de 29 acessos de tomateiro do BGH-UFV avaliados quanto a tolerância ao déficit hídrico.

Acessos	Espécie	Procedência	Ano	Tamanho do fruto
BGH-24	<i>S. lycopersicum</i>	Teófilo Otoni ¹	1966	Pequeno
BGH-242	<i>S. lycopersicum</i>	Petrolina, Pernambuco ¹	1966	Intermediário
BGH-1988	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue ²	1966	Intermediário
BGH-2004	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Intermediário
BGH-2014	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Intermediário
BGH-2020	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Intermediário
BGH-2046	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Intermediário
BGH-2051	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Intermediário
BGH-2198	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Grande
BGH-2202	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Intermediário
BGH-2208	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Intermediário
BGH-2330	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1966	Intermediário
BGH-2500	<i>S. lycopersicum</i>	Copenhague ³	1967	Intermediário
BGH-3386	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade da Califórnia ²	1970	Intermediário
BGH-3388	<i>S. lycopersicum</i>	Uttar Pradesh ⁴	1971	Grande
BGH-3394	<i>S. lycopersicum</i>	Uttar Pradesh	1971	Pequeno
BGH-3479	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade da Califórnia	1974	Intermediário
BGH-3493	<i>S. lycopersicum</i>	Parma ⁵	1974	Intermediário
BGH-3500	<i>S. lycopersicum</i>	Parma	1974	Intermediário
BGH-4125	<i>S. lycopersicum</i>	Amarelo, Espírito Santo ¹	1967	Intermediário
BGH-6899	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade de Purdue	1967	Muito pequeno
BGH-6904	<i>S. peruvianum</i>	CNPH ¹	1955	Muito pequeno
BGH-6906	<i>S. peruvianum</i>	CNPH	1995	Muito pequeno
BGH-6909	<i>S. pimpinellifolium</i>	CNPH	1995	Pequeno
BGH-6912	<i>S. pimpinellifolium</i>	CNPH	1995	Pequeno
BGH-6919	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade da Califórnia	1997	Pequeno
BGH-6924	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade da Califórnia	1997	Pequeno
BGH-6828	<i>S. lycopersicum</i>	Universidade da Califórnia	1997	Pequeno
BGH-7299	<i>S. lycopersicum</i>	West Virginia ¹	2003	Intermediário

¹Brasil; ²Estados Unidos; ³Dinamarca; ⁴Índia; ⁵Itália; CNPH: Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças.

2.2. Local do experimento e Delineamento experimental

A multiplicação de sementes e o experimento realizado no campo foram conduzidos na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão – Horta Velha (UEPE/Horta Velha), pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa, Minas Gerais (20° 45' S, 42° 51' W; altitude 651 m). Já o experimento realizado durante a germinação foi conduzido no Laboratório de Sementes da UFV, Viçosa, Minas Gerais (20° 45' S, 42° 52' W; altitude 648,74 m).

O delineamento experimental utilizado durante a germinação foi inteiramente casualizado com quatro repetições e 25 sementes de cada genótipo por parcela. Durante o estágio reprodutivo o delineamento foi em blocos casualizados, com duas lâminas de irrigação 50 (com deficit hídrico) e 100% (sem deficit hídrico) da ETc, e três repetições.

2.3. Multiplicação de sementes

A multiplicação de sementes foi necessária, pois não havia sementes suficientes para realizar os experimentos. Além disso, as sementes disponibilizadas pelo BGH-UFV não apresentam o mesmo vigor para todos os acessos, por terem sido obtidas em épocas e conduzidas de forma diferente.

A multiplicação de sementes ocorreu no período entre janeiro e junho de 2016, em casa de vegetação. As sementes dos 29 acessos de tomateiro foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido de 128 células, preenchidas com substrato comercial Topstrato®. As plantas com 3 pares de folhas totalmente expandidas foram transplantadas para vasos de 8 dm³ contendo mistura de solo, areia e esterco na proporção de 3:1:1.

A adubação e os tratos culturais foram realizados de acordo com a recomendação e necessidade da cultura (Alvarenga, 2004). Utilizou-se o sistema de tutoramento por fitilho vertical e a irrigação por gotejamento.

Os frutos maduros de cada acesso de tomateiro foram colhidos e as sementes foram extraídas. Essas sementes foram colocadas para fermentar naturalmente por 48 horas, para a retirada da mucilagem. Posteriormente, as sementes foram lavadas e colocadas para secar à sombra. Em seguida, foram armazenadas em câmara fria com temperatura de 5 °C e 35 % de umidade e acondicionadas em sacos de polietileno reforçados, contendo sílica-gel.

2.4. Tolerância ao deficit hídrico durante a germinação das sementes de tomateiro

A avaliação do deficit hídrico durante a germinação em laboratório foi entre os meses de dezembro de 2016 a março de 2017. Os genótipos (29 acessos e duas cultivares) foram submetidos a duas condições de disponibilidade hídrica. A condição que não houve indução ao deficit hídrico, denominada condição controle, utilizou-se água destilada. A outra condição foi denominada de deficit hídrico, pois consistiu na indução desse.

O potencial osmótico utilizado para simular o deficit hídrico durante a germinação de sementes de tomateiro foi de $-0,3$ MPa (Borba et al., 2017; Jangid e Dwivedi, 2016). Esse potencial foi obtido pela diluição de 151,402 g de polietileno glicol 6000 (PEG-6000) em 1,0 L água destilada, com base na equação sugerida por Villela et al. (1991) em temperatura de 25 °C.

