

MONIQUE ELLIS AGUILAR BORBA

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE TOMATEIRO VISANDO TOLERÂNCIA AO
ESTRESSE POR DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

Co-orientador

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B726s Borba, Monique Ellis Aguilar, 1991
2016 Seleção de genótipos de tomateiro visando tolerância ao estresse por
deficiência hídrica / Monique Ellis Aguilar Borba. - 2016.
57 f. : il.
Orientador: Gabriel Mascarenhas Maciel.
Coorientador: Eusímio Felisbino Fraga Júnior.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Tomate - Melhoramento genético - Teses. 3.
Água na agricultura - Teses. 4. Sementes - Germinação - Teses. I.
Maciel, Gabriel Mascarenhas. II. Fraga Júnior, Eusímio Felisbino. III.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Agronomia. IV. Título.

MONIQUE ELLIS AGUILAR BORBA

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE TOMATEIRO VISANDO TOLERÂNCIA AO
ESTRESSE POR DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 29 de Novembro de 2016.

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior
(co-orientador)

UFU

Prof. Dr. Jose Magno Queiroz Luz

UFU

Prof. Dr. Márcio José de Santana

IFTM

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

ICIAG-UFU

(Orientador)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL

2016

À minha mãe Anastácia e a minha querida irmã

Maryna que são meus exemplos

Dedico!

Agradecimentos

À minha família pelo carinho, apoio e compreensão em todos os momentos. Em especial à minha mãe e irmã que sempre estiveram presentes e são essenciais na minha vida e também ao meu pai que mesmo de longe me apoiou na conclusão dessa etapa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel, um grande exemplo de profissional, pela oportunidade de participar do Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT), pelo auxílio em todos os momentos da realização do projeto de mestrado, pela paciência, dedicação, e acima de tudo pelos ensinamentos.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior pela colaboração e auxílio que foram essenciais para a conclusão do projeto.

Aos amigos do Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT), Camila, Débora, Rafael, Nadya, Igor, Guilherme, Aline, Breno, Gregory, Rafaela e Jaíne que sempre se dispuseram a ajudar. Em especial à Camila, Débora, Rafael, Igor, Gregory e Breno que foram essenciais para a conclusão dos experimentos.

Ao meu colega Carlos que se dispôs a me auxiliar durante o projeto, pela colaboração intelectual e técnica.

À professora Maria Cristina Sanches pelo empréstimo do aparelho para realização do experimento.

Aos meus amigos da pós-graduação em especial à Morgana, Fábio e Lucas que sempre foram atenciosos e se dispuseram a me auxiliar durante o mestrado.

Aos professores integrantes da banca examinadora, por aceitarem o convite e disponibilizarem parte de seu tempo para avaliação desse trabalho.

A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração desse trabalho meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVO GERAL	6
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
REFERÊNCIAS	7
CAPÍTULO II	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4. CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO III	28
RESUMO	29
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45

RESUMO

BORBA, Monique Ellis Aguilar. **Seleção de genótipos de tomateiro visando tolerância ao estresse por deficiência hídrica**. 2016. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) se adapta a diversas condições climáticas, no entanto, é sensível à falta de água que pode provocar danos em seu desenvolvimento e produtividade. Este trabalho objetivou selecionar genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse hídrico a partir da indução de déficit nas sementes e nas plantas em campo. Dividiu-se a pesquisa em dois momentos. No primeiro momento a seleção ocorreu em laboratório com sementes de tomate do grupo Santa Cruz. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram avaliados 17 genótipos, em geração F₂RC₂ oriundos de um cruzamento interespecífico entre *S. lycopersicum* e *S. pennellii* e três testemunhas, sendo uma resistente [acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*)] e duas suscetíveis (cv. Santa Clara e linhagem pré-comercial (UFU-650). Após serem submetidos ao potencial osmótico de -0,3 MPa os genótipos foram avaliados para: porcentagem de germinação, porcentagem de germinação padrão, porcentagem de primeira contagem, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação e comprimento inicial e final de radícula. O acesso selvagem, *S. pennellii*, mostrou-se superior às testemunhas suscetíveis. O genótipo UFU102/F₂RC₂#71115 destacou-se quando comparado aos outros genótipos F₂RC₂ e em relação às testemunhas suscetíveis (cv. Santa Clara e UFU-650) e resistente (*S. pennellii*). Analisando a diversidade genética foi possível a obtenção de oito grupos distintos, sendo tal obtenção um indicativo de variabilidade genética entre os genótipos avaliados. A variável %G (porcentagem de germinação) contribuiu com 33,9% na diferenciação dos genótipos apresentando-se como o critério mais importante a ser avaliado. No segundo momento realizou-se a seleção em tomateiros do tipo minitomate. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com três repetições e oito tratamentos, sendo 5 genótipos F₂RC₁ provenientes do cruzamento interespecífico entre a linhagem pré-comercial UFU-222 (*S. lycopersicum*) versus acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) e outros três genótipos utilizados como testemunhas: duas suscetíveis (UFU-222; cv. Santa Clara) e uma resistente (*S. pennellii*). O experimento foi conduzido em ambiente protegido com monitoramento da densidade de fluxo, radiação solar global, temperatura do ar, umidade relativa do ar e do potencial mátrico no substrato. As características fisiológicas coletadas foram: temperatura foliar, CO₂ interno, transpiração, condutância estomática e assimilação de CO₂ determinadas pelo analisador portátil de gás no infravermelho – IRGA. Para os níveis de clorofila *a* e *b* utilizou-se o medidor portátil clorofiLOG (CFL-1030, Falker) e para o potencial hídrico foliar utilizou-se a câmara de pressão tipo Scholander (SoilMoisturemodel3000). Todos os parâmetros avaliados apresentaram valores significativos entre os genótipos. A tolerância ao déficit hídrico do *S. pennellii* selvagem não é determinada exclusivamente por caracteres morfo-anatômicos podendo ser caracterizada por medidas gasosas e de potencial hídrico foliar. Sendo a eficiência instantânea no uso da água possivelmente a principal variável resposta que caracteriza esse acesso. Genótipos da população UFU22/F₂RC₁#2 se destacaram entre os demais como os mais promissores apresentando elevadas taxas fotossintéticas associadas à baixa condutância estomática e transpiração.

PALAVRAS-CHAVE: Estresse abiótico; trocas gasosas; potencial hídrico.

¹Comitê Orientador: Gabriel Mascarenhas Maciel - UFU (Orientador) e Eusímio Felisbino Fraga Júnior

ABSTRACT

BORBA, Monique Ellis Aguilar. **Selection of tomato genotypes to stress tolerance by water deficiency**. 2016. 57f. Uberlândia: UFU, 2016. Dissertation (Master Program Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.¹

The tomato crop adapts to different climatic conditions however it is sensitive to the lack of water which can damage its development and productivity. This study aimed to select tomato genotypes tolerant to stress by water deficiency from the deficit induction in seeds and plants in the field. The research was divided into two moments. In the first moment the selection was done in the laboratory with tomato seeds of the Santa Cruz group. A completely randomized design was used with four replications. 17 genotypes were evaluated in the generation F₂BC₂, which were obtained from an interspecific cross between *Solanum pennellii* and *Solanum lycopersicum* L. and three check treatments, one resistant [wild access LA-716 (*S. pennellii*)] and two susceptible (*cv.* Santa Clara and pre-commercial line UFU-650). After subjected to the osmotic potential of -0,3 MPa, the genotypes were evaluated for: germination percentage, standard germination percentage, first counting percentage, germination velocity index, average time of germination and initial and final length of radical. In fact, the wild access, *S. pennellii*, was better than the susceptible check treatment. The genotype UFU102/F₂BC₂#71115 was highlighted when compared to the others F₂BC₂ genotypes and in relation to the three check treatments, susceptible (*cv.* Santa Clara and UFU-650) and resistant (*S. pennellii*). Analyzing the genetic diversity, 8 different groups were obtained, thus being an indicative of genetic variability between the evaluated genotypes. The variable %G (percentage of germination) contributed with 33,9% in the diversification of the genotypes, presenting itself as the most important criterion, to be evaluated. In the second moment the selection was in mini tomatoes. We used a completely randomized design with three replications and eight treatments in which there were five F₂BC₁ genotypes from the interspecific cross between the pre-commercial strain UFU-222 (*S. lycopersicum*) versus wild accession LA-716 (*S. pennellii*), and three genotypes used as check treatments, two susceptible (UFU-222; *cv.* Santa Clara.); and one resistant (*S. pennellii*). The experiment was conducted in a greenhouse with monitoring of the flux density, solar radiation, air temperature, relative humidity and the matric potential in the substrate. The collected physiological characteristics were: leaf temperature, internal CO₂, transpiration, stomatal conductance and CO₂ assimilation, determined by portable gas analyzer infrared - IRGA; Chlorophyll levels *a* and *b* by using a hand-held chlorophyll meter clorofiLOG (CFL-1030, Falker) and leaf water potential using a pressure chamber type Scholander (SoilMoisturemodel3000). All parameters evaluated showed significant values among genotypes. The water stress tolerance of wild *Solanum pennellii* is not solely determined by morphological and anatomical characters, it can be characterized by gas measurements and leaf water potential. The instantaneous efficiency in water use is possibly the main variable response that characterizes this access. Genotypes from the population UFU22/F₂BC₁#2 were highlighted among the others as the most promising featuring high photosynthetic rates associated with low stomatal conductance and transpiration.

KEYWORDS: Abiotic stress; gas exchange; water potential.

¹Guidance Committee: Gabriel Mascarenhas Maciel – UFU (Major Professor) and Eusímio Felisbino Fraga Júnior - UFU.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) tem como centro de origem a região andina onde crescem espontaneamente diversas espécies do gênero *Solanum*. O primeiro indício do uso dos frutos do tomateiro na alimentação humana ocorreu no ano de 1554. Desde sua domesticação no México até sua aceitação na Europa e Estados Unidos por volta do século XIX, o tomateiro vem passando por processos de melhoramento genético com consequente melhoria na qualidade dos frutos. No Brasil há evidências de que a introdução dessa hortaliça ocorreu pela imigração europeia, principalmente a portuguesa e italiana (ALVARENGA, 2004).

Atualmente o tomateiro é uma hortaliça de grande importância econômica e social no mundo (HEINE et al., 2015). Seu cultivo é exigente em cuidados fitossanitários e demanda elevada mão-de-obra. O Brasil está entre os 10 maiores produtores mundiais de tomate com produção de 4,3 milhões de toneladas cultivados em uma área de 65,2 mil hectares e produtividade média de 66 ton ha⁻¹. Neste contexto a região sudeste é responsável por 44% da produção, o centro-oeste 31%, nordeste 14%, sul 11% e norte 0,12% (AGRIANUAL, 2015). A ampla distribuição regional da cultura mostra que as plantas têm capacidade de adaptação às diversas condições climáticas (ALVARENGA, 2013), sendo isso um fator importante para o mercado consumidor pois as diversas cultivares podem ser produzidas em diferentes regiões do país.

As cultivares de tomate para consumo *in natura* podem ser divididas em grupos. O grupo Santa Cruz apresenta grande demanda no mercado e possui peso médio de frutos entre 80 e 220 gramas (g); o grupo Salada é representado por frutos graúdos acima de 250g podendo chegar até 500g; e o grupo Italiano ou Saladete apresenta frutos compridos de diâmetro reduzido. Outro grupo é o denominado grupo Cereja no entanto a melhor denominação seria Minitomate, já que dentro deste existem padrões diferentes devido a coloração mais amarelada ou ao formato piriforme em alguns casos (ALVARENGA, 2004). Dentre as diversas cultivares de tomate a demanda e a oferta pelo Minitomate aumentou nos últimos anos, pois além de ser saboroso e atrativo possui alto valor agregado (ABRAHÃO et al., 2014). Entretanto para o cultivo dos diferentes grupos de tomate é importante que a região atenda a algumas exigências climáticas.

A região deve apresentar um índice pluvial ou de água disponível para irrigação ao longo do ciclo da cultura de aproximadamente 700 (mm) bem distribuídos (MELO, de., 2014), sendo que a maior exigência da planta é no período de floração e crescimento dos frutos. Há relatos de que o déficit hídrico é muito prejudicial para as plantas de tomate pois em períodos prolongados limita o crescimento e reduz a produtividade (ALVARENGA, 2004). Isso se deve ao fato que a água é uma substância considerada solvente ideal para ocorrência de processos bioquímicos e fisiológicos. Ela pode compor de 80 a 95% da massa de tecidos metabolicamente ativos das plantas em crescimento, sendo fundamental como reagente ou substrato em diversos processos tais como fotossíntese e germinação de sementes (KERBAUY, 2008).

A absorção da água ocorre através das raízes devido a uma diferença de potencial hídrico no sistema solo-planta-atmosfera. É formado um gradiente de potencial hídrico que começa na atmosfera, passa pela planta e chega ao solo. O movimento da água ocorre da região com maior potencial hídrico para outra com menor potencial, por isso a água desloca por fluxo em massa, do solo para a atmosfera. A absorção e deslocamento de água no interior da planta tem início com a perda de vapor d'água para a atmosfera através do processo da transpiração (KERBAUY, 2008). A quantidade de água disponível no solo e a taxa de transpiração são importantes fatores para determinar o *status* hídrico das plantas pois no momento em que a quantidade de água perdida pelo vegetal é maior do que sua absorção essas podem passar por um período de estresse hídrico (COSTA et al., 2008).

