



ARTIGO ORIGINAL

Gabriel Mascarenhas Maciel^{1*}
Andrea Farneze Berenguer¹
Ernani Clarete da Silva²
Eusímio Felisbino Fraga Junior¹
Debora Kelli Rocha¹
Jaíne Priscila Rodrigues da Rocha¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia – UFU,
Rodovia LMG 746, km 01, s/n, Bloco 1,
38500-000, Monte Carmelo, MG, Brasil

² Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ,
Rodovia MG 424, km 45, 35701-970, Sete
Lagoas, MG, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: gabrielmaciel@ufu.br

PALAVRAS-CHAVE

Solanum lycopersicum
Potencial osmótico
Plântulas
Método indireto

KEYWORDS

Solanum lycopersicum
Osmotic potential
Seedlings
Indirect method

Déficit hídrico induzido por manitol para seleção de genótipos de tomateiro

Water deficit induced by mannitol for selection of tomato genotypes

RESUMO: A seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico pode beneficiar a cultura do tomateiro favorecendo maiores produtividades. O objetivo do trabalho foi avaliar a potencialidade de solução osmótica de manitol como simulador de deficiência hídrica para seleção de genótipos de tomateiro. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Avaliou-se a melhor concentração de manitol capaz de identificar dois genótipos contrastantes (acesso selvagem LA-716, pertencente a espécie *Solanum pennellii* e cv. Santa Clara) tolerante e suscetível ao estresse hídrico, respectivamente. O potencial osmótico de -0,3 MPa obtido a partir da utilização de 22,29 g L⁻¹ de manitol apresentou maior eficiência para seleção de genótipos do tomateiro. Esta concentração foi utilizada para seleção em sete genótipos segregantes F₂RC₁, provenientes de cruzamento interespecífico (*S. pennellii* versus *S. lycopersicum*) comparando com a testemunha resistente, acesso selvagem LA-716 e suscetível, cv. Santa Clara. O genótipo UFU80 - F₂RC₁#1 se destacou entre os demais, sendo superior em relação à testemunha suscetível ao déficit hídrico. O potencial osmótico de -0,3 MPa obtido por manitol foi eficiente na seleção indireta de genótipos segregantes de tomateiro tolerantes ao déficit hídrico.

ABSTRACT: The tomato is a culture that demands high volume of water during irrigation, may limit its yield under water deficit. Therefore, the selection of genotypes tolerant to water deficit can benefit crop management, thus favoring higher productivity. The objective of this study was to evaluate the potential of mannitol osmotic solution as water deficit simulator for selection of tomato genotypes. The experiments were conducted in the laboratory and in the field, in a completely randomized design with four replications. In laboratory evaluated the best concentration of mannitol able to identify two contrasting genotypes (wild accession LA-716, of the species *Solanum pennellii* and Santa Clara) known to be tolerant and susceptible to water deficit, respectively. The osmotic potential of -0.3 MPa obtained from the use of 22.29 g L⁻¹ mannitol highest efficiency for selection of tomato genotypes. This concentration was used for selection in seven segregating genotypes F₂RC₁, from interspecific cross (*S. pennellii* vs. *S. lycopersicum*) compared to the resistant witness, wild accession LA-716 (*S. pennellii*) and susceptible (Santa Clara). The UFU80 - F₂RC₁#1 genotype was the best, being statistically higher compared with the susceptible witness to water deficit (Santa Clara). The osmotic potential of -0.3 MPa obtained by mannitol was effective in indirect selection of tomato segregating genotypes tolerant to drought deficit.

1 Introdução

O cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) no Brasil ocorre em todas as regiões geográficas, em épocas distintas, sob diferentes sistemas de cultivo e condições edafoclimáticas. O cultivo do tomateiro demanda elevada mão de obra, exercendo importante influência social na geração de empregos diretos e indiretos em toda a sua cadeia produtiva (Alvarenga, 2013).

Um dos grandes entraves durante o cultivo do tomateiro está relacionado com a alta demanda hídrica durante as irrigações (Alvarenga, 2013). Nos últimos anos a prática da irrigação tem passado por mudanças em decorrência da crescente competição e impactos ambientais proporcionados pelo uso da água na agricultura (Rodrigues, 2017). Em tomateiro, a deficiência hídrica é considerada o fator de maior relevância e afeta diretamente a produtividade (Silva et al., 2013). Ademais, em períodos de seca prolongada ou manejo incorreto da irrigação pode ocorrer abortamento de flores, refletindo diretamente na produtividade (Brito et al., 2015; Silva et al., 2013).