Foram alocadas duas folhas de papel Germitest® em caixa plástica transparente, de 11 x 11 x 3 cm, com tampa. As folhas foram umedecidas com a água destilada (controle) e com a solução de PEG-6000 (indução ao deficit hídrico) em um volume equivalente a 2,5 vezes o peso seco das folhas.

As sementes dos acessos de tomateiro foram esterilizadas com solução de 3 % (v/v) de hipoclorito de sódio (NaOCl) por 10 minutos e depois foram lavadas de 3 a 5 vezes com água destilada (Shamim et al., 2014). Em seguida, as sementes foram distribuídas sobre as folhas dentro das caixas. Estas foram embaladas em sacos plásticos, para evitar a perda de umidade, e acondicionadas em câmara de germinação do tipo Biochemical Oxygen Demand (BOD) a 25 °C com fotoperíodo de 12 horas. A cada 5 dias as folhas foram umedecidas com água destilada e a solução de PEG-6000.

Aos 14 dias após a semeadura foram avaliados os seguintes caracteres: germinação, comprimento de hipocótilo e radícula e massa seca de plântula. O índice de velocidade de germinação foi avaliado todos os dias até o 14º dia. Após a avaliação de todos os caracteres, todas as plantas foram descartadas.

O teste de germinação foi realizado segundo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes, computando-se a percentagem de plântulas normais (Brasil, 2009). As plântulas foram consideradas normais quando apresentaram radícula primária e hipocótilo e com comprimento total superior a 1,5 centímetro (cm).

O comprimento do hipocótilo e da raiz primária foi mensurado em cada plântula normal com o auxílio de uma régua graduada em centímetros. Em seguida, as

plântulas normais foram colocadas em papel Kraft e levadas para estufa de circulação de ar forçado a 70 °C. Após 72 horas, o material foi pesado em balança analítica. O comprimento foi expresso em cm plântula⁻¹ e a massa seca em mg plântula⁻¹.

O índice de velocidade de germinação foi conduzido junto com o teste de germinação, sendo considerados os dados obtidos nas contagens diárias. O índice de velocidade de germinação foi calculado por meio da seguinte fórmula (Maguire, 1962):

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_{14}}{N_{14}}$$

Em que:

IVG – Índice de velocidade de germinação;

G1, G2, ..., G14 – Número de plântulas normais contabilizadas na primeira, segunda até a décima quarta contagem;

N1, N2, ..., N14 – Número de dias decorridos da semeadura até a primeira, segunda, ..., até a décima quarta contagem.

2.5. Tolerância ao deficit hídrico durante o estágio reprodutivo do tomateiro

Esse experimento e o realizado durante a germinação são independentes, ou seja, não utilizou as plântulas oriundas do experimento de germinação. O experimento realizado durante o estágio reprodutivo das plantas de tomate foi durante os meses de março a setembro de 2017.

As sementes dos genótipos selecionados foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido de 128 células, preenchidas com substrato comercial Tropstrato®. Após 39 dias as plantas foram transplantadas para o campo, quando possuíam entre dois e três pares de folhas definitivas totalmente expandidas. O espaçamento utilizado foi 1,0 x 0,6 m. A adubação e os tratamentos culturais foram realizados de acordo com a recomendação e necessidade da cultura (Alvarenga, 2004). Utilizou-se o sistema de tutoramento vertical por meio de fitilho e o sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento.

A demanda hídrica foi calculada pela estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) e o turno de rega foi de três dias. A demanda hídrica do tomateiro foi determinada com os coeficientes de ajuste em relação à evapotranspiração de referência (ET₀). A lâmina líquida de irrigação foi calculada pelo balanço hídrico, considerando a entrada de água por irrigação e sua saída.

A evapotranspiração foi estimada com as equações $ET_c = ET_0 \times K_c$, $K_c = (K_{cb} \times K_s) + K_e$ (Allen et al., 1998; Allen e Pereira, 2009), onde: ET_c = evapotranspiração da cultura (mm d^{-1}), ET_0 = evapotranspiração de referência (mm d^{-1}), K_c = coeficiente da cultura, K_{cb} = coeficiente basal da cultura, K_e = coeficiente da evaporação do solo e K_s = coeficiente de estresse. A ET_c foi determinada com os valores de K_{cb} inicial, intermediário e final, 0,15; 1,15 e 0,70; respectivamente. A frequência de irrigação e a quantidade total de água (irrigação + precipitação) variou por tratamento.

Cada parcela foi composta por cinco plantas, sendo que destas, duas foram utilizadas para a avaliação dos caracteres morfoagronômicos, e três conduzidas até o final do ciclo para avaliação da produção de frutos.

Aos 100 dias após o transplante os seguintes caracteres morfoagronômicos foram avaliados: altura da planta, número de folhas (totalmente expandidas), diâmetro de caule, número de cachos, número de fruto por cacho, área foliar, massa fresca e seca das plantas.

A altura foi mensurada com trena metálica, tomando-se como referência o meristema apical e a região do colo da planta, sendo o resultado expresso em centímetros. Em seguida, as folhas foram cortadas, determinando-se o número de folhas por plantas. O diâmetro do caule foi determinado dois centímetros acima da região de inserção do caule no solo, com o auxílio de um paquímetro digital.