A ocorrência de déficit hídrico é um dos maiores problemas que afetam a produção do tomate, visto que pode interferir no desenvolvimento e na produtividade da cultura (BRAY, 2004). As principais características que as plantas apresentam sob déficit hídrico são: alteração na permeabilidade da cutícula, redução do turgor, enrolamento das folhas, redução da área foliar, menor crescimento da parte aérea, maior crescimento do sistema radicular e abscisão floral (XOCONOSTLE-CAZARES et al., 2010; BASTOS et al., 2011; VAR SHNEY et al., 2011). Nos frutos as oscilações de umidade no solo resultam em rachadura, podridão apical, redução no estabelecimento e incidência de frutos ocos (OZBAHCE; TARI, 2010). Para se adequar a esse período adverso as plantas têm como estratégia o fechamento dos estômatos, o que reduz a condutância estomática e as perdas de água por transpiração. No entanto, isso reduz a fotossíntese (XOCONOSTLE-CAZARES et al., 2010), prejudicando a síntese de energia.

O controle da condutância estomática é um processo complexo (BERNIER et al., 2008). Na condição de déficit hídrico, ocorre a perda de turgor nas células-guarda dos estômatos. Essas células são responsáveis por sua abertura e fechamento, quando túrgidas os estômatos abrem e quando flácidas fecham. No momento em que os estômatos estão fechados, além da redução na perda de água, também ocorre a redução da absorção de CO₂, que implica no processo de fotossíntese (KERBAUY, 2008). Além de afetar de forma significativa as plantas no seu período de crescimento e desenvolvimento, o déficit hídrico, dependendo da sua intensidade, pode interferir na germinação das sementes comprometendo o estande final.

O primeiro passo para a germinação é o processo de embebição. Para que uma semente germine é necessário que ela seja hidratada. Nessa fase a água atua como reagente na digestão das reservas internas influenciando na atividade enzimática, na solubilização e no transporte de fotoassimilados (MARCOS FILHO, 2005; BRADFORD, 1995). Um potencial hídrico externo baixo reduz a quantidade de água disponível para absorção pelas sementes. Com isso pode ocorrer atraso no início da atividade enzimática, no desenvolvimento meristemático, na emergência da radícula (HADAS, 1976), redução da porcentagem de germinação e desuniformidade do estande (DEMIR et al., 2006).

A absorção de água pelas sementes compreende três fases: na primeira fase existe diferença de potencial hídrico entre o substrato e as sementes. Sendo assim, ocorre uma rápida absorção da água pela semente que possui potencial hídrico menor. Na segunda fase ocorre uma redução na taxa de absorção devido ao equilíbrio entre os dois potenciais e finalmente, na terceira fase, a água volta a ser absorvida rapidamente em função da ativação metabólica das sementes e produção de substâncias osmoticamente ativas que reduzem novamente o seu potencial (BEWLEY et al., 2013).

Nota-se que a manutenção do *status* hídrico do solo é de grande relevância e está diretamente ligada a disponibilidade de água. Nos últimos anos os conflitos pelo uso e restrições de consumo da água tornaram-se um fator limitante não só em regiões áridas e semiáridas, mas também em regiões que possuem recursos hídricos abundantes, porém incapazes de suprir a elevada demanda (TELLES; COSTA, 2010). Além disso culturas exigentes em irrigação possuem gastos relevantes com energia. Desde sua domesticação o tomateiro vem passando por processos de melhoramento que visam a melhoria na qualidade dos frutos, o que levou a escassez de genótipos com tolerância ao estresse

hídrico (ALVARENGA, 2004). Nesse sentido, desenvolver cultivares com tolerância ao estresse hídrico se torna uma estratégia de menor custo e maior eficiência em regiões de déficit hídrico (GIROTTI et al., 2012) e uma alternativa para reduzir despesas com irrigação.

Comercialmente não existem genótipos de tomateiro que reúnam boas características agronômicas aliados à tolerância ao déficit hídrico e essa carência pode ser devido à falta de métodos de seleção direto e indireto acreditados e eficazes (BERENGUER, 2015). A baixa variabilidade genética disponível aliada à suscetibilidade dos genótipos atuais ao estresse hídrico tem dificultado maiores avanços em programas de melhoramento genético do tomateiro.

O acesso selvagem LA-716, *Solanum pennellii*, possui habitat natural oriundo de regiões quentes e secas e está situado do oriente dos Andes até o oeste da Costa Pacífica (HOLTAN; HAKE, 2003). Esse acesso apresenta maior eficiência no uso da água em relação a cultivares comerciais (ROCHA et al., 2016). Sendo assim, torna-se possível a introgressão de caracteres provenientes de *S. pennellii* em gerações avançadas de tomateiro visando tolerância ao estresse hídrico. Apesar de *S. pennellii* não possuir potencial agrônomo, é possível resgatá-la após o cruzamento interespecífico seguido de três retrocruzamentos com o *background* de interesse (MACIEL et al., 2010; MALUF et al., 2011; MACIEL et al., 2011).

A germinação da semente em solos com baixo potencial hídrico depende de cada espécie. Em laboratório é possível simular o déficit hídrico através de estudos de germinação com o uso de soluções aquosas de sacarose, sais, manitol e polietileno glicol. Esses solutos ao serem adicionados à água reduzem seu potencial hídrico e permitem a seleção de espécies mais tolerantes (SANTOS et al., 1992). O método indireto com o uso de soluções aquosas de manitol, um composto químico inerte e não tóxico (ECHER et al., 2010), tem sido utilizado em diversas espécies (PELEGRINI et al., 2013; SOARES et al., 2015; COELHO et al., 2010). Berenguer (2015) constatou que o potencial osmótico adequado para avaliar o estresse hídrico em sementes e plântulas de tomateiro foi de -0,3 MPa.

No campo existem diferentes métodos para estimar as necessidades hídricas das culturas, como o tensiômetro, a câmara de Scholander (AZEVEDO; SILVA, 1999) e o IRGA (KERBAUY, 2008) que se baseiam na condição do solo, da planta e da atmosfera. O tensiômetro é um aparelho conhecido e prático que afere o potencial de água no solo,

sendo usado para indicar o momento apropriado de se realizar as irrigações (MAROUELLI, 2008). A câmara de Scholander permite estimar a tensão de água no xilema a partir do corte de um ramo ou de uma folha da planta enquanto está transpirando (GOMES, et al., 2014; GONÇALVES, et al. 2015). O IRGA (Infra-RedGasAnalyser) é um equipamento que mensura as trocas gasosas e os processos fisiológicos da planta envolvidos na fotossíntese, como a concentração de dióxido de carbono (CO_2), a condutância estomática e a temperatura foliar entre outros parâmetros (BOSCO et al., 2009; ROBERTO, et al, 2015).

O uso de métodos diretos para seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico apresenta custo elevado e maior tempo de execução, tornando os métodos indiretos mais vantajosos. Várias pesquisas têm comprovado a eficiência de seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico a partir da utilização de diferentes técnicas, como sintomas visuais, balanço da água no solo, fluxo de seiva, condutância estomática, análises de trocas gasosas, troca de vapor de água e CO_2 entre a folha e atmosfera (BIRHANU; TILAHUN, 2010; AKSIC et al., 2011; CELEBI, 2014; BEGUM et al., 2012; ROCHA et al., 2016), no entanto a utilização destas avaliações na seleção de genótipos de tomateiro são escassas.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho foi selecionar genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse por deficiência hídrica em laboratório e campo.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estimar a variabilidade genética após dois ciclos de retrocruzamento e selecionar genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse por deficiência hídrica induzida por manitol.

Estudar variáveis relacionadas às trocas gasosas e eficiência do uso da água na seleção de genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse por deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, C.; BÔAS, R. L. V.; BULL, L. T. Relação K:Ca:Mg na solução nutritiva para a produção de minitomate cultivado em substrato. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 214-224, 2014.
- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Informa economics, São Paulo: FNP. South America, 2015. 456 p.
- AKSIC, M.; GUDZIC, S.; DELETIC, N.; GUDZIC, N.; STOJKOVIC, S. Tomato Fruit Yield and Evapotranspiration in the Conditions of South Serbia. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 17, n. 2, p. 150-157, 2011.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 400p.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455p.
- AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da. Tensiômetro: dispositivo prático para controle de irrigação. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 1999. 33p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 001).
- BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M.; FREIRE FILHO, R. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, p. 100- 107, 2011.
- BEGUM, M. K.; ALAM, M. R.; ISLAM, M. S.; AREFIN, M. S. Effect of water stress on physiological characters and juice quality of sugarcane. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 14, n. 2, p. 161–167, 2012.
- BERENGUER, A. F. **Estresse hídrico induzido por manitol para seleção de genótipos de tomateiro**. 2015. 20 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia: Área de concentração Melhoramento genético) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
- BERNIER, J.; ATLIN, G. N.; SERRAJ, R.; KUMAR, A.; SPANER, D. Breeding upland rice for drought resistance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S.l], v. 88, n. 6, p. 927-939, 2008.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. 392 p.
- BIRHANU, K.; TILAHUN, K. Fruit yield and quality of drip irrigated tomato under deficit irrigation. **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**, [S.l], v. 10, n. 2, p. 2139-2151, 2010.
- BOSCO, M. R. de. O.; OLIVEIRA, A. B. de.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. de. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 3, p. 296-302, 2009.

BRADFORD, K. J. Water relations in seed germination. In: KIGEL, J.; GALILI, J. **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, 1995. 853p.

BRAY, E. A. Genes commonly regulated by water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 407, p. 2331-2341, 2004.

CELEBI, M. The effect of water stress on tomato under different emitter discharges and semi-arid climate condition. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 20, p. 1151-1157, 2014.

COELHO, D. L. M.; AGOSTINI, E. A. T. de.; GUABERTO, L. M.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e expressão diferencial de proteínas durante a germinação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 03, p. 491-499, 2010.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; MAIA, P. S. P.; ALVES, G. A. R.; LAUGHINGHOUSE, H. D. Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata*(L.) Walp. cultivars under water stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 7, n. 1, p. 98- 101, 2008.

DEMIR, A. O.; GOKSOY, A. T.; BUYUKCANGAZ, H.; TURAN, Z. M.; KOKSAL, E. S. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. **Irrigation Science**, [S.l.], v. 24, p. 279–289, 2006.

ECHER, F. R.; CUSTÓDIO, C. C.; HOSSOMI, S. T.; DOMINATO, J. C.; MACHADO NETO, N. B. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 638-645, 2010.

GIROTTI, L.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; ALBUQUERQUE, A. C. S.; TOMAZONI, A. P. Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 192-199, 2012.

GOMES, E. R.; SILVA, L. R. A. da.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de.; SOUSA, V. F. de.; MOUSINHO, F. E. P. potencial hídrico foliar da melancia em resposta a variação no conteúdo de água no solo. **Irriga**, Botucatu, ed Especial, v. 01, p. 29-39, 2014.

GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; SILVA, D. A. da.; ESTEVES, J. A. de. F.; BOSETTI, F.; CARBONELL, S. A. M. Análise da capacidade combinatória em feijoeiro comum submetido ao déficit hídrico. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 149-155, 2015.

HADAS, A. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solutions. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 27, n. 98, p. 480-489, 1976.

HEINE, A. J. M.; MORAES, M. O. B.; PORTO, J. S.; SOUZA, J. S.; REBOUÇAS, T. N. H.; SANTOS, B. S. R. Número de haste e espaçamento na produção e qualidade do tomate. **Scientia plena**, São Cristóvão, v. 11, n. 9, 2015.

HOLTAN, H. E. E.; HAKE, S. Quantitative trait locus analysis of leaf dissection in tomato using *Lycopersicon pennellii* segmental introgression lines. **Genetics**, [S.l], v. 165, p. 1541–1550, 2003.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**, 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.

MACIEL, G. M.; MALUF, W. R.; SILVA, FÁTIMA, V. de.; GONÇALVES NETO, A. C.; NOGUEIRA, D. W.; GOMES, L. A. A. heterose e capacidade combinatória de linhagens de tomateiro ricas em acilaçúcares. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 1161-1167, 2010.

MACIEL, G. M.; MALUF, W. R.; SILVA, FÁTIMA, V. de.; GONÇALVES NETO, A. C.; GOMES, L. A. A.; MACIEL, G. M. Híbridos pré-comerciais resistentes a *Tuta absoluta* obtidos de linhagem de tomateiro rica em acilaçúcares. **Horticultura Brasileira**, [S.l], v. 29, p. 151-156, 2011.

MALUF, W. R.; SILVA, FÁTIMA V. de.; GRAÇAS CARDOSO, M. das.; GOMES, L. A. A.; GONÇALVES NETO, A. C. ; MACIEL, G. M.; NÍZIO, D. A. C. Resistance to the South American tomato in worm *Tuta absoluta* in high acylsugar and/or high zingiberene tomato genotypes. **Euphytica**, Wageningen, v. 176, p. 113-12, 2010.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p.

MARQUELLI, W. A. Tensiômetros para o Controle de Irrigação em Hortaliças. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF: **Circular Técnica**, 15p., 2008.

MELO, P. C. T. de. Produção de sementes de tomate. In NASCIMENTO, W. M. **Produção de sementes de hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2014. v. 2, cap. 8, p. 235-266.

OZBAHCE, A.; TARI, A. F. Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, [S.l], v. 97, p. 1405-1410, 2010.

PELEGRINI, L. L.; BORCIONI, E.; NOGUEIRA, A. C.; KOEHLER, H. S.; QUOIRIN, M. G. G. Efeito do estresse hídrico simulado com NaCl, manitol e PEG (6000) na germinação de sementes de *Erythrina falcata* Benth. **Ciência Florestal**, [S.l], v. 23, n. 2, p. 511-519, 2013.

ROBERTO, G. C.; CUNHA, C.; SALES, C. R. G.; SILVEIRA, N. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; LAGÔA, A. M. M. A. Variação da fotossíntese e dos teores de carboidratos induzidos por etefom e déficit hídrico na fase de maturação da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Capinas, v. 74, n. 4, p. 379-386, 2015.