O gênero *Solanum* apresenta ampla distribuição geográfica, presente em diferentes habitats e diversas condições ambientais (Alvarenga, 2013). Espécies selvagens de tomateiro ocorrem espontaneamente em ambientes com escassez de água o que possibilita fomentar programas de melhoramento. Entre as espécies selvagens de tomateiro tolerantes ao déficit hídrico, há o acesso LA-716, *S. pennellii*, que possui habitat natural oriundo de regiões quente e seca, situado no oriente dos Andes até o oeste da Costa Pacífica (Rousseaux et al., 2005).

Entre os vários fatores abióticos que limitam a produtividade, o déficit hídrico se destaca, pois afeta as relações hídricas, resultando em alterações no metabolismo das plantas. Atualmente não estão disponíveis genótipos de tomateiro com boas características agronômicas aliado a níveis satisfatórios de tolerância à seca. Um dos grandes entraves pode estar relacionado com a escassez de métodos de seleção, especialmente os indiretos para seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico. Diante disso, aprimorar novas metodologias de seleção no melhoramento genético do tomateiro para tolerância à seca é de fundamental importância. Há relatos de métodos eficientes de seleção direta (Nahar & Ullah, 2006; Shamim et al., 2014; Rocha et al., 2016; Borba et al., 2017) e indireta em tomateiro (Aazami et al., 2010; Morales et al., 2015) visando avaliar a tolerância ao déficit hídrico, no entanto, tais procedimentos demandam maior período de tempo, custos elevados e exigem mais mão de obra para execução.

Várias pesquisas têm demonstrado a eficiência de métodos com baixo custo e menor tempo de execução para seleção indireta de genótipos tolerantes ao déficit hídrico a partir da utilização de soluções osmóticas submetidas em sementes e plântulas. Dentre as substâncias mais utilizadas para selecionar genótipos tolerantes ao déficit hídrico, o manitol P.A ($C_6H_{14}O_6$) – P.M. 182,17 possui eficiência comprovada para várias espécies; feijão (Dalchiavon et al., 2016), canola (Ávila et al., 2007), milho (Kappes et al., 2009) e trigo (Giroto et al., 2012), não havendo ainda relatos do uso em tomateiro.

O objetivo do trabalho foi avaliar a potencialidade de solução osmótica de manitol como simulador de deficiência hídrica para seleção de genótipos de tomateiro.

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 março de 2013 a outubro de 2015.

A primeira etapa da pesquisa foi realizada em laboratório com o objetivo de definir a concentração de manitol [P.A ($C_6H_{14}O_6$) – P.M. 182,17] mais eficiente para seleção de dois genótipos contrastantes de tomateiro. Foram utilizadas sementes dos genótipos: acesso selvagem LA-716, *Solanum pennellii*, sabidamente tolerante ao déficit hídrico (Rousseaux et al., 2005) e cv. Santa Clara, suscetível ao déficit hídrico.

Em março de 2013 realizou-se a semeadura dos genótipos em caixas plásticas transparentes de 11 × 11 × 3 cm, com tampa sobre duas folhas de papel tipo Germitest. O substrato (Germitest) foi previamente umedecido na proporção equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco, com água destilada (controle) e 11 soluções de manitol (Tabela 1). As diferentes condições de déficit hídrico foram calculadas pela fórmula de Van't Hoff (Morales et al., 2015), ou seja (Equação 1):

$$\Psi_{os} = -RTC \quad (1)$$

em que: Ψ_{os} é o potencial osmótico (atm); R é a constante geral dos gases perfeitos (8,32 J/mol K); T é a temperatura (K); C é a concentração ($mol L^{-1}$), onde $T (K) = 273 + T (°C)$. Os potenciais submetidos foram: 0; -0,05; -0,1; -0,2; -0,3; -0,4; -0,5; -0,6; -0,7; -0,8; -0,9 e -1,0 MPa, correspondendo as concentrações de manitol de 0; 3,71; 7,43; 14,86; 22,29; 29,13; 37,15; 44,58; 52,01; 59,44; 66,87 e 74,43 $g L^{-1}$, respectivamente.

As caixas plásticas foram vedadas com Parafilm® para reduzir a perda de umidade, em seguida acondicionadas em câmara de germinação tipo BOD, a 25 °C, com fotoperíodo de 12 horas. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 sementes.

Tabela 1. Concentrações de Manitol para se obter diferentes níveis de potencial osmótico da solução de embebição Monte Carmelo, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

Table 1. Mannitol concentrations to obtain levels of osmotic potential of the soaking solution. Monte Carmelo, Federal University of Uberlândia, 2015.