As plantas foram cortadas e pesadas para a determinação da massa fresca e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de 65 °C, até massa constante, para a determinação da massa seca, ambas as massas foram em g planta^{-1} .

As três plantas remanescentes foram conduzidas até o final do ciclo produtivo. Os frutos foram colhidos a cada três dias, desde o início do ciclo produtivo (67 dias após transplante), finalizando a colheita aos 150 dias, determinando-se a produção de frutos em gramas.

2.6. Índice de tolerância ao deficit hídrico

O índice de tolerância ao deficit hídrico foi utilizado para avaliar o desempenho dos genótipos nas duas condições avaliadas, tanto no experimento de germinação, quanto no experimento do estágio reprodutivo. Dois índices de tolerância foram estimados.

O índice proposto por Rosielle e Hamblin (1981) é obtido por meio da diferença entre os caracteres do tratamento controle e do deficit hídrico, já o índice proposto por Bouslama e Schapaugh (1984) é obtido por meio da razão entre os caracteres do tratamento deficit hídrico e controle.

O índice proposto por Rosielle e Hamblin (1981) será denominado nesse trabalho de diferença e o proposto por Bouslama e Schapaugh (1984) será chamado de razão.

2.7. Análises estatísticas

Os dados dos índices de tolerância, dos dois experimentos, foram submetidos à análise estatística via REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita residual/melhor predição linear não viciada), para estimar os valores genéticos, a fim de quantificar a variabilidade genética dos genótipos. O método de REML/BLUP é uma metodologia de modelos mistos e testa a significância dos efeitos aleatórios de um modelo utilizando a análise de *deviance* e teste da razão de verossimilhança (LRT) (Resende, 2016).

Dessa forma, a análise de *deviance* emprega a estatística Qui-quadrado (χ^2) para determinar a significância do LRT. O REML / BLUP é o procedimento padrão para a estimação de parâmetros genéticos e seleção em várias espécies, sendo essencial em um programa de melhoramento (Resende, 2016). O REML / BLUP é um procedimento ideal para experimentos como esse que possui dados desbalanceados, pois leva a estimativas e predições mais precisas de parâmetros e valores genéticos, respectivamente (Resende, 2016).

A quantificação da diversidade genética entre os 29 acessos do BGH-UFV e as duas cultivares foi realizada pelo método de agrupamento de Tocher com base na matriz de dissimilaridade genética. Essa matriz foi obtida pela distância euclidiana média padronizada a partir das médias BLUP.

Realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade nas matrizes de correlação genotípica (Montgomery e Peck, 1992). Em seguida, foram estimados os coeficientes de correlação canônica entre os caracteres, sendo que o primeiro grupo foi formado pelos caracteres avaliados durante a germinação e o segundo formado pelos caracteres avaliados no campo. Nessa análise utilizou-se apenas os caracteres com variabilidade significativa entre os genótipos e que não contribuíam para multicolinearidade.

A seleção dos melhores genótipos foi feita com base no índice de seleção FAI-BLUP (*factor analysis and genotype-ideotype distance*). Nesse índice de seleção o ideótipo é designado com base nos fatores desejáveis e indesejáveis para o programa de melhoramento. O ideótipo tolerante ao deficit hídrico apresenta combinação desejável para todos os fatores formados. O ideótipo tolerante obtido pelos dados de diferença foi o que apresentou valores genéticos mínimos para todos os caracteres e para a razão foi o que apresentou os valores máximos.

O número de ideótipos é de acordo com o seguinte algoritmo:

$$NI = 2^n$$

No qual,

NI = número de ideótipos;

n = número de fatores.

Após a determinação do ideótipo, as distâncias entre os genótipos e o ideótipo foram calculadas e transformadas em uma probabilidade espacial, que possibilitou o ranqueamento dos genótipos. Para o cálculo dessa probabilidade utilizou-se a seguinte expressão:

$$P_{ij} = \frac{\frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{i=1; j=1}^{i=n; j=m} \frac{1}{d_{ij}}}$$

Onde, P_{ij} = Probabilidade do i -ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, n$) ser similar ao j -ésimo ideótipo ($j = 1, 2, \dots, m$); d_{ij} = Distância genótipo-ideótipo entre o i -ésimo genótipo e o j -ésimo ideótipo – baseada na distância euclidiana média padronizada.

Para a análise de *deviance*, estimativas das médias BLUP e obtenção da matriz de dissimilaridade genética utilizou-se o software Selegen-REML/BLUP (Resende, 2007). O agrupamento de Tocher e correlação canônica foram realizadas com o auxílio do programa computacional GENES (Cruz, 2013). O software R foi utilizado para o diagnóstico de multicolinearidade e índice FAI-BLUP.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de *deviance*

O efeito de genótipos foi significativo ($P < 0,01$) pelo teste de Qui-quadrado (χ^2) para todos os caracteres avaliados durante a germinação e estágio reprodutivo (Tabela 2). Esses resultados mostram a existência de variabilidade genética entre os 31 genótipos avaliados.

1 **Tabela 2.** Análise de *deviance* para os caracteres avaliados em 31 genótipos de tomateiro durante a germinação, estágio reprodutivo; dados obtidos
 2 pela diferença e razão.