ROCHA, D. K.; MACIEL, G. M.; FRAGA JUNIOR, E. F.; MACHADO JÚNIOR, C. S.; NOGUEIRA, G. G. S.; ALMEIDA R. S. de. Seleção de genótipos de tomateiro submetidos ao estresse hídrico em função da expressão de características fisiológicas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 11, n. 2, p. 80-84, 2016.

SANTOS, L. M. dos.; CALIL, A. C.; RUIZ, A.; SANTOS, M. dos. Efeito do estresse salino e hídrico na germinação e vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 189-194, 1992.

SOARES, M. M.; SANTOS JUNIOR, H. C. DOS.; SIMÕES, M. G.; PAZZIN, D.; SILVA, L. J. da. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesqui. Agropecu. Trop.**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 370-378. 2015 .

TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: 2010. 408 p.

VARSHNEY, R. K.; PAZHAMALA, I.; KASHIWAGI, J.; GAUR, P. M.; KRISHNAMURTHY, L.; HOISINGTON, D. Genomics and physiological approaches for root trait breeding to improve drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Root Genomics**, [S.l], v. 10, p. 213-222, 2011.

XOCONOSTLE-CAZARES, B.; RAMIREZ-ORTEGA, F. A.; FLORES-ELENES, L.; RUIZ-MEDRANO, R. Drought tolerance in crop plants. **American Journal of Plant Physiology**, [S.l], v. 5, n. 5, p. 241-256, 2010.

CAPÍTULO II

DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO EM GENÓTIPOS DE TOMATEIRO SOB ESTRESSE HÍDRICO INDUZIDO POR MANITOL

DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO EM GENÓTIPOS DE TOMATEIRO SOB ESTRESSE HÍDRICO INDUZIDO POR MANITOL

RESUMO

O tomateiro é uma planta que se adapta a diferentes condições climáticas. No entanto, o estresse hídrico, um tipo de estresse abiótico, afeta diretamente o desempenho da cultura. O objetivo do experimento foi estimar a variabilidade genética, após dois retrocruzamentos, e selecionar genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse hídrico induzido por manitol. O avanço das gerações foi realizado no campo e o teste de estresse hídrico feito no laboratório, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram avaliados 17 genótipos, em geração F₂RC₂, provenientes de um cruzamento interespecífico entre *Solanum lycopersicum* versus *Solanum pennellii* e três testemunhas, sendo uma resistente [acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*)] e duas suscetíveis (cv. Santa Clara e linhagem pré-comercial UFU-650). Após serem submetidos ao potencial osmótico de -0,3 MPa, os genótipos foram avaliados quanto à porcentagem de germinação, porcentagem de germinação padrão, porcentagem de primeira contagem, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação e comprimento inicial e final de radícula. De fato, o acesso selvagem, *S. pennellii*, mostrou-se superior às testemunhas suscetíveis. O genótipo UFU102/F₂RC₂#71115, destacou-se quando comparado aos demais genótipos F₂RC₂ e em relação às três testemunhas, tanto as suscetíveis (cv. Santa Clara e UFU-650) quanto a resistente (*S. pennellii*). Analisando a diversidade genética foi possível a obtenção de oito grupos distintos, sendo isso um indicativo de variabilidade genética entre os genótipos avaliados. A variável %G (porcentagem de germinação) contribuiu com 33,9% na diferenciação dos genótipos, apresentando-se como o critério mais importante a ser avaliado em estudos de divergência genética na cultura do tomateiro sob estresse hídrico induzido por manitol.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum pennellii*. Déficit hídrico. Estresse abiótico. Sementes. Plântulas.

GENETIC DIVERSITY AND SELECTION IN TOMATO GENOTYPES UNDER WATER STRESS INDUCED MANNITOL

ABSTRACT

The tomato crop adapts to different climatic conditions. However, the water stress, a type of abiotic stress, can directly affect the productivity. This experiment aimed to estimate the genetic variability, after two backcrosses, and select tomato genotypes tolerant to water stress induced by mannitol. The advance of the generations was done on the field and the water stress test was done in the laboratory, in a completely randomized design with four replications. 17 genotypes in the generation F₂BC₂, which were obtained from an interspecific cross between *Solanum pennellii* and *Solanum lycopersicum* L. and three check treatments, one resistant [wild access LA-716 (*Solanum pennellii*)] and two susceptible (*cv.* Santa Clara and pre-commercial line UFU-650), were evaluated. After being subjected to the osmotic potential of -0,3 MPa, the genotypes were evaluated for: germination percentage, standard germination percentage, first counting percentage, germination velocity index, average time of germination and initial and final length of radical. In fact, the wild access, *S. pennellii*, was better than the susceptible check treatment. The genotype UFU102/F₂BC₂#71115 was highlighted when compared to the others F₂BC₂ genotypes and in relation to the three check treatments, susceptible (*cv.* Santa Clara and UFU-650) and resistant (*S. pennellii*). Analyzing the genetic diversity 8 different groups were obtained, this being an indicative of genetic variability between the evaluated genotypes. The variable %G (percentage of germination) contributed with 33,9% in the diversification of the genotypes, presenting itself as the most important criterion to be evaluated in genetic diversity studies in the tomato crop under water stress induced by mannitol.

KEYWORDS: *Solanum pennellii*. Drought. Abiotic stress. Seeds. Seedling.

1. INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma hortaliça de grande importância econômica e social no mundo (HEINE et al., 2015). O Brasil está entre os 10 maiores produtores (AGRIANUAL, 2016). A cultura se adapta a diversas condições climáticas (ALVARENGA, 2013), porém o déficit hídrico, momento em que a quantidade de água perdida pelo vegetal é maior do que sua absorção (COSTA et al., 2008), é um dos maiores problemas que afetam sua produção. Ao longo do ciclo essa hortaliça necessita de aproximadamente 700 mm de água (MELO, de., 2014) bem distribuídos e o fornecimento inadequado pode interferir no desenvolvimento e na produtividade das plantas (BRAY, 2004).

Os conflitos pelo uso e restrições de consumo da água tornaram-se um fator limitante não só em regiões áridas e semiáridas, mas também em regiões que possuem recursos hídricos abundantes, porém incapazes de suprir a elevada demanda (TELLES; COSTA, 2010). Além disso, culturas exigentes em irrigação possuem gastos relevantes com energia. Nesse sentido, desenvolver genótipos com tolerância ao estresse hídrico se torna uma estratégia de menor custo e maior eficiência em regiões de déficit hídrico (GIROTTO et al., 2012) e uma alternativa para reduzir despesas com irrigação.

Comercialmente não existem genótipos de tomateiro que reúnam boas características agronômicas aliadas à tolerância ao estresse hídrico, e essa carência pode ser devido à falta de métodos de seleção acreditados e eficazes (BERENGUER, 2015). No entanto, o acesso selvagem LA-716, *S. pennellii*, possui habitat natural oriundo de regiões quentes e secas, situado no oriente dos Andes até o oeste da Costa Pacífica (HOLTAN; HAKE, 2003). Ademais, essa espécie apresenta maior eficiência no uso da água em relação às cultivares comerciais (ROCHA et al., 2016). Sendo assim, é possível a introgressão de caracteres provenientes de *S. pennellii* em gerações avançadas de tomateiro visando tolerância ao estresse hídrico.

O uso de métodos diretos para seleção ao estresse hídrico apresenta custo elevado e maior tempo de execução, tornando os métodos indiretos mais vantajosos. O método indireto com o uso de soluções aquosas de manitol, um composto químico inerte e não tóxico (ECHER et al., 2010), tem sido utilizado em diversas espécies com objetivo de simular estresse hídrico em condições de laboratório (PELEGRINI et al., 2013; SOARES et al., 2015; COELHO et al., 2010). Berenguer (2015) constatou que o potencial osmótico

adequado para avaliar o estresse hídrico avaliando sementes e plântulas em genótipos de tomateiro foi -0,3 MPa. No entanto, a baixa variabilidade genética disponível aliada à suscetibilidade dos genótipos atuais ao estresse hídrico tem dificultado maiores avanços em programas de melhoramento genético do tomateiro voltados ao tema.

O objetivo deste trabalho foi estimar a variabilidade genética após dois ciclos de retrocruzamento e selecionar genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse hídrico induzido por manitol.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Análise de Sementes e Recursos Genéticos (LAGEN) e na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no município de Monte Carmelo-MG (18°42'43"S; 47°29'55" W; 873 m de altitude), entre os meses de janeiro de 2013 a julho de 2016.

Para criar a variabilidade genética, em janeiro de 2013 foi realizado o cruzamento interespecífico *Solanum pennellii* (acesso selvagem LA-716) *versus* *Solanum lycopersicum* L. (linhagem pré-comercial UFU-650). A linhagem UFU-650 pertence ao Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia-UFU e possui hábito de crescimento determinado, frutos graúdos (240g) do tipo Santa Cruz e é suscetível ao estresse hídrico. O acesso selvagem LA-716 apresenta hábito de crescimento indeterminado, frutos pequenos (12g) e tolerância ao estresse hídrico (ROUSSEAU et al., 2005; ROCHA et al., 2016). Após a obtenção da geração F₁ (UFU-650 x LA-716) foram realizados o primeiro e segundo retrocruzamentos, nos anos 2014 e 2015, respectivamente.

Em janeiro de 2016 foi realizada a autofecundação das plantas F₁RC₂, obtendo 17 genótipos F₂RC₂. Para verificar a germinação em maio de 2016 as sementes foram submetidas a um pré-teste denominado de germinação padrão (GP), ausente de solução osmótica. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições de 25 sementes e 20 tratamentos, sendo 17 genótipos F₂RC₂: UFU102/F₂RC₂#71115; UFU102/F₂RC₂#71114;UFU102/F₂RC₂#71118;UFU102/F₂RC₂#71117;UFU102/F₂RC₂#7122;UFU102/F₂RC₂#7912;UFU102/F₂RC₂#7139;UFU102/F₂RC₂#7917;UFU102/F₂RC₂#7714;UFU102/F₂RC₂#71813;UFU102/F₂RC₂#71111;UFU102/F₂RC₂#7189;UFU102/F₂RC₂#71013;UFU102/F₂RC₂#791;UFU102/F₂RC₂#7812;UFU102/F₂RC₂#7185;UFU1

02/F₂RC₂#7153; o genitor recorrente UFU-650; o genitor doador, acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*); e a cv. Santa Clara, totalizando 80 parcelas representadas por caixas plásticas transparentes (Gerbox).

Após verificar a GP em cada genótipo, foi realizada nova semeadura visando seleção indireta de famílias segregantes F₂RC₂ aplicando solução de Manitol (-0,3 MPa). A semeadura dos 17 genótipos F₂RC₂, do acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) tolerante ao estresse hídrico, da cv. Santa Clara e da linhagem pré-comercial UFU-650 suscetíveis ao estresse hídrico, foi realizada em caixas plásticas transparentes de 11 x 11 x 3,0 cm com tampa sobre 2 folhas de papel tipo Germitest. O substrato foi previamente umedecido na proporção de 2,5 vezes o seu peso seco com solução Manitol (-0,3 MPa). As caixas plásticas foram vedadas com Parafilm® para reduzir a perda de umidade e acondicionadas em câmara de germinação tipo BOD a 25°C com fotoperíodo de 12 horas. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições de 50 sementes em cada caixa, totalizando 80 parcelas.

Para seleção indireta foram avaliados: **A-** Porcentagem de germinação (%G) na presença da solução osmótica de Manitol (-0,3MPa) no décimo primeiro dia após a semeadura por ocasião do final do experimento, considerando-se germinadas as sementes que emitiram raiz primária. Os resultados foram expressos em porcentagem média com base no número de plântulas normais; **B-** Porcentagem de germinação padrão (%GP): ausente de solução osmótica (testemunha) contabilizando a porcentagem de germinação; **C-** Porcentagem de primeira contagem (%PC) – realizada conjuntamente com o teste de germinação – consistiu do registro das porcentagens de plântulas normais verificadas na primeira contagem do teste de germinação, feita no quinto dia após a semeadura (BRASIL, 2009); **D-** Índice de velocidade de germinação (IVG): calculado pela somatória do número de sementes germinadas a cada dia dividido pelo número de dias decorridos entre a semeadura e a germinação ($IVG = G_1/N_1 + G_2/N_2 + \dots + G_n/N_n$, onde: G_1, G_2, G_n = número de plântulas germinadas na primeira, segunda, até a última contagem e N_1, N_2, N_n = número de semanas desde a primeira, segunda, até a última contagem); **E-** Tempo médio de germinação (TMG): obtido por meio de contagens diárias das sementes germinadas até o décimo primeiro dia após a semeadura e calculado pela seguinte equação: $TMG = \sum (n_i \cdot t_i) / \sum n_i$, em que: TMG é o tempo médio de germinação (dias), n_i é o número de sementes germinadas no intervalo entre cada contagem e t_i é o tempo decorrido entre o início da germinação até a i-ésima contagem; **F-** Comprimento inicial

de radícula (CI, mm): medida realizada (com auxílio de régua milimetrada) no 4º dia após semeadura nas 50 plântulas consideradas normais nas caixas plásticas. Os valores foram somados e obtido a média de cada parcela; **G**- Comprimento final de radícula (CF, mm): medida realizada (com auxílio de régua milimetrada) no 7º dia após semeadura nas 50 plântulas consideradas normais contidas nas caixas plásticas. Os valores foram somados e a média de cada parcela foi obtida; **H**- Também foi determinada a Superioridade relativa (%) de cada população F₂RC₂ para as variáveis porcentagem de germinação (%G) e porcentagem de primeira contagem (%PC) em relação às testemunhas (LA-716; cv. Sta. Clara ou linhagem pré-comercial UFU- 650) por meio da equação: % relativa = [(C₁/C₂) - 1] 100, em que: % relativa: equivale a diferença em porcentagem das populações F₂RC₂ em relação às testemunhas. C₁: equivale à %G ou %PC do genótipo a ser calculado. C₂: equivale à %G ou %PC da testemunha sob a qual deseja-se relacionar a superioridade (LA-716, cv Sta. Clara ou UFU-650).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Lilliefors) e em seguida submetidos a análise de variância por meio do teste F ($\alpha = 0,05$ e $0,01$) em ambos os experimentos. Foi realizado teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$), contrastes ortogonais de interesse empregando o teste Scheffé ($\alpha = 0,05$ e $0,01$), contribuição relativa dos caracteres para diversidade (SINGH, 1981) e agrupamento de otimização de Tocher. Os procedimentos estatísticos foram realizados por meio do programa computacional GENES (CRUZ, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após indução do estresse hídrico pode-se observar entre os genótipos avaliados diferenças significativas para germinação, primeira contagem, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação, comprimento inicial e comprimento final (Tabela 1).