Níveis de potenciais osmótico (MPa)	Manitol ($g L^{-1}$)
0	0
-0,05	3,71
-0,1	7,43
-0,2	14,86
-0,3	22,29
-0,4	29,13
-0,5	37,15
-0,6	44,58
-0,7	52,01
-0,8	59,44
-0,9	66,87
-1,0	74,43

A melhor concentração capaz de detectar os efeitos de tolerância e susceptibilidade ao déficit hídrico foi avaliada comparando os dois genótipos contrastantes por meio testes propostos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009):

Massa fresca inicial (g): determinada (com auxílio de balança analítica digital com precisão de 0,0001 g) no quarto dia após semeadura, nas 25 plântulas consideradas normais contidas nas caixas plásticas. Os valores foram somados e obtido a média de cada parcela.

Comprimento inicial (mm): medida realizada (com auxílio de régua milimetrada) no oitavo dia após semeadura, nas 25 plântulas consideradas normais contidas nas caixas plásticas. Os valores foram somados e obtido a média de cada parcela.

Germinação: realizou-se no décimo 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.

Primeira contagem de germinação: conduzida juntamente com o teste de germinação, computando-se a porcentagem de plântulas normais no quarto dia após a instalação do ensaio.

Obtenção de genótipos F_2RC_1 . A geração F_1 foi obtida a partir do cruzamento interespecífico entre *S. lycopersicum*, UFU-650 versus acesso selvagem LA-716, *S. pennellii*. O genótipo UFU-650 pertence ao Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia-UFU, e apresenta hábito de crescimento determinado, frutos graúdos (240 g) do tipo Santa Cruz, porém suscetível ao déficit hídrico. O acesso selvagem, LA-716 (*S. pennellii*) possui hábito de crescimento indeterminado, frutos pequenos (12 g), de baixo potencial agrônomico e tolerante ao déficit hídrico (Rousseaux et al., 2005).

Em julho de 2014 foi realizado a semeadura dos genitores UFU-650 e LA-716 em bandejas de poliestireno de 200 células preenchidas com substrato comercial à base de fibra de coco. As mudas foram produzidas em casa de vegetação coberta com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 150 micra e aditivo anti-UV. Foram realizadas irrigações diárias em função da necessidade das mudas. Decorridos 30 dias após semeadura (DAS), foi realizado o transplantio para vasos plásticos de cinco litros preenchidos com substrato comercial à base de fibra de coco. As hibridações foram realizadas quando as plantas iniciaram o período reprodutivo efetuando-se o cruzamento artificial a partir da emasculação seguida de polinização das flores do genitor UFU-650 utilizando pólen do genitor LA-716. Após realizado o cruzamento, cada flor foi previamente identificada utilizando lâ vermelha. Após maturação dos frutos previamente identificados, realizou-se a extração das sementes, as quais foram secas em temperatura ambiente, armazenadas em sacos de papel Kraft, identificadas e acondicionadas em câmara fria.

Após a obtenção da geração F_1 (UFU-650 x LA-716), foi realizado o primeiro retrocruzamento utilizando o genitor recorrente UFU-650. Para tanto, em janeiro de 2015 realizou-se a semeadura do híbrido F_1 (UFU-650 x LA-716) e dos seus respectivos genitores, seguindo os mesmos procedimentos para produção de mudas adotados na etapa anterior. Aos 35 dias após semeadura, foi realizado o transplantio de uma muda em cada vaso plástico de cinco litros previamente preenchidos com substrato comercial à base de fibra de coco. Os retrocruzamentos foram realizados quando as plantas iniciaram o período de

florescimento mediante cruzamento artificial após emasculação das flores do genitor recorrente UFU-650 utilizando pólen do genótipo F_1 (UFU-650 x LA-716). Após confirmação da fertilização e desenvolvimento dos frutos, foram obtidas sementes da geração F_1RC_1 , as quais foram extraídas dos frutos, sendo em seguida secas e armazenadas.

Em junho de 2015 realizou-se a semeadura da geração F_1RC_1 [UFU-650 x (UFU-650 x LA-716)], seguindo os mesmos procedimentos para produção de mudas adotados nas etapas anteriores, sendo o transplantio realizado aos 30 DAS, em canteiros previamente preparados com rotoencanteirador. Esta etapa foi realizada para obtenção da geração segregante F_2RC_1 . Por ser uma espécie autógama e cleistogâmica, não foi necessário intervir com emasculações e cruzamentos artificiais. Após a maturação, foram colhidos os frutos e extraído as sementes para a próxima etapa.