Caracteres	Diferença			Razão		
	Efeitos		LRT(χ^2)	Efeitos		LRT(χ^2)
	Genótipos ⁺	Modelo Completo ⁺⁺		Genótipos ⁺	Modelo Completo ⁺⁺	
Germinação	G 824,77	663,07	161,70**	-318,74	-505,64	186,90**
	CH -79,60	-98,57	18,97**	-250,53	-266,8	16,27**
	CR 122,71	90,12	32,59**	-18,79	-73,94	55,15**
	MS 708,47	607,16	101,31**	-119,32	-197,28	77,98**
	IVG 422,73	242,26	180,47**	-440,84	-538,90	98,06**
Estádio reprodutivo	A 664,72	598,85	65,87**	-172,84	-237,38	64,54**
	NF 316,04	268,12	47,92**	-201,21	-225,08	23,87**
	D -165,55	-186,76	21,21**	-171,88	-200,64	28,76**
	NFr 573,48	456,42	117,06**	-132,01	-195,62	63,61**
	MFP 995,06	899,97	95,09**	-166,11	-253,81	87,70**
	MSP 604,95	519,55	85,40**	-139,45	-229,19	89,74**
	P 1254,66	1224,83	29,83**	-146,45	-182,64	36,19**

3 G = germinação (%), CH = comprimento do hipocótilo (cm), CR = comprimento da radícula (cm), MS = massa seca (mg), IVG = índice de velocidade de germinação, A = altura (cm), NF =
 4 número de folhas (unidades), D = diâmetro (cm), NFr = número de frutos (unidade), MFP = massa fresca da planta (g), MSP = massa seca da planta (g) e P = produção (g).
 5 LRT - teste da razão de verossimilhança; + *Deviance* do modelo ajustado sem os referidos efeitos; ++ *Deviance* do modelo completo ajustado; ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste de
 6 Qui-quadrado (χ^2). χ^2 tabelado: 6,63 para o nível de significância de 1 %.

1 **3.2. Diversidade genética**

2 A partir dos dados obtidos pela diferença e considerando a variabilidade dos
3 caracteres avaliados nos 31 genótipos durante a germinação houve a formação de sete
4 grupos pelo método de otimização de Tocher (Tabela 3).

5

1 **Tabela 3.** Agrupamento de 31 genótipos de tomateiro, pelo método de otimização de Tocher, obtido a partir das médias BLUP dos caracteres
 2 avaliados durante germinação e estádio reprodutivo.

	Diferença		Razão	
	Grupos	Número de genótipos	Grupos	Número de genótipos
Germinação	I	20	I	18
	II	3	II	4
	III	3	III	2
	IV	2	IV	2
	V	1	V	2
	VI	1	VI	2
	VII	1	VII	1
Estádio reprodutivo	I	26	I	30
	II	1	II	1
	III	1		
	IV	3		

Os 20 genótipos do grupo I apresentaram menor variação para a germinação (48,52 %). Os genótipos alocados no grupo II tiveram menor variação para o índice de velocidade de germinação (3,14). O grupo III foi formado por genótipos com a maior variação para o comprimento da radícula (-1,25 cm). Os genótipos do grupo IV apresentaram maior variação para o índice de velocidade de germinação (16,45). O grupo V foi formado pelo genótipo com maior variação para germinação (87,89 %) e menor para comprimento de hipocótilo (0,37 cm). A maior variação para comprimento de hipocótilo (1,14 cm) e massa seca (34,17 mg) foi observada no genótipo alocado no grupo VI. O genótipo alocado no grupo VII apresentou a menor variação para massa seca (0,73 mg).

O grupo I, obtido pelos dados de diferença, alocou o BGH-6904 e BGH-6906 que são os genótipos utilizados como padrão de tolerância ao deficit hídrico e a cultivar ‘Gabryelle’, tem apresentado tolerância ao deficit hídrico. O genótipo utilizado como padrão de susceptibilidade (‘Santa Clara’) está presente no grupo II com mais dois genótipos.

Os dados obtidos pela razão durante a germinação também apresentaram sete grupos, porém alocaram os genótipos de forma diferente. Os genótipos do grupo I apresentaram a segunda maior variação para comprimento de radícula (1,17 cm). O grupo II alocou os genótipos com maior variação para germinação (0,65 %). O grupo III foi formado por genótipos com a maior variação para o comprimento da radícula (2,44 cm). Os genótipos do grupo IV apresentaram menor variação para comprimento de hipocótilo (0,45 cm). O grupo V foi formado pelos genótipos com maior variação para índice de velocidade de germinação (0,32) e menor para massa seca (0,07 mg). A menor variação para comprimento de radícula (0,94 cm) e maior para massa seca (1,20 mg) foi observada nos genótipos alocados no grupo VI. O genótipo alocado no grupo VII apresentou a menor variação para germinação (0,11 %) e para índice de velocidade de germinação (0,07); e maior variação para comprimento de hipocótilo (0,78 cm).

Dentre os genótipos do grupo I, obtido pelos dados de razão, está a cultivar ‘Gabryelle’. No grupo II foram alocados quatro genótipos, dentre eles os utilizados como padrão de tolerância, BGH-6904, BGH-6906, e ‘Santa Clara’, padrão de susceptibilidade.