TABELA 1. Porcentagem de germinação padrão (%GP) ausente de solução osmótica, porcentagem de germinação (%G), porcentagem de primeira contagem (%PC), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG, dias), comprimento inicial (CI, mm), comprimento final (CF, mm) em genótipos de tomateiro sob potencial osmótico de -0,3 MPa induzido por manitol. Monte Carmelo, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

	Genótipo (x)	%GP	% G	%PC	IVG	TMG (Dias)	CI (mm)	CF (mm)
T1	UFU102/F ₂ RC ₂ #71115	90 a	91,5 a	73,5 a	11,7 a	4,4 a	5,2 a	25 a
T2	UFU102/F ₂ RC ₂ #71114	92 a	91 a	77 a	11,3 a	4,6 a	4,2 a	21,5 a
T3	UFU102/F ₂ RC ₂ #7118	94 a	85,5 a	73 a	11,2 a	4,3 a	3,5 b	19,2 a
T4	UFU102/F ₂ RC ₂ #7117	83 b	77 b	61,5 a	9,4 a	4,8 a	4,4 a	15,5 b
T5	UFU102/F ₂ RC ₂ #7122	84 b	76 b	39,5 b	10,1 a	5,1 a	2,1 c	13,3 b
T6	UFU102/F ₂ RC ₂ #7912	91 a	74,5 b	44 b	7,7 b	5,7 b	1,6 c	14,2 b
T7	UFU102/F ₂ RC ₂ #7139	88 a	70,5 b	50 b	7,5 b	5,2 a	2,5 b	14,4 b
T8	UFU102/F ₂ RC ₂ #7917	85 b	70 b	47,5 b	8 b	4,9 a	2,4 b	16,9 b
T9	LA-716	98 a	66,5 b	45 b	7,6 b	5,2 a	1 d	9,3 c
T10	UFU102/F ₂ RC ₂ #7714	73 b	65 b	50 b	7,6 b	4,9 a	3,3 b	10,1 c
T11	UFU102/F ₂ RC ₂ #71813	77 b	53,5 c	40 b	8,1 b	4,8 a	2,6 b	7,8 c
T12	UFU102/F ₂ RC ₂ #71111	81 b	53 c	27,5 c	4,9 c	5,9 b	0,3 d	8,5 c
T13	UFU102/F ₂ RC ₂ #7189	71 b	49 c	26,5 c	5,4 c	5,7 b	2 c	6,8 c
T14	UFU102/F ₂ RC ₂ #71013	67 c	49 c	19,5 c	5,3 c	6,1 b	0,5 d	4,3 d
T15	UFU-650	88 a	42 c	12,5 d	3,5 d	6,4 b	0,3 d	6 c
T16	UFU102/F ₂ RC ₂ #791	65 c	38,5 d	17,5 c	4,7 c	5,7 b	0,8 d	5,8 c
T17	UFU102/F ₂ RC ₂ #7812	81 b	36,5 d	17,5 c	3,3 d	6,3 b	0,3 d	1,7 d
T18	UFU102/F ₂ RC ₂ #7185	64 c	29,5 d	20 c	4,1 c	5,4 a	1,2 c	2,5 d
T19	UFU102/F ₂ RC ₂ #7153	93 a	29 d	5 d	2,2 d	7,4 c	0,1 d	2,6 d
T20	cv. Santa Clara	83 b	27 d	4,5 d	2,1 d	7,2 c	0,2 d	3,2 d
Contrastes de interesse (y)		Estimativas dos contrastes						
C1=	[(T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T10+T11+T12+T13+T14+T16+T17+T18+T19)/17]-(T9)	16,9 ^{ns}	5,4 ^{ns}	4,4 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,2 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,9 ^{ns}
C2=	[(T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T10+T11+T12+T13+T14+T16+T17+T18+T19)/17]-(T15+T20/2)	4,4 ^{ns}	26,6 ^{**}	32,1 ^{**}	4,4 ^{**}	1,5 ^{**}	1,9 ^{ns}	6,6 ^{ns}
C3=	[(T1+T2/2)]-(T9)	7,0 ^{ns}	24,8 ^{ns}	30,3 ^{ns}	3,9 ^{ns}	0,7 ^{ns}	3,7 [*]	14,0 ^{**}
C4=	[(T1+T2/2)]-(T15+T20/2)	5,5 ^{ns}	56,8 ^{**}	66,8 ^{**}	8,7 ^{**}	2,3 ^{**}	4,4 ^{**}	18,6 ^{**}

(x) Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si, a 0,05 de probabilidade pelo teste de Scott-Knott;(y)**, *- significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e ns - não significativo, respectivamente, pelo teste Scheffé{(x)}

O acesso selvagem tolerante ao estresse hídrico (*S. pennellii*) apresentou diferenças significativas em relação à testemunha suscetível (linhagem pré-comercial UFU-650) para a maioria das variáveis avaliadas, exceto para comprimento inicial e final da radícula. O acesso *S. pennellii* também apresentou maior tolerância ao estresse hídrico comparativamente a *cv.* Santa Clara em todas as características avaliadas, exceto no comprimento inicial. Considerando as variáveis %G e %PC (Tabela 2), o acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) apresentou superioridade relativa em relação a *cv.* Santa Clara de 146,3% e 900%, respectivamente. Na figura 1 é possível observar a maior porcentagem de germinação do acesso LA-716 em relação as duas testemunhas suscetíveis.



FIGURA 1. *cv.* Santa Clara; *Solanum pennellii*; UFU-650 (7º dia após semeadura).

O acesso *S. pennellii* também apresentou superioridade em relação à linhagem pré-comercial UFU-650, sendo de 58,3% para a variável %G e 260,0% para a variável %PC. Esses resultados comprovam que o estresse hídrico induzido por manitol no nível de potencial osmótico de -0,3 MPa proporciona eficiência na seleção dos genótipos tolerantes em tomateiro. Custódio et al. (2010) verificou em seu trabalho que os potenciais 0; -0,3; -0,6 e -0,9 MPa da solução não promoveram diferenças de germinação em sementes de feijão. Em contrapartida Ávila et al. (2007), trabalhando com sementes de canola, observou que quando as sementes foram submetidas até o nível de potencial osmótico de -0,25 Mpa, estas apresentaram germinação satisfatória e que a partir desse nível de potencial osmótico ocorreu redução significativa na germinação. O fato da *cv.*

Santa Clara estar entre os piores desempenhos em relação a todos os genótipos avaliados confirma a suscetibilidade quanto ao estresse hídrico. Por outro lado, a superioridade de alguns genótipos foi comprovada ao analisar a superioridade relativa entre os genótipos F₂RC₂ *versus* testemunhas suscetíveis e resistente (Tabela 2).

TABELA 2. Superioridade relativa dos 17 genótipos em relação as testemunhas, acesso selvagem *S. pennellii* (LA-716), *cv.* Santa Clara e linhagem pré-comercial UFU-650. Monte Carmelo, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

Genótipo		SR (G%) LA-716	SR (PC%) LA-716	SR (G%) <i>cv.</i> Sta. Clara	SR (PC%) <i>cv.</i> Sta Clara	SR(G%)UFU- 650	SR (PC%) UFU-650
T1	UFU102/F ₂ RC ₂ #71115	37,6	63,3	238,9	1533,3	117,9	488,0
T2	UFU102/F ₂ RC ₂ #71114	36,8	71,1	237,0	1611,1	116,7	516,0
T3	UFU102/F ₂ RC ₂ #71118	28,6	62,2	216,7	1522,2	103,6	484,0
T4	UFU102/F ₂ RC ₂ #71117	15,8	36,7	185,2	1266,7	83,3	392,0
T5	UFU102/F ₂ RC ₂ #7122	14,3	-12,2	181,5	777,8	81,0	216,0
T6	UFU102/F ₂ RC ₂ #7912	12,0	-2,2	175,9	877,8	77,4	252,0
T7	UFU102/F ₂ RC ₂ #7139	6,0	11,1	161,1	1011,1	67,9	300,0
T8	UFU102/F ₂ RC ₂ #7917	5,3	5,6	159,3	955,6	66,7	280,0
T9	LA-716	0,0	0,0	146,3	900,0	58,3	260,0
T10	UFU102/F ₂ RC ₂ #7714	-2,3	11,1	140,7	1011,1	54,8	300,0
T11	UFU102/F ₂ RC ₂ #71813	-19,5	-11,1	98,1	788,9	27,4	220,0
T12	UFU102/F ₂ RC ₂ #71111	-20,3	-38,9	96,3	511,1	26,2	120,0
T13	UFU102/F ₂ RC ₂ #7189	-26,3	-41,1	81,5	488,9	16,7	112,0
T14	UFU102/F ₂ RC ₂ #71013	-26,3	-56,7	81,5	333,3	16,7	56,0
T15	UFU-650	-36,8	-72,2	55,6	177,8	0,0	0,0
T16	UFU102/F ₂ RC ₂ #791	-42,1	-61,1	42,6	288,9	-8,3	40,0
T17	UFU102/F ₂ RC ₂ #7812	-45,1	-61,1	35,2	288,9	-13,1	40,0
T18	UFU102/F ₂ RC ₂ #7185	-55,6	-55,6	9,3	344,4	-29,8	60,0
T19	UFU102/F ₂ RC ₂ #7153	-56,4	-88,9	7,4	11,1	-31,0	-60,0
T20	<i>cv.</i> Santa Clara	-59,4	-90,0	0,0	0,0	-35,7	-64,0

Os acessos UFU102/F₂RC₂#71115 e UFU102/F₂RC₂#71114 apresentaram maior tolerância ao estresse hídrico em relação aos demais genótipos. Esses apresentaram superioridade em relação a *cv.* Santa Clara de 238,9% e 237,0 % respectivamente para %G e de 1533,1% e 1611,1% para %PC (Tabela 2). Em relação à linhagem pré-comercial UFU-650 esses genótipos também apresentaram superioridade de 117,9% e 116,7% para

a variável %G e de 488,0% e 516% para a variável %PC. Não só em relação às duas testemunhas suscetíveis, mas na geração F₂RC₂, foi possível identificar acessos que foram superiores em relação ao genitor recorrente doador da característica em questão, entre os quais estão os acessos UFU102/F₂RC₂#71115 e UFU102/F₂RC₂#71114 que apresentaram superioridade de 37,6% e 36,8% para a variável %G e de 63,3% e 71,1% para %PC.

Pode-se verificar também que de forma majoritária ocorreu uma queda na %G quando as sementes foram induzidas ao estresse hídrico e isso ocorreu pela redução na disponibilidade de água requerida para a ativação e manutenção do metabolismo das sementes (BEWLEY et al., 2013).

Após analisado a significância dos contrastes de interesse (Tabela 1), pode-se observar que o C1 e C3 majoritariamente não foram significativos. Isso demonstra que os genótipos F₂RC₂ de tomateiro foram semelhantes em relação ao genitor recorrente LA-716 e indica que o programa de melhoramento apresentou resultado satisfatório referente a progressos na seleção, uma vez que os novos genótipos trazem consigo alelos do genitor recorrente que caracterizam a tolerância ao estresse hídrico. Já no C2 pôde-se observar que as médias obtidas pelos genótipos foram em sua maioria superiores as médias das testemunhas suscetíveis *cv.* Santa Clara e linhagem pré-comercial UFU-650. Ao avaliar o C4 para as variáveis analisadas sob estresse induzido, observa-se que para todas as características as médias dos tratamentos foram superiores às testemunhas UFU-650 e *cv.* Sta. Clara. Os resultados obtidos pelos contrastes reforçam a eficiência de seleção de genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse hídrico a partir de soluções obtidas com manitol e indicam que os genótipos UFU102/F₂RC₂#71115 e UFU102/F₂RC₂#71114 foram promissores em relação à tolerância ao estresse hídrico.

Mediante a análise de agrupamento pelo método de otimização de Tocher (Tabela 3) os genótipos foram separados em 5 grupos. A formação dos grupos indica que houve variabilidade entre os genótipos estudados. Nove genótipos foram agrupados no grupo I e dentro dele estão as duas testemunhas suscetíveis (*cv.* Santa Clara e linhagem pré-comercial UFU-650), o que indica que esses genótipos são potencialmente suscetíveis ao estresse hídrico.