Seleção indireta de genótipos segregantes tolerantes ao déficit hídrico. Este segundo experimento foi realizado no laboratório com intuito de selecionar genótipos F_2RC_1 tolerantes ao déficit hídrico.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 sementes, tendo como tratamentos sete genótipos F_2RC_1 (UFU80- F_2RC_1 #2, UFU102- F_2RC_1 #7, UFU102- F_2RC_1 #3, UFU102- F_2RC_1 #10, UFU80- F_2RC_1 #1, UFU83- F_2RC_1 #2 e UFU69- F_2RC_1 #4), acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) (tolerante ao estresse hídrico) e a cv. Santa Clara (suscetível ao estresse hídrico), totalizando nove tratamentos e 36 parcelas representadas por caixas plásticas tipo Gerbox. No entanto, utilizou-se apenas a concentração de manitol de maior eficiência na seleção previamente identificada (-0,3 MPa) na primeira etapa.

Realizou-se a semeadura dos sete genótipos segregantes F_2RC_1 [UFU-650 x (UFU-650 x LA-716)], acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) tolerante ao déficit hídrico e a cultivar Santa Clara (suscetível ao déficit hídrico) em caixas plásticas transparentes de 11 x 11 x 3 cm com tampa sobre duas folhas de papel tipo Germitest. O substrato (Germitest) foi previamente umedecido na proporção equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. 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. Além dos testes de primeira contagem, porcentagem de germinação e comprimento inicial realizados na primeira etapa, realizou-se novos testes nesta etapa conforme descrito a seguir:

Porcentagem de germinação padrão (%GP): ausente de solução osmótica (testemunha).

Comprimento final (mm): medida realizada (com auxílio de régua milimetrada) no décimo quarto dia após semeadura, nas 25 plântulas consideradas normais contidas nas caixas plásticas. Os valores foram somados e obtido a média de cada parcela.

Índice de velocidade de germinação: calculado pelo somatório do número de sementes germinadas a cada dia, dividido pelo número de dias decorridos entre a semeadura e a germinação.

Tempo médio de germinação: obtido por meio de contagens diárias das sementes germinadas até o décimo dia após a semeadura e calculado pela seguinte Equação 2:

$$TMG = \frac{\sum(n_i t_i)}{\sum n_i} \quad (2)$$

em que: TMG é o tempo médio de germinação (dias); n_i é o número de sementes germinadas no intervalo entre cada contagem; t_i é o tempo decorrido entre o início da germinação e a i -ésima contagem.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Lilliefors), em seguida submetidos a análise de variância por meio do teste F, a 5% de probabilidade em ambos os experimentos. Foi realizado teste de Tukey ($p < 0,05$). Foram realizados contrastes ortogonais de interesse empregando o teste Scheffé ($p < 0,05$ ou $0,01$). Os procedimentos estatísticos foram realizados por meio do programa computacional GENES (Cruz, 2013).

3 Resultados e Discussão

Houve efeito significativo ($p < 0,05$) das concentrações de manitol sobre todas as variáveis avaliadas (comprimento inicial, massa fresca inicial, primeira contagem e porcentagem de germinação) (Tabela 2). Há relatos que a germinação e vigor de sementes de várias espécies são reduzidas à medida que decresceram os níveis de potencial osmótico das soluções (Ávila et al., 2007). No presente estudo, entre os genótipos de

tomateiro avaliados, pôde-se verificar de forma semelhante os mesmos efeitos (Tabela 2).

Apesar dos efeitos significativos para todas as variáveis, apenas a primeira contagem e porcentagem de germinação permitiram identificar a concentração de manitol mais eficiente, tanto para o genótipo tolerante ao déficit hídrico (*S. pennellii*) quanto ao suscetível ao déficit hídrico (cv. Santa Clara). Tal eficiência pode ser observada especialmente quando analisado o nível de potencial osmótico de -0,3 MPa, que proporcionou maior intervalo para a primeira contagem e germinação para ambos genótipos contrastantes (*S. pennellii* versus cv. Santa Clara). Nesta concentração (-0,3 MPa) para a variável primeira contagem e porcentagem de germinação, o acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) foi 214,03% e 236,8% superior em relação à cv. Santa Clara, respectivamente. Ademais, vale ressaltar que para os dois genótipos (*S. pennellii* e cv. Santa Clara) os valores médios da primeira contagem (66,25 e 55,75%) e germinação (70,75 e 70%) não diferenciaram estatisticamente ($p > 0,05$) para o mesmo nível de potencial osmótico (0 MPa), sendo um indicativo que o lote de sementes utilizado de ambos genótipos estava com o mesmo padrão de germinação reforçando os resultados obtidos (Tabela 2).