Ao considerar a variabilidade dos caracteres avaliados nos 31 genótipos durante o estágio reprodutivo, foi possível formar quatro grupos para os dados de diferença. Os genótipos grupo I apresentaram maior variação para a produção (538,41

g), menor para altura (13,73 cm) e massa seca de plantas (12,88 g). O grupo II alocou o genótipo com maior variação para altura (47,34 cm), diâmetro (0,44 cm), número de frutos (48,71) e massa fresca de planta (435,83 g); e menor variação para o número de folhas (0,82) genótipo do grupo III teve maior variação para número de folhas (6,54) e menor variação para número de frutos (3,03) e massa fresca de planta (40,45 g). O grupo IV foi formado por genótipos com menor variação para diâmetro (0,14 cm) e produção (306,23 g).

As cultivares ‘Santa Clara’ (padrão de susceptibilidade) e ‘Gabryelle’ ficaram no grupo I pelos dados de diferença durante o estágio reprodutivo. Os genótipos BGH-6904 e BGH-6906 (padrões de tolerância) alocaram no grupo IV juntamente com o BGH-6909. O agrupamento utilizando os dados de razão durante o estágio reprodutivo formaram dois grupos. O grupo I alocou 30 genótipos, dentre eles os genótipos BGH-6904, BGH-6906, ‘Santa Clara’ e ‘Gabryelle’.

A diferença e a razão dos dados são empregadas para avaliar o desempenho dos genótipos nas duas condições juntas, mas não de forma isolada (Brdar-Jokanović et al., 2014). Esse tipo de comparação é importante, pois informa a variação dos genótipos entre as condições de deficit hídrico e sem deficit hídrico. Por exemplo, aqueles genótipos que apresentarem menor variação pelos dados de diferença e maior variação pelos dados de razão para variável produção eles são promissores para serem utilizados em cruzamentos. Ou seja, se ocorrer restrição de água durante o estágio fenológico da cultura por um determinado período, a produção desses genótipos selecionados pelos dados de diferença e razão será menos afetada.

De acordo com os resultados deste trabalho, constata-se que a melhor forma de comparação dos dados para este experimento é pela diferença. Uma vez que, o agrupamento realizado com os dados de razão alocou ‘Santa Clara’ (padrão de susceptibilidade ao deficit hídrico) e BGH-6904 e BGH-6906 (padrões de tolerância) no mesmo grupo, ou seja, esses três genótipos são considerados similares. O princípio básico do agrupamento pelo método Tocher é a distância média dentro dos grupos ser sempre menor que a distância média entre os grupos, ou seja, os genótipos do mesmo grupo são similares (Cruz e Carneiro, 2006).

Diante disso, a partir dos dados de diferença, aqueles genótipos que ficaram no mesmo grupo com BGH-6904 e BGH-6906 são similares e são promissores a serem utilizados em cruzamentos, visando a tolerância ao deficit hídrico. Brdar-Jokanović et al. (2014) avaliaram diferentes formas de comparação de dados, dentre elas a diferença

e a razão, para o tomateiro sob condição de deficit hídrico e com disponibilidade de água e também verificaram que a melhor forma de comparação para os seus dados foi pela diferença. Rosielle e Hamblin (1981) também constataram que o índice de tolerância ao estresse baseado na diferença entre o comportamento na condição sem estresse e na condição com estresse foi o mais adequado para os seus dados.

3.3. Correlações canônicas

A multicolinearidade foi classificada como fraca em ambos os casos, o número de condição apresentou valores menores que 100. Isso indica que todos os caracteres podem ser usados para a realização da correlação canônica (Cruz e Carneiro, 2006).

A correlação canônica realizada entre os caracteres avaliados durante germinação, estágio reprodutivo foi não significativa. Além de não ser significativa, o coeficiente de correlação entre os pares canônicos mostrou-se baixo (Tabela 4).

Tabela 4. Correlações canônicas e cargas nos pares canônicos (U_i , V_i) estimados entre os caracteres avaliados durante germinação e estágio reprodutivo obtidas pelos dados de diferença para 31 genótipos.

Cargas canônicas para os caracteres da germinação					
Caracteres	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
G	0,112	0,516	0,678	0,599	-0,508
CH	-0,417	0,396	-0,513	0,372	-0,518
CR	0,561	0,584	0,584	0,379	0,442
MS	-0,464	0,520	0,520	-0,644	0,144
IVG	0,774	0,287	0,287	-0,429	-0,322
Cargas canônicas para os caracteres do estágio reprodutivo					
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
Al	-0,224	-0,610	-0,388	0,521	-0,053
NF	-0,778	0,078	-0,016	-0,032	0,365
Dia	-0,018	-0,393	0,025	0,508	-0,486
NFr	-0,723	0,219	0,005	0,073	-0,301
MFP	-0,403	-0,489	0,109	-0,117	0,049
MSP	-0,251	-0,043	0,632	0,153	0,433
Pr	-0,352	0,122	-0,459	0,047	0,354
R	0,646	0,592	0,542	0,383	0,347
p-value (%)	33,563	65,352	69,016	76,248	56,686

G = germinação (%), CH = comprimento do hipocótilo (cm), CR = comprimento da radícula (cm), MS = massa seca (mg), IVG = índice de velocidade de germinação, A = altura (cm), NFr = número de folhas (unidades), D = diâmetro (cm), NFr = número de frutos (unidades), MFP = massa fresca da planta (g), MSP = massa seca da planta (g) e P = produção (g). R = Coeficiente de correlação entre os pares canônicos.