TABELA 3. Padrão de agrupamento de 20 genótipos de tomateiro com base na divergência genética. Monte Carmelo, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

Grupo	Número de Genótipos	Genótipos
I	9	UFU102/F ₂ RC ₂ #7153, cv. Santa Clara, UFU 650, UFU102/F ₂ RC ₂ #7812, UFU102/F ₂ RC ₂ #791, UFU102/F ₂ RC ₂ #7189, UFU102/F ₂ RC ₂ #71013, UFU102/F ₂ RC ₂ #71111, UFU102/F ₂ RC ₂ #7185
II	8	UFU102/F ₂ RC ₂ #7139, UFU102/F ₂ RC ₂ #7917, UFU102/F ₂ RC ₂ #7912, UFU102/F ₂ RC ₂ #7117, UFU102/F ₂ RC ₂ #7714, LA 716, UFU102/F ₂ RC ₂ #7118, UFU102/F ₂ RC ₂ #71114
III	1	UFU102/F ₂ RC ₂ #71115
IV	1	UFU102/F ₂ RC ₂ #71813
V	1	UFU102/F ₂ RC ₂ #7122

O grupo II foi composto por 8 genótipos e entre eles está a testemunha resistente LA-716 (*S. pennellii*) doadora da característica de tolerância ao estresse hídrico. Diante disso, pode-se afirmar que estes 7 genótipos (UFU102/F₂RC₂#7139, UFU102/F₂RC₂#7917, UFU102/F₂RC₂#7912, UFU102/F₂RC₂#7117, UFU102/F₂RC₂#7714, UFU102/F₂RC₂#7118, UFU102/F₂RC₂#71114) apresentaram níveis satisfatórios de tolerância ao estresse hídrico que os enquadram no mesmo grupo. No entanto, isso não indica que esses genótipos foram os melhores para essa característica. Ao observarmos o teste de médias (Tabela 1) o genótipo UFU102/F₂RC₂#71115 foi um dos que apresentou os melhores resultados para ambas as características estudadas e, ao verificar a formação dos grupos, pode-se observar que esse genótipo apresentou-se de forma isolada compondo o grupo III. Isso demonstra que a separação dos grupos pelo método Tocher evidenciou um genótipo com características melhores do que o doador da tolerância em questão. Esse resultado pode ser explicado pela segregação transgressiva que ocorre quando os fenótipos de uma geração segregante excedem os limites estabelecidos pelos valores parentais correspondentes devido à formação de novas combinações gênicas nas quais o balanço de forças presentes nos genótipos parentais é quebrado pela recombinação (GRANT, 1964). Assim, sugere-se

que o genótipo UFU102-F₂RC₂-71115 foi o mais promissor para utilização em futuros programas de melhoramento genético de tomateiro visando níveis satisfatórios de resistência ao estresse hídrico. A média aglomerada dos 20 genótipos (Tabela 4) revelou que o genótipo UFU102/F₂RC₂#71115, que formou sozinho o grupo III, expressa a maior média para %G (91,5%), %PC (73,5%), IVG (11,7), CI (5,2 mm) e CF (25,0 mm) e também apresentou o menor tempo médio de germinação (4,4 dias).

TABELA 4. Média aglomerada de 20 genótipos de tomateiro em função de 6 características. Monte Carmelo, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

	I	II	III	IV	V
% G	39,3	75,0	91,5	53,5	76,0
%PC	16,7	56,0	73,5	40,0	39,5
IVG	3,9	8,8	11,7	8,1	10,1
TMG (Dias)	6,2	4,9	4,4	4,8	5,1
CI (mm)	0,6	2,8	5,2	2,6	2,1
CF (mm)	4,6	15,1	25,0	7,8	13,3

O grupo II que compõe os genótipos semelhantes ao *S.pennelli* apresentaram a segunda maior média para %PC (56%), CI (2,8 mm) e CF (15,1 mm). O grupo V apresentou a segunda maior média para %G (76%), semelhante ao grupo II (75%). O grupo IV apresentou o segundo menor TMG variável, o qual é importante para detectar a rapidez das sementes em germinar e consequentemente, em se estabelecer num determinado local (FERREIRA et al., 2001; BORGHETTI e FERREIRA, 2004). O grupo I no qual se agruparam as testemunhas suscetíveis apresentou os menores valores para %G, %PC, IVG, CI, CF e maior valor para TMG. Isso indica que esses genótipos são suscetíveis ao estresse hídrico. Segundo Kramer (1974), o declínio no crescimento das plântulas sob estresse hídrico é devido à redução da expansão celular. Ao diminuir a pressão de turgor, o estresse hídrico afeta a expansão e o crescimento celular, o que interfere no metabolismo, crescimento e estabelecimento das plântulas (JALEEL et al. 2009).

As características com maiores contribuições relativas para a avaliação da diversidade dos acessos (Tabela 5) foram, segundo o método de Singh (1981), % de germinação, índice de velocidade de germinação e comprimento final.

Tabela 5. Contribuição relativa dos caracteres %G, IVG, CF (mm), %PC, TMG, CI (mm) para diversidade – SINGH (1981).

Variável	S.J	Valor em %
%G	1.387,8	33,9
IVG	771,5	18,9
CF (mm)	697,0	17,0
%PC	518,3	12,7
TMG (Dias)	445,7	10,9
CI (mm)	270,3	6,6

Sugestão de variável para descarte: CI

A variável %G contribuiu na diferenciação dos genótipos em 33,9%, sendo este o critério mais importante. Ao observar a média dos grupos (Tabela 4) para %G é possível verificar que os genótipos foram expressivamente distintos, possuindo uma variabilidade de 39,3% no grupo I a 91,5% no grupo III. As variáveis que proporcionaram as menores contribuições, com menores valores de importância relativa foram % de primeira contagem, tempo médio de germinação e comprimento inicial. A variável CI foi a que teve uma menor contribuição. Ao avaliar as médias dos grupos (Tabela 5) pode-se observar que os genótipos foram homogêneos, apresentando uma variabilidade de apenas 4,6 mm. Essa característica contribuiu com apenas 6,6%, sendo esta apontada como passível de descarte.

4. CONCLUSÃO

O genótipo UFU102/F₂RC₂#71115 foi o mais tolerante sob estresse hídrico. Por esse motivo, sugere-se o seu uso em futuros programas de melhoramento genético de tomateiro visando níveis satisfatórios de tolerância ao estresse por deficiência hídrica.

Houve variabilidade genética entre os acessos avaliados sob estresse hídrico.

A variável %G indicou ser a mais importante para diferenciação dos genótipos após exposição a condições de estresse hídrico induzido por manitol e a variável Ci foi sugerida como descarte.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Informa economics, São Paulo: FNP. South America, 2016. 456 p.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455p.
- ÁVILA, M. R. et al. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 98-106, 2007.
- BERENGUER, A. F. **Estresse hídrico induzido por manitol para seleção de genótipos de tomateiro**. 2015. 20 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia: Área de concentração Melhoramento genético) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2015.
- BEWLEY, J. D. et al. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. 392 p.
- BORGHETTI, F.; FERREIRA, A. G. **Interpretação de resultados de germinação**. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.). Germinação do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed. 2004, 209-222 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. 2009. **Regras para análise de sementes**. Brasília. 395 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/2946_regras_analise__sementes.pdf> Acesso em: 20 jan. 2016.
- BRAY, E. A. Genes commonly regulated by water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 407, p. 2331-2341, 2004.
- COELHO, D. L. M. et al. Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e expressão diferencial de proteínas durante a germinação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 03, p. 491-499, 2010.
- COSTA, R. C. L. et al. Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata*(L.) Walp. cultivars under water stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 7, n. 1, p. 98- 101, 2008.
- CRUZ, C. D. GENES- A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- CUSTÓDIO, C. C.; SALOMÃO G. R.; MACHADO NETO, N. B. Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de feijão submetidas à diferentes soluções osmóticas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 617-623, 2009.
- ECHER, F. R. et al. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 638-645, 2010.

- FERREIRA, A. G. et al. Germinação de sementes de Asteraceae nativas no Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.15, n. 2, p. 231- 24, 2001.
- GIROTTI, L. et al. Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 192-199, 2012.
- GRANT, V. **The architecture of the germplasm**. New York: John Wiley & Sons, cap. 4. 1964.
- HEINE, A. J. M. et al. Número de haste e espaçamento na produção e qualidade do tomate. Stem number and spacing in tomato yield and quality. **Scientia plena**, São Cristóvão, v. 11, n. 9, 2015.
- HOLTAN, H. E. E.; HAKE, S. Quantitative trait locus analysis of leaf dissection in tomato using *Lycopersicon pennellii* segmental introgression lines. **Genetics**, v. 165, p. 1541–1550, 2003.
- JALEEL, C.A. et al. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. **Acta Physiologia e Plantarum**, [S.l], v. 31, n. 3, p. 427–436, 2009.
- KRAMER, P. J. Fifty years of progress in water relations research. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 54, n. 4, p. 463-471, 1974.
- MELO, P. C.T. de. Produção de sementes de tomate. In NASCIMENTO, W. M. **Produção de sementes de hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2014. v. 2, cap 8, p. 235-266.
- PELEGRINI, L. L. et al. Efeito do estresse hídrico simulado com NaCl, manitol e PEG (6000) na germinação de sementes de *Erythrina falcata* Benth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 511-519, 2013.
- ROCHA, D. K. et al. Seleção de genótipos de tomateiro submetidos ao estresse hídrico em função da expressão de características fisiológicas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife. v. 11, n. 2, p. 80-84, 2016.
- ROUSSEAU, M. C. et al. QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. **Theoretical and Applied Genetics**, [S.l], v. 111, p. 1396-1408, 2005.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, New Delhi. v. 11, n. 2, p. 237-245. 1981.
- TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas**. 2º ed. São Paulo, SP: 2010. 408 p.
- SOARES, M. M. et al. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesqui. Agropecu. Trop.**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 370-378. 2015.

CAPÍTULO III

TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE TOMATEIRO TOLERANTES AO ESTRESSE POR DEFICIÊNCIA HÍDRICA

TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE TOMATEIRO TOLERANTES AO ESTRESSE POR DEFICIÊNCIA HÍDRICA

RESUMO

A cultura do tomateiro adapta-se a diversas condições climáticas, no entanto o déficit hídrico pode afetar a produção. Várias pesquisas têm comprovado a eficiência da seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico a partir de parâmetros fisiológicos, porém a utilização destas avaliações na seleção de tomateiro são escassas. Objetivou-se neste trabalho estudar as variáveis relacionadas às trocas gasosas e eficiência do uso da água na seleção de genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse por deficiência hídrica. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições e oito tratamentos, sendo 5 genótipos F₂RC₁ provenientes do cruzamento interespecífico entre *Solanum pennellii* e *Solanum lycopersicum* e três testemunhas, duas suscetíveis (linhagem pré-comercial UFU-222; cv. Santa Clara); e uma resistente (*S. pennellii*). O experimento foi conduzido em ambiente protegido com monitoramento da densidade de fluxo ($W\ m^{-2}$), radiação solar global (Q_g), temperatura do ar ($^{\circ}C$), umidade relativa do ar (%) e o potencial mátrico no substrato (kPa). As características fisiológicas coletadas foram: temperatura foliar (T_{leaf}), CO_2 interno (C_i), transpiração (E), condutância estomática (g_s) e assimilação de CO_2 (A), determinadas pelo analisador portátil de gás no infravermelho – IRGA; níveis de clorofila a e b , utilizando-se um medidor portátil de clorofila clorofiLOG (CFL-1030, Falker) e o potencial hídrico foliar (Ψ) com o uso de uma câmara de pressão tipo Scholander (SoilMoisturemodel3000). Todos os parâmetros avaliados apresentaram valores significativos entre os genótipos. A tolerância ao estresse hídrico do acesso selvagem *Solanum pennellii* não é determinada exclusivamente por caracteres morfo-anatômicos, podendo ser caracterizada por medidas gasosas e de potencial hídrico foliar (Ψ) sendo a eficiência instantânea no uso da água possivelmente a principal variável resposta que caracteriza esse acesso. A população UFU22/F₂RC₁#2 se destacou entre as demais como a mais promissora, apresentando elevadas taxas fotossintéticas associadas à baixa condutância estomática e transpiração.

PALAVRAS-CHAVE: IRGA, clorofila, potencial hídrico.

GAS EXCHANGE AND WATER USE EFFICIENCY IN TOMATO GENOTYPES SELECTION TOLERANT TO STRESS BY WATER DEFICIENCY

ABSTRACT

The tomato crop can be adapted to different climatic conditions, however the water stress can affect production. Several researches have proven the efficiency of selection of genotypes tolerant to water stress from physiological parameters, but the use of these assessments in tomato selection are scarce. This experiment aimed to study variables related to gas exchange and efficiency of water use in the selection of tomato genotypes tolerant to stress by water deficiency. The test was carried out in a completely randomized design with three replications and eight treatments, five F₂RC₁ which were obtained from an interespecific cross between *Solanum pennellii* and *Solanum lycopersicum* L. and three genotypes as check treatments, two susceptible (pre-commercial line UFU-222; *cv* Santa Clara.); and a resistant (*S. pennellii*). The experiment was conducted in a greenhouse with flux density monitoring (W m⁻²), solar radiation (Qg), air temperature (°C), relative humidity (%) and the matric potential in the substrate (kPa). The collected physiological characteristics were: leaf temperature (Tleaf), internal CO₂ (Ci), transpiration (E), stomatal conductance (gs) and CO₂ assimilation (A), determined by portable gas analyzer infrared - IRGA; Chlorophyll levels *a* and *b* by using a hand-held chlorophyll meter clorofiLOG (CFL-1030, Falker) and leaf water potential (Ψ) using a pressure chamber type Scholander (SoilMoisturemodel3000). All parameters showed significant values among genotypes. The water stress tolerance of wild accession *Solanum pennellii* is not determined solely by morphological and anatomical characters, it can be characterized by gas measurements and leaf water potential (Ψ) and the instantaneous efficiency in water use is possibly the main variable response that characterizes this access. The population UFU22/F₂BC₁#2 was highlighted among the others as the most promising, featuring high photosynthetic rates associated with low stomatal conductance and transpiration.