Tabela 2. Comprimento inicial (mm), massa fresca inicial (g), primeira contagem (%), porcentagem de germinação (%G) e índice de velocidade de germinação (IVG) em genótipos de tomateiro em função de diferentes níveis de potencial osmótico (MPa). Monte Carmelo, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

Table 2. Initial length (mm), initial fresh weight (g), first count (%), germination percentage (%G) and speed of germination index (IVG) in tomato genotypes under levels of osmotic potential (MPa). Monte Carmelo, Federal University of Uberlândia, 2015.

Genótipos*	Níveis de Potenciais osmótico (MPa)	Comprimento inicial (mm)	Massa fresca inicial (g)	Primeira contagem (%)	Porcentagem de germinação (%)
LA-716	0	12,93 bc	3,60 defg	66,25 a	70,75 a
	-0,05	12,75 cde	3,49 defh	54,00 ba	66,75 ab
	-0,1	9,55 de	2,40 fghi	36,00 bcd	53,00 bcd
	-0,2	7,94 efg	2,03 fghi	29,25 cde	53,50 bcd
	-0,3	8,79 def	2,03 fghi	44,75 bc	64,00 abc
	-0,4	3,12 gh	0,79 ghi	18,75 def	43,25 de
	-0,5	4,43 ghf	0,86 ghi	15,00 ef	40,00 def
	-0,6	2,10 h	0,40 ghi	11,50 ef	25,75 fgh
	-0,7	0,61 h	0,33 ghi	7,75 f	27,50 fgh
	-0,8	1,45 h	0,31 ghi	7,25 f	26,00 fgh
Santa Clara	0	29,91 a	19,77 a	55,75 ab	70,00 a
	-0,05	19,30 b	21,42 a	41,25 bc	51,00 cd
	-0,1	1,63 h	13,93 b	47,50 abc	59,50 abc
	-0,2	16,40 bc	15,75 b	40,50 bc	54,25 bcd
	-0,3	1,38 h	5,40 cdef	14,25 ef	19,00 ghij
	-0,4	1,85 h	6,18 cde	38,00 bcd	31,50 efg
	-0,5	3,69 gh	7,76 c	19,50 def	31,75 efg
	-0,6	2,87 h	6,84 cd	13,00 ef	32,25 efg
	-0,7	0,14 h	0,86 ghi	0,00 f	28,50 fgh
	-0,8	0,28 h	2,97 efghi	4,75 f	11,00 ijk
Média geral		5,93	4,91	23,96	36,64
	CV (%)	30,71	26,02	31,25	14,46

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si, a $p < 0,05$ pelo teste de Tukey.

A eficiência observada para o genótipo tolerante ao déficit hídrico pode estar relacionada à primeira etapa na sequência de eventos que culminam com a retomada do crescimento do embrião (emissão da radícula), isto é, a embebição, um tipo de difusão que ocorre quando as sementes absorvem água. Desta maneira, as sementes do tomateiro, dotadas de tegumento impermeável, tornam-se reidratadas, quando expostas à água. Outro fator que pode ter influenciado a primeira contagem, refere-se ao potencial hídrico do meio, o gradiente hídrico (meio-semente) pode ser modificado pela alteração do potencial hídrico das sementes através da mudança no teor de água inicial, o que basicamente acontece com o processo de absorção de água, onde o gradiente diminui à medida que as sementes vão se hidratando. Genótipos com baixo teor de água embebem mais rapidamente que os com alto teor de água, pois o gradiente hídrico é muito elevado para as sementes secas e diminui exponencialmente quando as sementes são umedecidas. Assim, reduzindo-se o teor de água da semente, diminuiu-se o potencial hídrico dessa e ocorrem mudanças em sua permeabilidade, além da possibilidade de haver uma variação em diferentes escalas do potencial osmótico do meio ao longo do tempo. Além disso, vários fatores podem limitar a embebição: entre eles, a composição e permeabilidade do tegumento, disponibilidade de água no ambiente, área de contato substrato-semente, temperatura, pressão hidrostática e condição fisiológica da semente (Belay et al., 2009).

O comprimento inicial e massa fresca inicial não foram eficientes na identificação de genótipos de tomateiro tolerantes ao déficit hídrico. Um dos entraves pode estar relacionado com o tamanho da semente entre os genótipos avaliados. O acesso selvagem *S. pennellii* apresenta sementes menores que 1,0 mm enquanto que a cv. Santa Clara possui sementes três vezes maior. Sugere-se que a avaliação do comprimento inicial seja antecipada para reduzir os possíveis efeitos do tamanho da semente, pois tal dificuldade é potencializada quando as avaliações ocorrem em fases mais avançadas após germinação. Em contrapartida, estes efeitos não afetaram a eficiência de seleção realizadas na fase inicial, após realizado a primeira contagem e a percentagem de germinação. O tamanho de semente pode influenciar a qualidade fisiológica (Pádua et al., 2010), no entanto são escassas pesquisas específicas em tomateiro sendo necessários estudos mais específicos.