Esses resultados evidenciam que não é possível correlacionar os caracteres avaliados durante a germinação e os caracteres avaliados durante o estágio reprodutivo da planta. Dessa forma, não é possível fazer a seleção indireta de genótipos sob condições de deficit hídrico durante a germinação. Rodo e Marcos-Filho (2003) avaliaram a correlação entre a germinação e a produtividade de variedades de cebola e não observaram a correlação. Eles alegaram que a qualidade fisiológica das sementes sobre o desempenho das plantas podem ser evidentes no início do desenvolvimento, mas são reduzidos à medida que os estádios fenológicos se sucedem (Rodo e Marcos-Filho, 2003).

3.4. Seleção por meio de índice FAI-BLUP

O ranking dos 31 genótipos de acordo com o índice FAI-BLUP e a probabilidade de distância entre os genótipos e o ideótipo (Pro) para os caracteres avaliados durante a germinação e estágio reprodutivo estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5. Ranking dos 31 genótipos de acordo com o índice FAI-BLUP e probabilidade de distância entre os genótipos e o ideótipo tolerante ao déficit hídrico (Pro) para os caracteres avaliados durante a germinação, estágio reprodutivo obtidas pela diferença.

Ordem	Germinação		Estádio reprodutivo	
	Genótipos	Pro	Genótipos	Pro
1°	BGH-2014	0,210	BGH-6912	0,193
2°	BGH-6904	0,203	BGH-3394	0,113
3°	BGH-3493	0,199	BGH-6924	0,101
4°	BGH-2020	0,193	BGH-3500	0,100
5°	BGH-2208	0,188	BGH-7299	0,096
6°	BGH-1988	0,176	BGH-2051	0,094
7°	BGH-6906	0,175	BGH-2202	0,092
8°	BGH-2004	0,165	BGH-6899	0,087
9°	BGH-3394	0,158	BGH-242	0,086
10°	BGH-6919	0,146	BGH-3388	0,080
11°	BGH-6912	0,143	‘Gabryelle’	0,079
12°	‘Gabryelle’	0,139	BGH-2020	0,078
13°	BGH-2330	0,139	BGH-6919	0,077
14°	BGH-4125	0,137	BGH-2046	0,077
15°	BGH-6909	0,134	BGH-2004	0,073
16°	BGH-2500	0,133	BGH-2208	0,073
17°	‘Santa Clara’	0,127	BGH-4125	0,073
18°	BGH-3386	0,125	BGH-2500	0,069
19°	BGH-2202	0,122	BGH-2198	0,068
20°	BGH-6928	0,115	BGH-1988	0,068
21°	BGH-3479	0,114	BGH-3386	0,065
22°	BGH-7299	0,110	BGH-6928	0,063
23°	BGH-6924	0,110	BGH-2014	0,062
24°	BGH-242	0,107	BGH-3493	0,061
25°	BGH-2051	0,105	BGH-24	0,060
26°	BGH-2198	0,098	BGH-6909	0,058
27°	BGH-3388	0,098	BGH-3479	0,057
28°	BGH-3500	0,095	BGH-6906	0,055
29°	BGH-2046	0,095	BGH-6904	0,055
30°	BGH-6899	0,090	BGH-2330	0,047
31°	BGH-24	0,080	‘Santa Clara’	0,043

O ideótipo tolerante apresenta características desejáveis para todas os caracteres. Os genótipos BGH-2014, BGH-6904, BGH-3493, BGH-2020, BGH-2208, BGH-1988 e BGH-6906 foram ranqueados como os sete genótipos mais próximos ao ideótipo tolerante ao déficit hídrico durante a germinação. ‘Gabryelle’ e ‘Santa Clara’ ficaram em 12° e 17° genótipo mais próximo do ideótipo tolerante, respectivamente.

Os setes genótipos que ficaram mais próximos do ideótipo tolerante durante o estágio reprodutivo foram BGH-6912, BGH-3394, BGH-6924, BGH-3500, BGH-7299, BGH-2051 e BGH-2202. Os genótipos ‘Gabryelle’, BGH-6906, BGH-6904 e a

cultivar 'Santa Clara' ficaram no 11º, 28º, 29º e 31º lugar no ranking, respectivamente. Os genótipos selecionados pelo índice FAI-BLUP durante a germinação não foram os mesmos selecionados durante a fase vegetativa e reprodutiva, confirmando o resultado apresentado pela correlação canônica.

A seleção simultânea de genótipos para múltiplos caracteres pode ser realizada por diferentes métodos, e os índices de seleção têm sido frequentemente utilizados com este fim (Ruggieri et al., 2019; Medeiros et al., 2018; Khalili et al., 2016). Smith (1936) e Hazel (1943) utiliza as variâncias e covariâncias genótípicas e fenotípicas. Porém, os grandes erros amostrais associados a estes parâmetros podem tornar esse índice menos efetivo em comparação a outros (Cruz e Carneiro, 2006).

Williams (1962) propôs o índice base de seleção para contornar essas limitações, no qual a combinação linear dos caracteres em seleção é feita pela ponderação direta dos valores fenotípicos com os respectivos pesos econômicos. Tanto o índice clássico quanto o índice base preconizam a atribuição de pesos econômicos na sua construção. Na proposta inicial, esses pesos deveriam ser obtidos em função do valor de mercado de cada caráter por unidade avaliada (Williams, 1962; Hazel, 1943; Smith, 1936). Contudo, valores de mercado mudam constantemente e, para alguns caracteres, não há como encontrar um valor econômico.