KEYWORDS: IRGA, chlorophyll, water potential.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) possui relevante aspecto econômico e social no mundo (HEINE et al., 2015), sendo que o Brasil está entre os 10 maiores produtores (AGRIANUAL, 2016). A cultura se adapta a diversas condições climáticas (ALVARENGA, 2013), porém a ocorrência de estresses abióticos, como o estresse hídrico, é um dos maiores problemas que afetam a produção desta hortaliça (YAVUZET et al., 2007; BIRHANU; TILAHUN, 2010; ÖZBAHÇE et al., 2012; AKSIC et al., 2011; CELEBI, 2014). Ao longo do ciclo essa hortaliça necessita de aproximadamente 700 mm de água (MELO, de., 2014) e o déficit hídrico pode interferir no desenvolvimento e na produtividade das plantas (BRAY 2004).

Nas regiões áridas e semiáridas os conflitos pelo uso da água se tornaram um fator limitante, no entanto esta realidade também é observada em regiões que possuem recursos hídricos abundantes porém incapazes de suprir a elevada demanda (TELLES; COSTA, 2010). Além disso, culturas exigentes em irrigação possuem gastos relevantes com energia. Nesse sentido, desenvolver genótipos com tolerância ao estresse hídrico se torna uma estratégia de menor custo e maior eficiência em regiões de déficit hídrico (GIROTTI et al., 2012) e uma alternativa para reduzir despesas com irrigação.

O processo de domesticação do tomateiro levou à escassez de genótipos que apresentam tolerância ao estresse hídrico (ALVARENGA, 2004). No entanto, o acesso selvagem LA-716 (*Solanum pennellii*), apesar de não possuir boas características agronômicas, apresenta maior eficiência no uso da água em relação a cultivares comerciais (ROCHA et al., 2016). Com o melhoramento genético é possível o resgate de características agronômicas através do cruzamento interespecífico seguido de três retrocruzamentos com *background* de interesse (MACIEL et al., 2010; MALUF et al., 2011; MACIEL et al., 2011).

Métodos diretos para seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico são onerosos e demandam mais tempo de execução, o que faz com que os métodos indiretos sejam mais atrativos. Várias pesquisas têm comprovado a eficiência de seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico a partir da utilização de diferentes técnicas, como sintomas visuais, balanço da água no solo, fluxo de seiva, condutância estomática, análises de trocas gasosas, troca de vapor de água e CO₂ entre a folha e atmosfera (BIRHANU; TILAHUN, 2010; AKSIC et al., 2011; CELEBI, 2014; BEGUM et al.,

2012; ROCHA et al., 2016). No entanto a utilização destas avaliações na seleção de genótipos de tomateiro são escassas.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar variáveis relacionadas às trocas gasosas e eficiência do uso da água na seleção de genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse por deficiência hídrica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Hortaliças (18°42'43,19" S e 47°29'55,8" W, 873 m de altitude) e no LAGEN (Laboratório de Análise de Sementes e Recursos Genéticos) da Universidade Federal de Uberlândia-UFU, *Campus* Monte Carmelo, no período de maio de 2013 a agosto de 2016.

O material genético utilizado foi proveniente do Banco de Germoplasma de Hortaliças da UFU. As populações segregantes avaliadas foram provenientes do cruzamento interespecífico entre a linhagem UFU-222 (*S. lycopersicum*) *versus* acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*). UFU-222 é uma linhagem pré-comercial, apresenta frutos pequenos (>18g), 9º brix e é suscetível ao estresse hídrico. O acesso selvagem *S. pennellii* possui alto teor de açúcares, frutos pequenos (15g) e tolerante ao déficit hídrico (ROCHA et al., 2016).

Para a seleção de plantas tolerantes ao estresse hídrico utilizaram-se cinco populações F₂RC₁ provenientes da autofecundação do primeiro retrocruzamento F₁RC₁: UFU22/F₂RC₁#8, UFU22/F₂RC₁#9, UFU47/F₂RC₁#11, UFU22/F₂RC₁#2, UFU22/F₂RC₁#3 e as testemunhas *cv.* Santa Clara, linhagem pré-comercial UFU-222 e o acesso selvagem *S. pennellii* (ROCHA et al., 2016).

A semeadura dos genótipos foi realizada no dia 05 de maio de 2016, em bandejas de poliestireno de 200 células preenchidas com substrato à base de fibra de coco. Após 35 dias foi realizado o transplântio em vasos plásticos de 5 L contendo o mesmo substrato utilizado para produção das mudas. As plantas foram conduzidas em casa de vegetação do tipo arco, com dimensões de 7 x 21 m e pé direito de 4 metros, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micra, aditivado contra raios ultravioleta e cortinas laterais de tela branca anti-afídeos. Os tratos culturais foram realizados conforme recomendações para a cultura até o final do experimento (FILGUEIRA, 2008). Foi utilizado o

delineamento inteiramente casualizado (DIC), contendo três repetições, totalizando 24 parcelas. Cada parcela foi representada por uma planta.

As condições meteorológicas no interior da casa de vegetação foram monitoradas com uma estação meteorológica automática (Figura 2), sendo assim monitoradas a densidade de fluxo ($W\ m^{-2}$) da radiação solar global (Q_g) através de piranômetro de fotodiodo de silício (NRLITE - Campbell Sci.) e a temperatura ($^{\circ}C$) e umidade relativa do ar (%) através de sensor Vaissala (HMP45C - Campbell Sci.). Os sensores foram instalados no vão central da casa de vegetação acima do dossel da cultura e ligados a um sistema de aquisição de dados (Datalogger CR1000 - Campbell Sci.), os quais foram armazenados em intervalos de 15 minutos (valores médios ou integrados).

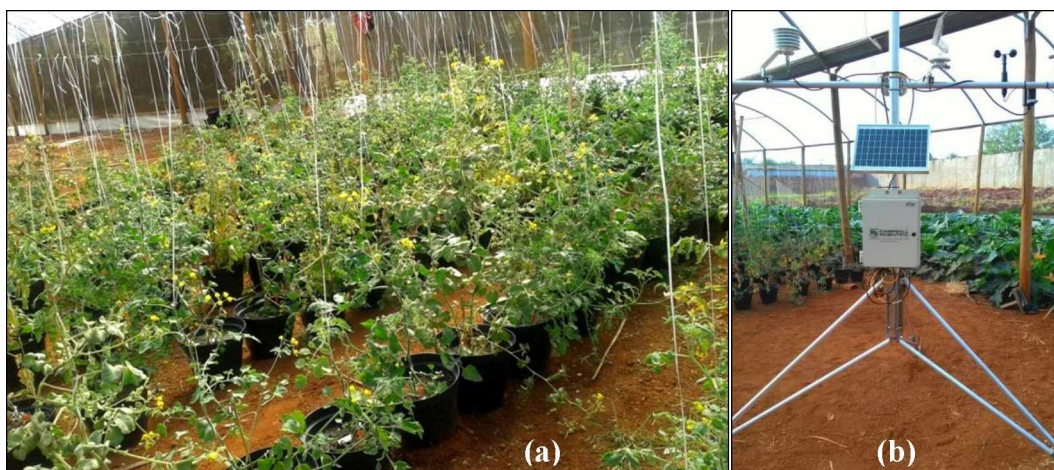


FIGURA 2. (a) Distribuição dos vasos na casa de vegetação. (b) Estação meteorológica automática instalada no interior da casa de vegetação.

Foram instalados tensiômetros em cada parcela (Figura 3) 20 dias antes da avaliação (98 DAS) para monitorar a tensão da água no substrato. As irrigações foram feitas de forma graduada, mantendo a umidade do substrato em condições ótimas (-10kPa). A partir de 116 DAS (pleno florescimento) as plantas foram submetidas a uma condição de déficit hídrico, induzindo a tensão de água no substrato à -30 kPa por meio da suspensão da irrigação. Em 31 de Agosto (118 DAS) foram realizadas as avaliações de trocas gasosas, índice de clorofila e potencial hídrico foliar.



FIGURA 3. Tensiômetros instalados em cada parcela 20 dias antes da avaliação (11/08/2016) para monitoramento da tensão de água no substrato.

Os parâmetros de trocas gasosas foram verificados em três folhas do terço médio de uma planta em cada parcela no horário da manhã (± 8 h), utilizando o equipamento Infra Red Gas Analyzer (IRGA, modelo LCA-4, Analytical Development Co., Hoddesdon, Inglaterra) (Figura 4). Foram obtidos: assimilação de CO_2 (A), CO_2 interno (C_i), condutância estomática (gs), transpiração (E) e temperatura foliar (T). A eficiência instantânea do uso da água (EUA) foi calculada a partir da razão entre a assimilação de CO_2 e a transpiração foliar (A/E), a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) foi calculada a partir da razão entre a assimilação de CO_2 e a condutância estomática (A/gs) e a eficiência instantânea de carboxilação (EIC) através da razão entre a assimilação de CO_2 e o CO_2 interno (A/C_i). Os valores foram somados e obtido a média de cada parcela.



FIGURA 4. Análise das trocas gasosas nos tomateiros submetidos ao estresse hídrico com o uso do IRGA no dia 31/08/2016.

Os níveis de clorofila *a* e *b* foram analisados em duas folhas do terço médio das plantas utilizando-se um medidor portátil de clorofila clorofiLOG (CFL-1030, Falker), que fornecem medições relativas do total de clorofila (0 a 100), mas que se correlaciona linearmente com o teor de clorofila total (RIGON et al., 2012). Os valores foram somados e obtido a média de cada parcela.

O potencial hídrico foliar (Ψ) foi medido antes do amanhecer (± 5 h) com o uso de uma câmara de pressão tipo Scholander (SoilMoisturemodel3000) (Figura 5), sendo para isso utilizadas cinco folhas do terço médio da planta. Posteriormente os valores foram somados e obtido a média de cada parcela.



FIGURA 5. Avaliação do potencial hídrico foliar (Ψ) com o uso da câmara de Scholander realizadas na manhã do dia 31/08/2016.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Lilliefors) e em seguida à análise de variância, sendo as somas dos quadrados médios comparadas pelo teste F ($\alpha = 0,05$). Para comparação das médias foi utilizado o teste Tukey ($\alpha = 0,05$) utilizando o programa GENES (CRUZ, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A disponibilidade hídrica no substrato não foi restritiva para demanda hídrica das plantas (média abaixo de -10 kPa) até o momento da imposição do déficit. Após dois dias

da imposição do déficit hídrico, no momento das avaliações fisiológicas, o substrato estava submetido à tensão moderada (média acima de -25 kPa), garantindo que as plantas estivessem submetidas a um déficit hídrico moderado para substrato (Figura 6). Marouelli, et al. (2005) indicaram que para tomateiro cultivado em substrato à base de fibra de coco, após 28 horas da suspensão da irrigação, ocorre estresse hídrico que promove a perda de turgidez das plantas.

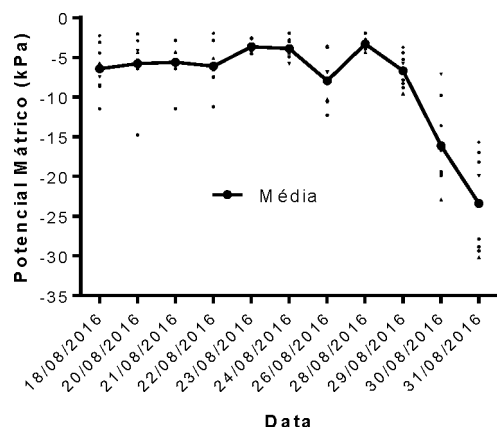


FIGURA 6. Potencial mátrico (kPa) da água no substrato durante o período de 18 a 31/08/2016.

Em relação às condições meteorológicas no interior da casa de vegetação, a temperatura média observada foi de 23,4°C, variando entre 15,9 e 33,6°C, estando os mesmos na faixa ideal para o desenvolvimento da cultura (entre 10 e 34°C) (ALVARENGA, 2004). A umidade relativa média do período foi de 60,3%, variando entre 33,5 e 86,4%. A média da radiação solar global e déficit de pressão de vapor observadas foram 167 W.m⁻² e 1,38 kPa (Figura 7).

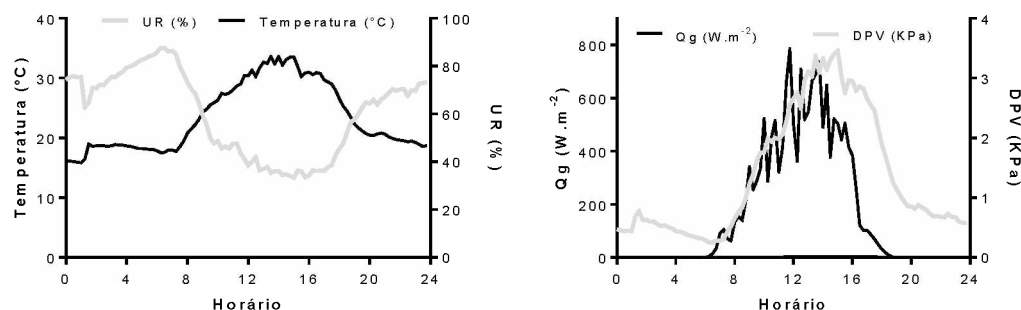


FIGURA 7. Temperatura (°C), Umidade relativa (%), Radiação Solar Global (W.m⁻²), Déficit de pressão de vapor (kPa), monitorados no dia 31/08/16.