O nível de potencial osmótico acima de -0,7 MPa refletiu em baixo desempenho de germinação, expressos na primeira contagem. Pode-se considerar que níveis acima de -0,7 MPa para germinação e posterior desenvolvimento pode ser crítico em tomateiro. O alongamento celular pode ser afetado pelo potencial hídrico, que é expresso distintamente para cada espécie na forma de um valor de potencial hídrico crítico (Carvalho & Nakagawa, 2000). Ávila et al. (2007) demonstraram que, em canola o nível crítico foi considerado de -1,0 MPa. Tais resultados corroboram com os apresentados por Kappes et al. (2009) que concluíram que após ser submetido à condição de déficit hídrico, as sementes de diferentes espécies podem apresentar respostas variáveis quanto ao aspecto germinativo em detrimento do metabolismo reduzido em função da menor disponibilidade de água nas sementes.

Quanto à seleção indireta de genótipos segregantes (F_2RC_1) ficou evidente após confirmação prévia (Tabela 2) que ao

utilizar o potencial osmótico de -0,3 MPa induzido por manitol é possível selecionar genótipos similares a testemunha resistente (*S. pennellii*). Houve efeito significativo entre os genótipos avaliados para todas as variáveis avaliadas [Comprimento inicial (CI, mm), comprimento final (CF, mm), primeira contagem (%PC), porcentagem de germinação (%G), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG, dias), a exceção da porcentagem de germinação padrão] (Tabela 3).

No que se refere ao comprimento inicial, observa-se que o acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) foi 2,97 vezes superior e se diferenciou estatisticamente da cv. Santa Clara. Vale ressaltar que esta avaliação foi realizada no oitavo dia após semeadura, resultando em maior eficiência de seleção. Verifica-se superioridade estatisticamente do genótipo UFU80 - $F_2RC_1\#1$ em relação à testemunha tolerante ao déficit hídrico (*S. pennellii*). Os genótipos UFU80 - $F_2RC_1\#2$, UFU102 - $F_2RC_1\#7$ e UFU102 - $F_2RC_1\#3$ não diferenciaram significativamente ($p>0,05$) da testemunha tolerante ao déficit hídrico (*S. pennellii*). Os genótipos UFU80 - $F_2RC_1\#2$, UFU102 - $F_2RC_1\#7$, UFU102 - $F_2RC_1\#3$ e UFU80 - $F_2RC_1\#1$ diferenciaram significativamente da testemunha comercial (cv. Santa Clara, suscetível ao déficit hídrico).

Da mesma forma que ocorreu na primeira etapa, uma das dificuldades encontradas no presente estudo está relacionada com o tamanho das sementes, que supostamente pode interferir nas avaliações em função da maior capacidade de armazenamento de reservas em sementes maiores. Em sementes de soja há relatos que o tamanho da semente influenciou a absorção de água (Pádua et al., 2010). Os valores obtidos ao avaliar o comprimento final podem ter sido influenciados pelo tamanho da semente, inviabilizando a execução de testes em estádios avançados após a germinação devido à competição interespecífica entre indivíduos. Esta variável foi avaliada no décimo quarto dia após semeadura e não foi eficiente na seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico (Tabela 3).

Pode-se observar superioridade significativa do acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) em relação aos demais genótipos avaliados na primeira contagem. Ainda avaliando a variável primeira contagem, todos os genótipos foram superiores significativamente em relação à testemunha suscetível (cv. Santa Clara), exceto o genótipo UFU69 - $F_2RC_1\#4$ (Tabela 3).

Para o teste de germinação, estatisticamente foi possível confirmar a tolerância ao déficit hídrico do acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) em relação à testemunha suscetível (cv. Santa Clara). Ademais, os genótipos UFU80 - $F_2RC_1\#2$, UFU102 - $F_2RC_1\#7$, UFU102 - $F_2RC_1\#3$ e UFU80 - $F_2RC_1\#1$ foram superiores estatisticamente em relação à testemunha comercial (cv. Santa Clara).

Como informação auxiliar ao teste de germinação, foi utilizado o índice de velocidade de germinação (IVG). Pelos resultados obtidos após avaliação do IVG, o acesso LA-716 (*S. pennellii*) diferenciou significativamente da testemunha suscetível (cv. Santa Clara). Os genótipos UFU80 - $F_2RC_1\#2$, UFU102 - $F_2RC_1\#7$, UFU102 - $F_2RC_1\#3$ e UFU80 - $F_2RC_1\#1$ foram superiores estatisticamente a testemunha comercial (cv. Santa Clara) e devem ser selecionados para futuros programas de melhoramento.