A solução para os problemas como multicolinearidade e atribuição de pesos econômico, como Rocha et al. (2018) propuseram o índice FAI-BLUP. Nesse índice, é realizada a análise de fatores exploratória com o intuito de se extrair as cargas fatoriais da matriz de correlação genética. Posteriormente, são determinados os ideótipos baseando-se na combinação de fatores desejáveis e indesejáveis para o melhoramento genético. Depois da determinação dos ideótipos, estimam-se as distâncias genótipo-ideótipo, que são convertidas em probabilidade espacial, possibilitando, assim, o ranqueamento dos genótipos. Além de resolver o problema da multicolinearidade e da atribuição de pesos econômicos o índice considera a estrutura das correlações obtidas dos dados e direciona o melhorista na seleção de genótipos mais próximos ao ideótipo.

Vários trabalhos têm relatado a falta de correlação entre os genótipos selecionados durante a germinação e os genótipos selecionados em outros estádios de desenvolvimento da planta para tolerância a determinado estresse (Mano e Takeda, 1997). É provável que os mecanismos genéticos e fisiológicos que contribuem para a

tolerância ao estresse abiótico durante a germinação são diferentes dos que conferem tolerância nos outros estádios (Foolad e Lin, 2000).

Foolad (1999) verificou que não houve correlação entre a germinação e o estágio vegetativo sob estresse salino. Além disso, ele observou que os quantitative trait loci (QTLs) que contribuíram para a tolerância ao estresse salino durante a germinação, foram diferentes dos que contribuíram durante o estágio vegetativo. Shamim et al. (2014) avaliaram 120 genótipos de tomate sob deficit hídrico durante a germinação e a fase vegetativa, também verificaram que não houve correlação entre os genótipos da germinação e da fase vegetativa. Resultados similares foram observados por Shtereva et al. (2008) em tomateiro.

4. CONCLUSÃO

O índice de tolerância ao deficit hídrico obtido pela diferença entre os caracteres do controle e do estresse é o mais indicado, para este experimento, para avaliar o desempenho dos genótipos durante a germinação e estágio reprodutivo.

Os genótipos mais promissores visando a tolerância ao deficit hídrico durante a germinação foram BGH-2014, BGH-6904, BGH-3493, BGH-2020, BGH-2208, BGH-1988 e BGH-6906. Durante o estágio reprodutivo os genótipos tolerantes foram BGH-6912, BGH-3394, BGH-6924, BGH-3500, BGH-7299, BGH-2051 e BGH-2202.

5. REFERÊNCIAS

- Alvarenga, M. A. A. R. (2004). "Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia," UFLA.
- Ashraf, M., and Foolad, M. R. V. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* **59**, 206-216.
- Borba, M. E. A., Maciel, G. M., Marquez, G. R., Júnior, E. F. F., and Nogueira, G. G. S. (2017). Genetic diversity and selection in tomato genotypes under water stress induced by mannitol. *Bioscience Journal* **33**, 592-600.
- Bousslama, M., and Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybeans. i. evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* **24**, 933-937.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise desementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p
- Brdar-Jokanović, M., Pavlović, S., Girek, Z., Ugrinović, M., and Zdravković, J. (2014). Assessing tomato drought tolerance based on selection indices. *Ratarstvo i Povrtarstvo* **51**, 38-45.
- Celebi, M. (2014). The effect of water stress on tomato under different emitter discharges and semi-arid climate condition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **20**, 1151-1157.
- Chen, J., Kang, S., Du, T., Guo, P., Qiu, R., Chen, R., and Gu, F. (2014). Modeling relations of tomato yield and fruit quality with water deficit at different growth stages under greenhouse condition. *Agricultural Water Management* **146**, 131-148.
- Cruz, C. D. (2013). Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy* **35**, 271-276.
- Cruz, C. D., and Carneiro, P. C. S. (2006). "Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético," Universidad Federal de Viçosa.
- Dantas, S. A. G., Silva, F. C. S., Silva, L. J., and Silva, F. L. (2017). Strategy for selection of soybean genotypes tolerant to drought during germination. *Genetics and molecular research: GMR* **16**, 1-8.
- Fathi, A., and Tari, D. B. (2016). Effect of drought stress and its mechanism in plants. *International Journal of Life Sciences* **10**, 1-6.