Endres et al. (2010) sugerem que a relação entre temperatura foliar e ambiente pode ser usada como indicador das condições hídricas da planta o qual, devidamente obtido, pode ser utilizado para indicar o estresse hídrico. Ao analisar a temperatura foliar verifica-se que a *cv.* Santa Clara apresentou uma temperatura 20% superior à temperatura foliar do acesso selvagem (*S. pennellii*), sendo que neste as folhas estavam aproximadamente 3 °C abaixo da temperatura foliar média observada. Os genótipos das populações UFU22/F₂RC₁#9, UFU47/F₂RC₁#11 e linhagem pré-comercial UFU-222 tiveram comportamento semelhante ao observado para a variedade comercial (*cv.* Santa Clara), enquanto que o genótipo da população UFU22/F₂RC₁#8 apresentou comportamento semelhante ao acesso selvagem (Tabela 6).

TABELA 6. Médias de Tleaf - temperatura foliar (°C), gs - condutância estomática (mol m⁻² s⁻¹), E - transpiração (mmol m⁻² s⁻¹), Ci – CO₂ interno (mmol m⁻² s⁻¹), A - assimilação de CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹), A/E - eficiência instantânea do uso de água (mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O), A/gs - eficiência intrínseca do uso de água (mmol m⁻² s⁻¹ H₂O) e A/Ci - eficiência instantânea de carboxilação em genótipos F₂RC₁ de tomateiros submetidos ao déficit hídrico.

Genótipo	T leaf	Gs	E	Ci	A	A/E	A/gs	A/ci
T1 UFU22/F ₂ RC ₁ #8	25,60 a	0,05 b	2,18 d	370,44 a	1,57 e	0,72 e	40,90 cd	0,001 e
T2 UFU22/F ₂ RC ₁ #9	30,37 d	0,09 c	1,25 c	354,22 a	4,84 c	3,84 c	49,00 c	0,013 bc
T3 UFU47/F ₂ RC ₁ #11	30,03 cd	0,09 c	0,76 ab	299,11 bc	1,72 e	2,31 d	20,15 d	0,007 de
T4 UFU22/F ₂ RC ₁ #2	28,82 c	0,03 a	0,60 a	251,88 d	3,08 d	5,30 b	119,55 a	0,010 cd
T5 UFU22/F ₂ RC ₁ #3	27,25 b	0,05 b	0,80 b	351,00 a	2,56 de	3,22 cd	58,12 c	0,010 cd
T6 UFU-222	29,68 cd	0,14 d	2,26 d	258,88 cd	6,51 ab	2,89 cd	45,50 c	0,027 a
T7 <i>cv.</i> Santa Clara	30,75 d	0,13 d	2,22 d	234,11 d	6,95 a	3,13 cd	55,01 c	0,031 a
T8 <i>Solanum pennellii</i>	25,66 a	0,06 b	0,82 b	338,00 ab	5,62 bc	6,76 a	90,36 b	0,018 b
CV	2,87	15,57	7,70	9,42	19,27	22,88	27,48	28,260
Média Geral	28,52	0,08	1,36	307,20	4,11	3,52	59,82	0,014

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Zeist (2015) não observou o mesmo resultado para este parâmetro, relatando que não houve diferença significativa entre os genótipos testados quando comparado com variedades comerciais e o acesso selvagem *S. pennellii*. No entanto, o mesmo autor não submeteu os genótipos ao déficit hídrico. Oliveira et al. (2005) afirmaram que a temperatura foliar tem relação inversa à condutância estomática, pois a diminuição da condutância estomática proporciona menor transpiração o que leva a um incremento na temperatura das folhas. No entanto, no presente trabalho não foi possível verificar essa

relação devido a algum distúrbio na fisiologia da planta que pode ter afetado esse mecanismo.

Segundo Taiz e Zeiger (2009), a redução da condutância estomática é a maneira pela qual as plantas podem se adaptar fisiologicamente às condições de seca. A linhagem pré-comercial UFU-222 apresentou a maior g_s e não diferiu estatisticamente da cv. Santa Clara ($0,13 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Já o acesso *S. pennellii* apresentou g_s significativamente inferior (54%) quando comparado a essa cultivar.

Os genótipos das populações UFU22/F₂RC₁#8, UFU22/F₂RC₁#2 e UFU22/F₂RC₁#3 tem g_s igual ou inferior quando comparado com o acesso *S. pennellii*. A redução da condutância estomática decorrente do fechamento dos estômatos reduz as perdas de água por transpiração, no entanto essa estratégia reflete na redução da taxa fotossintética (XOCONOSTLE-CAZARES et al., 2010), visto que o fechamento dos estômatos dificulta a difusão de CO₂ que é fundamental para realização da fotossíntese.

A transpiração (E) média observada foi de $1,36 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As maiores E foram observadas para os genótipos Santa Clara, UFU22/F₂RC₁#8 e UFU-222 diferindo estatisticamente dos demais genótipos. Os genótipos das populações de menor transpiração foram UFU22/F₂RC₁#2 e UFU47/F₂RC₁#11, sendo que o último não diferiu estatisticamente dos genótipos da população UFU22/F₂RC₁#3 e do acesso selvagem *S. pennellii*. A baixa taxa de transpiração do acesso *S. pennellii* evidencia sua capacidade de tolerância ao déficit hídrico e permite o seu desenvolvimento em regiões áridas, como relata o trabalho de Easlon e Richards (2009), sendo assim um material promissor na busca de genótipos de tomateiro tolerantes ao estresse hídrico. A E inferior pode estar associada a fatores não estomáticos, como variações na cutícula da folha que permite a redução da perda de água por transpiração.

Segundo Larcher (2000), plantas que são submetidas à deficiência hídrica no solo ou na atmosfera possuem folhas com uma cutícula mais espessa do que as plantas da mesma espécie em condições de disponibilidade hídrica adequada. Dessa forma, o acesso selvagem *S. pennellii* tem características morfo-anatômicas na folha que lhe permite tolerância à seca (KEBEDE et al., 1994).

Quanto ao CO₂ interno (C_i), os genótipos das populações UFU22/F₂RC₁#8, UFU22/F₂RC₁#9 e UFU22/F₂RC₁#3 não diferem entre si e são semelhantes ao C_i observado para o acesso *S. pennellii*, sendo estes superiores ao valor médio observado

para o experimento ($307 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Houve diferença significativa entre os genótipos *S. pennellii* e cv. Santa Clara, 338 e $234,11 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Os genótipos das populações, UFU22/F₂RC₁#2 e UFU-222 não diferem significativamente da cv. Santa Clara. A disponibilidade de CO₂ para fotossíntese depende da sua difusão da atmosfera para o mesófilo foliar (KERBAUY, 2008).

De acordo com Machado et al. (2005), o C_i consiste no balanço nulo entre o CO₂ que entra e o que sai da câmara subestomática. Valores significativamente superiores de C_i para alguns genótipos em comparação ao *S. pennellii* demonstram que os mesmos proporcionaram maior disponibilidade de CO₂ para a ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (rubisco). No entanto, no presente trabalho isso não influenciou em maior assimilação A e isso pode estar relacionado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO₂ (MACHADO et al., 2005).

Analizando a assimilação de CO₂ (A) dos genótipos, verificou-se maior A para a cv. Santa Clara na ordem de 24% superior ao observado para o acesso *S. pennellii*. Porém, a A de ambos foi superior quando comparado aos genótipos testados. Ressaltam-se ainda entre os outros genótipos testados a linhagem pré-comercial UFU-222, que não diferiu estatisticamente quando comparado aos genótipos suscetível e tolerante (cv. Santa Clara e *S. pennellii*, respectivamente) e os genótipos da população UFU22/F₂RC₁#9 que têm assimilação de CO₂ semelhante ao observado para o *S. pennellii*.

O valor médio da assimilação de CO₂ observado no experimento é baixo ($4,11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) quando comparado aos resultados experimentais de desempenho de outros genótipos, $19,37 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sob condições hídricas ótimas (ZEIST, 2015). Isso comprova que o estresse hídrico tem o potencial de afetar os processos fisiológicos e bioquímicos dos vegetais, como a fotossíntese (JALEEL et al., 2009; FAROOQ et al., 2009).

A maior eficiência instantânea no uso da água (EUA) para o acesso selvagem *S. pennellii*, em comparação aos demais genótipos, está relacionado ao fato que o mesmo apresentou baixa E sem acarretar danos ao A. Assim, o acréscimo da EUA ocorre devido à conservação da taxa fotossintética das plantas, mesmo com decréscimo da g_s e da E. Dentre os genótipos estudados, UFU22/F₂RC₁#2 foi o que mais se assemelhou ao acesso selvagem *S. pennellii*. O acesso selvagem *S. pennellii* foi 2,2 vezes mais eficiente que a

cv. Santa Clara, sendo possivelmente a principal variável resposta que o caracteriza como material genético tolerante à seca.

A EUA observada neste trabalho está de acordo com Machado et al. (2010) e Zeist (2015), os quais relacionam a quantidade de água evapotranspirada com a produção de determinada quantidade de matéria seca. São extremamente desejáveis plantas que apresentem elevada EUA e absorção de CO₂ (JAIMEZA et al., 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013). Como as trocas gasosas da planta com a atmosfera são reguladas pelos estômatos, durante a absorção de CO₂ também ocorre a perda de H₂O, consequentemente, a redução dessa perda restringe a entrada de CO₂ (SHIMAZAKI et al., 2007). Segundo Taiz e Zeiger (2010), para que as plantas tenham maior eficiência de uso da água é essencial que absorvam o máximo de CO₂ com o mínimo de perda de H₂O.

O uso mais eficiente da água está diretamente relacionado ao tempo de abertura estomática (gs), pois enquanto a planta absorve CO₂ para a fotossíntese, a água é perdida por transpiração (E) (CONCENÇO et al., 2007). Foi observado um valor médio de 59,82 mmol m⁻² s⁻¹ para a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA). A maior EIUA foi observada para o genótipo UFU22/F₂RC₁#2 seguido do acesso *S. pennellii*. As menores EIUA foram observadas para os genótipos das populações UFU22/F₂RC₁#8 e UFU47/F₂RC₁#11. O acesso *S. pennellii* foi 64 % mais eficiente quando comparado com a cv. Santa Clara.

Assim, a manutenção de elevadas taxas fotossintéticas associadas a menores valores de gs e E são características de plantas tolerantes à menor disponibilidade de água no solo, que é refletido pela maior EUA e EIUA (MA et al., 2004). Em ambientes com limitada disponibilidade de recursos (em particular, água e nutrientes), a magnitude positiva desses parâmetros de eficiência torna-se essencial para o bom funcionamento das plantas e funcionam como indicadores para monitorar o pleno estabelecimento destas no campo, assim como para demonstrar a plasticidade fisiológica das espécies em relação aos fatores abióticos (SANTOS JÚNIOR et al., 2006; FUNK e VITOUSEK, 2007; LI et al., 2008; SILVA et al., 2008).

A característica eficiência instantânea de carboxilação (EIC) foi maior para a cv. Santa Clara que não diferiu significativamente da linhagem pré-comercial UFU-222 e foi 72% superior quando comparado com o acesso selvagem *S. pennellii* para esse parâmetro. As menores EIC foram observadas para os genótipos das populações UFU22/F₂RC₁#8 e

UFU47/F₂RC₁#11. De acordo com Konrad et al. (2005), a relação entre A e C_i é uma característica que possibilita estimar os fatores não-estomáticos que estariam afetando o rendimento fotossintético e consequentemente a produtividade biológica. Esses fatores podem estar relacionados ao ambiente ou mesmo a própria planta (CAMILLI et al., 2007).

O potencial de água da folha (Ψ) indica o seu estado energético, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera (BERGONCI et al., 2000). Valores próximos de zero significam que a planta, provavelmente, não está sob estresse hídrico, no entanto, quando a quantificação chegar a valores muito negativos a planta está sob intenso estresse hídrico (MORANDO et al., 2014).

O valor médio do potencial hídrico foliar (Ψ) foi de -0,635 Mpa (Tabela 7). O menor valor observado foi para o genótipo comercial Santa Clara, sendo este 7,7 vezes inferior ao potencial hídrico foliar observado para o acesso *S. pennellii*, caracterizando-o como um material mais suscetível ao déficit hídrico. Os genótipos das populações UFU22/F₂RC₁#8, UFU22/F₂RC₁#9, UFU47/F₂RC₁#11, UFU22/F₂RC₁#2 e UFU-222 foram os materiais que apresentaram potencial hídrico foliar mais próximo ao observado para o selvagem *S. pennellii*, sendo estes em média 4 vezes inferior.

TABELA 7. Medidas Ψ_f - potencial de água na folha (MPa), clorofila *a* clorofila *b* e clorofila total em genótipos F₂RC₁ de tomateiros submetidos ao déficit hídrico.