Quanto ao tempo médio de germinação, o acesso selvagem LA-716 diferenciou significativamente da testemunha suscetível. Os genótipos UFU80 - $F_2RC_1\#2$, UFU102 - $F_2RC_1\#7$,

Tabela 3. Comprimento inicial (CI, mm), comprimento final (CF, mm), primeira contagem (%PC), porcentagem de germinação (%G), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG, dias) em genótipos de tomateiro sob potencial osmótico de -0,3 MPa induzido por manitol e porcentagem de germinação padrão (%GP) ausente de solução osmótica. Monte Carmelo, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

Table 3. Initial length (mm), initial fresh weight (g), first count (%), germination percentage (%G), speed of germination index (IVG), average germination time (TMG) in tomato genotypes under -0,3 MPa osmotic potential and standard germination percentage (%GP) without osmotic solution. Monte Carmelo, Federal University of Uberlândia, 2015.

	Genótipo ^(x)	CI (mm)	CF (mm)	%PC	%GP	%G	IVG	TMG (dias)
T1=	UFU80 - F2RC1 #2	3,94bcd	28,86a	23,00d	80,0a	74,20b	16,81d	6,7a
T2=	UFU102 - F2RC1#7	4,97bc	23,58bc	42,00c	81,3a	84,60a	24,33ab	6,4ab
T3=	UFU102 - F2RC1#3	4,89bc	26,27ab	43,80c	80,7a	71,50b	19,32cd	6,0ab
T4=	UFU102-F2RC1#10	1,76e	12,99e	22,50d	79,5a	46,30c	10,15e	5,3ab
T5=	UFU80 - F2RC1#1	10,88a	26,84ab	54,20b	84,0a	70,20b	21,00bc	5,6ab
T6=	UFU83 - F2RC1#2	2,16de	14,23de	28,70d	82,5a	47,20c	9,76e	5,7ab
T7=	UFU69 - F2RC1#4	3,26cde	18,72cd	19,70ed	78,7a	46,60c	12,79e	6,8a
T8=	cv. Santa Clara	1,91de	17,70de	11,60e	80,0a	44,60c	9,12e	5,9a
T9=	LA-716	5,68b	6,55f	68,40a	81,0a	73,20b	27,69 ^a	4,9b
	Média geral	4,38	19,53	34,88	80,8	62,04	16,78	5,92
	CV (%)	34,49	18,31	18,16	2,71	10,36	15,88	20,93
	Contrastes ^(y)	Contrastes de interesse						
C1=	[(T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7)/7] - (T8)	2,64**	3,94*	21,81**	0,96 ^{ns}	18,34**	7,18**	0,17 ^{ns}
C2=	[(T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7)/7] - (T9)	-1,13*	15,09**	-34,98**	-0,05 ^{ns}	-10,25**	-11,39**	1,17*

^(x) Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si, a $p < 0,05$ pelo teste de Tukey; ^(y) **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$ e ^{ns} - não significativo, respectivamente, pelo teste Scheffé.

UFU102 - F₂RC₁#3, UFU102 - F₂RC₁#10 e UFU80 - F₂RC₁#1 foram superiores a testemunha comercial.

Após analisado a significância dos contrastes de interesse (C1 e C2), pode-se observar que os genótipos F₂RC₁ de tomateiro foram majoritariamente superiores em relação à testemunha comercial e possuem potencial genético para fomentar futuros programas de melhoramento. Os resultados obtidos pelos contrastes reforçam a eficiência de seleção de genótipos de tomateiro tolerantes ao déficit hídrico a partir de soluções obtidas com manitol, especialmente na concentração de -0,3 MPa.

O acesso selvagem LA-716 (*S. pennellii*) diferenciou significativamente em relação à testemunha comercial para todas as variáveis avaliadas, demonstrando que o déficit hídrico induzido por manitol proporcionou eficiência de seleção em genótipos de tomateiro. Estes resultados foram confirmados não só pela capacidade de selecionar o acesso selvagem, sabidamente tolerante ao déficit hídrico, mas também pelo fato de conferir eficiência de seleção em genótipos F₂RC₁. De fato, durante o melhoramento convencional ao aplicar métodos de seleção indireta requer em etapas mais avançadas a utilização de testes diretos. No entanto, apesar de eficiente, a seleção direta requer maior demanda de tempo e recursos (Nahar & Ullah, 2006; Shamim et al., 2014), o que torna relevante a utilização de métodos indiretos nas etapas iniciais em um programa de melhoramento.