- Foolad, M. R. (1999). Comparison of salt tolerance during seed germination and vegetative growth in tomato by QTL mapping. *Genome* **42**, 727-734.
- Foolad, M. R., and Lin, G. Y. (2000). Relationship between cold tolerance during seed germination and vegetative growth in tomato: germplasm evaluation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **125**, 679-683.
- Foolad, M. R., Subbiah, P., Kramer, C., Hargrave, G., and Lin, G. Y. (2003). Genetic relationships among cold, salt and drought tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato. *Euphytica* **130**, 199-206.
- George, S., Jatoi, S. A., and Siddiqui, S. U. (2013). Genotypic differences against PEG simulated drought stress in tomato. *Pak. J. Bot* **45**, 1551-1556.
- Hazel, L. N. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* **28**, 476-490.
- Jangid, K. K., and Dwivedi, P. (2016). Physiological responses of drought stress in tomato: a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* **9**, 53-61.
- Khalili, M., Pour-Aboughadareh, A., and Naghavi, M. R. (2016). Assessment of drought tolerance in barley: integrated selection criterion and drought tolerance indices. *Environmental and Experimental Biology* **14**, 33-41.
- Kulkarni, M., and Deshpande, U. (2007). In vitro screening of tomato genotypes for drought resistance using polyethylene glycol. *African Journal of Biotechnology* **6**, 691-696.
- Kuşçu, H., Turhan, A., and Demir, A. O. (2014). The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management* **133**, 92-103.
- Lesk, C., Rowhani, P., and Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* **529**, 84-99.
- Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A., and Kondracka, K. (2013). Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics* **27**, 463-477.
- Lu, Z., and Neumann, P. M. (1998). Water-stressed maize, barley and rice seedlings show species diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. *Journal of Experimental Botany* **49**, 1945-1952.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination - Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* **2**, 176-177.

- Mano, Y., and Takeda, K. (1997). Mapping quantitative trait loci for salt tolerance at germination and the seedling stage in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Euphytica* **94**, 263-272.
- Medeiros, A. M., Rodrigues, R., Costa, D. V., Pimenta, S., and Oliveira, J. G. (2018). Non-parametric indexes in selecting hybrids of chili pepper. *Horticultura Brasileira* **36**, 27-32.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* **11**, 15-19.
- Montgomery, D. C., and Peck, E. A. (1992). Introduction to linear regression analysis Wiley. *New York, USA*.
- Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M. V., and Senthil-Kumar, M. (2017). Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Frontiers in Plant Science* **8**, 1-15.
- Peralta, I. E., Spooner, D. M., and Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs* **84**, 1-186.
- Resende, M. D. V. d. (2007). Selegen-Reml/Blup: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. *Colombo: Embrapa Florestas*.
- Resende, M. D. V. d. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* **16**, 330-339.
- Rocha, J. R. d. A. S. d. C., Machado, J. C., and Carneiro, P. C. S. (2018). Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. *Gcb Bioenergy* **10**, 52-60.
- Rodo, A. B., and Marcos-Filho, J. (2003). Onion seed vigor in relation to plant growth and yield. *Horticultura Brasileira* **21**, 220-226.
- Rosielle, A. A., and Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* **21**, 943-946.
- Ruggieri, V., Calafiore, R., Schettini, C., Rigano, M. M., Olivieri, F., Frusciante, L., and Barone, A. (2019). Exploiting genetic and genomic resources to enhance heat-tolerance in tomatoes. *Agronomy* **9**, 22-33.

- Shamim, F., Farooq, K., and Waheed, A. (2014). Effect of different water regimes on biometric traits of some tolerant and sensitive tomato genotypes. *Journal of Animal and Plant Sciences* **24**, 1178-1182.
- Shtereva, L., Atanassova, B., Karcheva, T., and Petkov, V. (2008). Effect of water stress on the growth rate, water content and proline accumulation in tomato calli and seedlings. *Acta Horticulturae* **789**, 189-198.
- Smith, H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annual Eugenics* **7**, 240-250.
- Tapia, G., Méndez, J., and Inostroza, L. (2016). Different combinations of morpho-physiological traits are responsible for tolerance to drought in wild tomatoes *Solanum chilense* and *Solanum peruvianum*. *Plant Biology* **18**, 406-416.
- Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., and Zhu, J. K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal* **45**, 523-539.
- Vieira, E. A., Fialho, J. d. F., Silva, M. S., Fukuda, W. M. G., and Faleiro, F. G. (2008). Variabilidade genética do banco de germoplasma de mandioca da Embrapa Cerrados acessada por meio de descritores morfológicos. *Científica* **36**, 56-67.
- Villela, F. A., Doni Filho, L., and Sequeira, E. L. (1991). Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **26**, 1957-1968.
- Williams, J. S. (1962). The evaluation of a selection index. *Biometrics* **18**, 375-393.
- Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C.-O., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y., Yu, W., Zhao, T., and Wu, Z. (2017). Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biology* **17**, 24-37.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A enxertia e o melhoramento de plantas podem eficientemente mitigar os efeitos do déficit hídrico no tomateiro, de acordo com os resultados deste trabalho. A adoção de porta-enxertos tolerantes, como espécies silvestres de tomateiro, permite maior adaptabilidade da cultivar em ambientes sob restrição hídrica. Isso é possível, pois esses porta-enxertos influenciam nas respostas fisiológicas e bioquímicas das plantas sob esse tipo de estresse. Entretanto, é preciso estudar as funções de genes, proteínas e redes metabólicas envolvidas nas interações raiz-parte aérea das plantas enxertadas em resposta ao déficit hídrico. Pois desvendar esses mecanismos responsáveis pelo maior desempenho das plantas enxertadas contribuirá para melhorar sua eficiência na produção em ambientes sob restrição hídrica.

O BGH-UFV possui acessos que apresentam tolerância ao déficit hídrico. Dessa forma, esses acessos podem aumentar a eficiência dos programas de melhoramento visando a tolerância ao déficit hídrico ou mesmo resolver problemas decorrentes do estreitamento da base genética do tomateiro. Portanto, é necessário continuar estudando os acessos do BGH-UFV para utilizá-los em cruzamentos.