	Genótipo	Ψ_f (MPa)		Clorofila <i>a</i>		Clorofila <i>b</i>		Clorofila Total	
T1	UFU22/F ₂ RC ₁ #8	-0,536	b	37,68	abc	15,23	ab	52,91	ab
T2	UFU22/F ₂ RC ₁ #9	-0,463	b	41,41	a	15,10	ab	56,43	a
T3	UFU47/F ₂ RC ₁ #11	-0,560	b	40,70	ab	14,31	ab	55,01	a
T4	UFU22/F ₂ RC ₁ #2	-0,626	b	38,43	abc	14,76	ab	53,20	ab
T5	UFU22/F ₂ RC ₁ #3	-0,900	c	36,38	bc	13,15	ab	49,53	ab
T6	UFU-222	-0,576	b	30,50	d	8,35	c	38,85	c
T7	cv. Santa Clara	-1,253	d	35,48	c	11,50	bc	46,98	b
T8	<i>Solanum pennellii</i>	-0,163	a	39,66	abc	17,38	a	57,04	a
	CV	10,11		4,29		10,88		5,36	
	Média Geral	-0,635		37,53		13,71		51,24	

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância

Zambrano (2004) verificou que enxertias com *S. pennellii* como parte aérea possuem melhor controle estomático. Segundo Kerbauy (2008), em situação de estresse hídrico prolongado a planta fica com os estômatos fechados para manter um maior

potencial hídrico que é uma importante característica de tolerância à seca. Trabalhos realizados por Pillay e Beyl (1990) e Torrecillas et al. (1995) mostram que em *S. pennellii*, sob condições de estresse, altos valores de potencial da água na folha estiveram associados à reduzida gs.

Nas condições do experimento, o teor médio de clorofila *a* foi de 37,53 mg L⁻¹, com coeficiente de variação relativamente baixo (4,29%). Os genótipos UFU22/F₂RC₁#8, UFU22/F₂RC₁#9, UFU47/F₂RC₁#11 e UFU22/F₂RC₁#2 apresentaram os maiores teores, não diferindo da testemunha *S. pennellii*. O genótipo UFU22/F₂RC₁#3 tem teor semelhante aos genótipos *S. pennellii*, cv. Santa Clara, UFU22/F₂RC₁#8 e UFU22/F₂RC₁#2. O menor teor de clorofila *a* foi observado nas plantas da linhagem pré-comercial UFU-222. Segundo Rego e Possamai (2011) a quantidade de clorofila em uma planta varia em função de agentes climáticos. Raven et al. (2007) relatam que a clorofila *a* é o principal pigmento relacionado à fotossíntese. O aumento no teor desse pigmento reflete no aumento da taxa fotossintética das plantas, como observado por Locarno et al. (2011) no cultivo de rosas em solução nutritiva com variação dos níveis de silício.

Os genótipos apresentaram comportamento semelhante para o teor de clorofila *b*. O menor teor foi observado para o genótipo UFU-222, não diferindo estatisticamente da testemunha cv. Santa Clara. Os genótipos UFU22/F₂RC₁#8, UFU22/F₂RC₁#9, UFU47/F₂RC₁#11, UFU22/F₂RC₁#2 e UFU22/F₂RC₁#3 não diferem entre as testemunhas cv. Santa Clara e *S. pennellii*.

Na variável clorofila Total, que compõe clorofila *a* e clorofila *b*, foi observado um teor médio de 51,24 mg L⁻¹. O menor teor de clorofila total foi observado na linhagem pré-comercial UFU-222, que diferiu estatisticamente dos demais genótipos estudados. Os maiores valores foram observados para os genótipos *S. pennellii*, UFU22/F₂RC₁#9 e UFU47/F₂RC₁#11, que não diferiram estatisticamente dos genótipos UFU22/F₂RC₁#8, UFU22/F₂RC₁#2 e UFU22/F₂RC₁#3.

Menores teores de clorofila podem estar relacionados com condições de temperatura foliar elevadas. Plantas de metabolismo C3 (plantas que formam o 3-fosfoglicerato como primeiro intermediário estável na fotossíntese) como o tomateiro, possuem maiores respostas fotossintéticas em temperaturas entre 20 e 25°C. E em caso de temperaturas em torno de 30°C pode ocorrer menor assimilação de CO₂ e a ação de efeitos deletérios como a degradação da molécula da clorofila (BORRMANN, 2009). No

entanto, no presente trabalho não houve essa relação entre temperatura e teor de clorofila e isso pode ter ocorrido porque a temperatura média máxima atingida pelos genótipos (30,75°C) não foi suficiente para degradar os pigmentos fotossintéticos.

4. CONCLUSÃO

Em todas as variáveis analisadas ficou evidente a superioridade do acesso selvagem *Solanum pennellii* em relação às testemunhas suscetíveis, exceto para assimilação de CO₂ e eficiência de carboxilação.

A tolerância ao estresse hídrico do acesso selvagem *Solanum pennellii* não é determinada exclusivamente por caracteres morfo-anatômicos, podendo ser caracterizada por medidas de trocas gasosas e potencial hídrico foliar (Ψ_f).

A população UFU22/F₂RC₁#2 se destacou entre as demais sendo a mais promissora por apresentar elevadas taxas fotossintéticas associadas à baixa condutância estomática e transpiração que proporciona maior eficiência de uso de água.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Informa economics, São Paulo: FNP. South America, 2016. 456 p.
- AKSIC, M.; GUDZIC, S.; DELETIC, N.; GUDZIC, N.; STOJKOVIC, S. Tomato Fruit Yield and Evapotranspiration in the Conditions of South Serbia. **Journal of Agricultural Science**, Bulgarian, v. 17, n. 2, p. 150-157, 2011.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. 1.ed. Lavras: UFLA, 2004. 400p.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455p.
- BEGUM, M. K.; ALAM, M. R.; ISLAM, M. S.; AREFIN, M. S. Effect of water stress on physiological characters and juice quality of sugarcane. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 14, n. 2, p. 161–167, 2012.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; SANTOS, A. O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000.
- BIRHANU, K.; TILAHUN, K. Fruit yield and quality of drip irrigated tomato under deficit irrigation. **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 2139-2151, 2010.
- BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabólitos incolores**. 2009. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.
- BRAY, E. A. Genes commonly regulated by water-déficit stress in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 407, p. 2331-2341, 2004.
- CAMILLI, L. L.; IKEJIRI, J.; KLEIN, J. D.; RODRIGUES, BOARO, C. S. F. Produtividade e Estimativa da Eficiência de Carboxilação in vivo da Enzima Rubisco em Girassol Ornamental Cultivado em Lodo de Esgoto. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 858-524, 2007.
- CELEBI, M. The effect of water stress on tomato under different emitter discharges and semi-arid climate condition. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 20, p. 1151-1157, 2014.
- CONCENÇO, G.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; D'ANTONINO, L.; VARGAS, L.; FIALHO, C.M.T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 449-455, 2007.

- CRUZ, C. D. GENES- A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- EASLON, H. M.; RICHARDS, J. H. Drought response in selfcompatible species of tomato (Solanaceae). **American Journal of Botany**, [S.l], v. 96, n. 3, p. 605-611, 2009.
- ENDRES, L.; SOUZA, J. L.; TEODORO, L.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M.; BRITO, J. E. D. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 11-16, 2010.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, [S.l], v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Tomate: Produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: Ed. UFLA. 2008. 400p.
- FUNK, J. L.; VITOUSEK, P. M. Resource-use efficiency and plant invasion in low-resource systems. **Nature**, London, v. 446, n. 7139, p. 1079-1081, 2007.
- GIROTTTO, L.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; ALBUQUERQUE, A. C. S.; TOMAZONI, A. P. Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 192-199, 2012.
- HEINE, A. J. M.; MORAES, M. O. B.; PORTO, J. S.; SOUZA, J. S.; REBOUÇAS, T. N. H., SANTOS, B. S. R. Número de haste e espaçamento na produção e qualidade do tomate. **Scientia plena**, São Cristóvão, v. 11, n. 9, 2015.
- JALEEL, C.A.; RIADH, K.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; INÈS, J.; JASIM AL-JUBURI, H.; CHANG-XING, Z.; HONG-BO, S.; PANNEERSELVAM, R. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. **Acta Physiologia e Plantarum**, [S.l], v. 31, n. 3, p. 427-436, 2009.
- JAIMEZA, R. E., RABAD, F. F.; GARCÍA-NÚÑEZB, C.; AZÓCARB, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. ‘Hartón’ (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, [S.l], v. 104, p. 79-89, 2005.
- KEBEDE, H.; MARTIN, B.; NIENHUIS, J.; KING, G. Leaf anatomy of two licopersicom species with contrasting gas exchange properties. **Crop Science**, [S.l], v. 34, n. 1, p. 108-113, 1994.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**, 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 339-347, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

LI, F.; BAO, W.; WU, N.; CHEN, Y. Growth, biomass partitioning, and water use efficiency of a leguminous shrub (*Bauhinia faberi* var. *microphylla*) in response to various water availabilities. **New Forests**, Dordrecht, v. 36, n. 1, p. 53-65, 2008.

LOCARNO, M.; FOCHI, C. G.; PAIVA, P. D. O. Influência da adubação silicatada no teor de clorofila em folhas de roseira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 287-290, 2011.

MA, C. C.; GAO, Y. B.; GUO, H. Y.; WANG, J. L. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of *Caragana microphylla*, *C. intermedia* and *C. korshinskii*. **Photosynthetica**, [S.l], v. 42 n. 1, p. 65-70, 2004.

MACHADO, E.C., SCHMIDT, P.T., MEDINA, C. L., RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005.

MACHADO, A. F. L. I.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; MACHADO, M. S. V.; FREITAS, F. C. L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta daninha**, [S.l], v. 28, p. 319-327, 2010.

MACIEL, G. M., MALUF, W. R.; SILVA, FÁTIMA, V. de.; GONÇALVES NETO, A. C.; NOGUEIRA, D. W.; GOMES, L. A. A. heterose e capacidade combinatória de linhagens de tomateiro ricas em acilaçúcares. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 1161-1167, 2010.

MACIEL, G. M.; MALUF, W. R.; SILVA, FÁTIMA, V. de.; GONÇALVES NETO, A. C.; GOMES, L. A. A.; MACIEL, G. M. Híbridos pré-comerciais resistentes a *Tuta absoluta* obtidos de linhagem de tomateiro rica em acilaçúcares. **Horticultura Brasileira**, [S.l], v. 29, p. 151-156, 2011.

MALUF, W. R.; SILVA, FÁTIMA V. de.; GRAÇAS CARDOSO, M. das.; GOMES, L. A. A.; GONÇALVES NETO, A. C. ; MACIEL, G. M.; NÍZIO, D. A. C. Resistance to the South American tomato in worm *Tuta absoluta* in high acylsugar and/or high zingiberene tomato genotypes. **Euphytica**, Wageningen, v. 176, p. 113-12, 2010.

MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A.; ZOLNIER, S. Variabilidade espacial do sistema radicular do tomateiro e implicações no manejo da irrigação em cultivo sem solo com substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 57-60, 2005.

MELO. P. C. T. de.; Produção de sementes de tomate. In NASCIMENTO. W. M. **Produção de sementes de hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2014. v. 2, cap. 8, p. 235-266.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARVALHO, L. C.; PINHEIRO, M. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 114-129, 2014.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, [S.l], v. 25, p. 86-95, 2005.

ÖZBAHÇE, A.; TARI, A. F.; ÇAKIR, R. Influence of various water supply level and emitter spacing on yield and water use of processing tomato grown in middle Anatolian region of Turkey. **Research on Crops**, [S.l], v. 13, p. 262-267, 2012.

PILLAY, I.; BEYL, C. Early responses of drought-resistant and susceptible tomato plants subjected to water stress. **Plant Growth Regulation**, [S.l], v. 9, n. 1, p. 213-219, 1990.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2007. 856p.

REGO, G. M.; POSSAMAI, E. Efeito do Sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do Jequitibá-rosa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 53, p. 179, 2011.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. M.; BRITO NETO, J. F.; SOFIATTI, V.; FRANÇA, V. F. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 325-329, 2012.

ROCHA, D. K.; MACIEL, G. M.; FRAGA JUNIOR, E. F.; MACHADO JÚNIOR, C. S.; NOGUEIRA, G. G. S.; ALMEIDA R. S. de. Seleção de genótipos de tomateiro submetidos ao estresse hídrico em função da expressão de características fisiológicas. **Revista brasileira de Ciências Agrárias**, [S.l], v. 11, n. 2, p. 80-84, 2016.

SANTOS JÚNIOR, U. M. dos., GONÇALVES, J. F. de C.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in Central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 226, n. 1-3, p. 299-309, 2006.

SHIMAZAKI, K.; DOI, M.; ASSMANN, S.M.; KINISHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Bethesda, v. 58, p. 219-247, 2007.

SILVA C. E. M. da.; GONÇALVES, J. F. de C.; FELDPAUSCH, T. R. Water-use efficiency of tree species following calcium and phosphorus application on an abandoned pasture, central Amazonia, Brazil. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 2, p. 189- 195, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal** 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 2009. 848 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 782 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 526 p.

TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: 2010. 408 p.

TORRECILLAS, A.; GUILLAUME, C.; ALARCON, J. J.; RUIZ-SANCHEZ, M. C.; Water relations of two tomato species under water stress and recovery. **Plant Science**, [S.l.], v. 105, n. 2, p. 169-176, 1995.

XOCONOSTLE-CAZARES, B.; RAMIREZ-ORTEGA, F. A.; FLORES-ELENES, L.; RUIZ-MEDRANO, R. Drought tolerance in crop plants. **American Journal of Plant Physiology**, [S.l.], v. 5, n. 5, p. 241-256, 2010.

YAVUZ, M. Y.; YILDIRIM, M.; CAMOĞLU, G.; ERKEN, O. Effect of Different Irrigation Levels on Yield, Water Use Efficiency and Some Quality Parameters of Tomato. Philippine. **Agricultural Scientist**, [S.l.], v. 90, p. 283-288, 2007.

ZAMBRANO, O. D. B. **Sinalização entre os sistemas radiculares e caulinares em genótipos contrastantes de *Lycopersicon* sob estresse por deficiência hídrica**. 2004. 46. p. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

ZEIST, A. R. **Características agronômicas e fisiológicas de tomateiro em função de porta-enxertos e métodos de enxertia**. 2015. 96p. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP, Piracicaba-SP.