A proposta metodológica da qual utilizou-se o nível de potencial osmótico de -0,3 MPa obtido a partir da utilização de 22,29 g L⁻¹ de manitol P.A (C₆H₁₄O₆) - P.M. 182,17 mostrou-se eficiente para seleção indireta de genótipos de tomateiro tolerante ao déficit hídrico.

A avaliação do comprimento inicial, o teste de primeira contagem, a germinação, o índice de velocidade de germinação e o tempo médio de germinação podem ser considerados bons indicadores para seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico em tomateiro.

O genótipo F₂RC₁ (UFU80 - F₂RC₁#1) se destacou entre as demais, apresentando superioridade estatisticamente em relação à testemunha suscetível ao déficit hídrico (cv. Santa Clara) e similar ao acesso selvagem *S. pennellii* (tolerante ao déficit hídrico). Sugere-se que este genótipo seja utilizado para fomentar futuros programas de melhoramento genético do tomateiro visando níveis satisfatórios de resistência ao déficit hídrico.

4 Conclusões

O potencial osmótico de -0,3 MPa obtido a partir da utilização de 22,29 g.L⁻¹ de manitol P.A (C₆H₁₄O₆) - P.M. 182,17 mostrou-se eficiente para seleção indireta de genótipos de tomateiro tolerante ao déficit hídrico.

O genótipo F₂RC₁ (UFU80 - F₂RC₁#1) foi considerado tolerante ao déficit hídrico.

Referências

- AAZAMI, M. A.; TORABI, M.; JALILI, E. *In vitro* response of promising tomato genotypes for tolerance to osmotic stress. *African Journal of Biotechnology*, v. 9, n. 1, p. 4014-4017, 2010.
- ALVARENGA, M. A. R. *Tomate: produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia*. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.
- ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; FAGLIARI, J. R.; SANTOS, J. L. Influência do estresse hídrico simulado com

- manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 29, n. 1, p. 98-106, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222007000100014>.
- BELAY, G.; ZEMEDE, A.; ASSEFA, K.; METAFERIA, G.; TEFERA, H. Seed size effect on grain weight and agronomic performance of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter]. *African Journal of Agricultural Research*, v. 4, n. 9, p. 836-839, 2009.
- BORBA, M. E. A.; MACIEL, G. M.; FRAGA JUNIOR, E. F.; MACHADO JUNIOR, C. S.; MARQUEZ, G. R.; SILVA, I. G.; ALMEIDA, R. S. Gas exchanges and water use efficiency in the selection of tomato genotypes tolerant to water stress. *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 2, p. 1-9, 2017. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16029685>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. A.; LIMA, G. S.; SÁ, F. V. S.; ARAÚJO, T. T.; SILVA, E. C. B. Crescimento e formação de fitomassa do tomateiro sob estresse hídrico nas fases fenológicas. *Irriga*, v. 20, n. 1, p. 139-153, 2015. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n1p139>.
- CARVALHO, N.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.
- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- DALCHIAVON, F. C.; NEVES, G.; HAGA, K. I. Efeito de estresse salino em sementes de *Phaseolus vulgaris*. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 39, n. 3, p. 404-412, 2016. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA15161>.
- 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*, v. 59, n. 2, p. 192-199, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000200007>.
- KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; HAGA, K. I.; FERREIRA, J. P.; ARF, M. V. Germinação, vigor de sementes e crescimento de plântulas de milho sob condições de déficit hídrico. *Scientia Agraria*, v. 11, n. 2, p. 125-134, 2009. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v11i2.16464>.
- MORALES, R. G. F.; RESENDE, L. V.; MALUF, W. R.; PERES, L. E. P.; BORDINI, I. C. Selection of tomato plant families using characters related to water deficit resistance. *Horticultura Brasileira*, v. 33, n. 1, p. 27-33, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000100005>.
- NAHAR, K.; ULLAH, S. M. Effect of water stress on moisture content distribution in soil and morphological characters of two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivars. *Journal of Scientific Research*, v. 1, n. 3, p. 677-682, 2006.
- PÁDUA, G. P.; ZITO, R. K.; ARANTES, N. E.; FRANÇA NETO, J. B. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 3, p. 9-16, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222010000300001>.
- ROCHA, D.; MACIEL, G. M.; FRAGA JUNIOR, E. F.; MACHADO JUNIOR, C. S.; NOGUEIRA, G. G. S.; ALMEIDA, R. S. Seleção de genótipos de tomateiro submetidos ao estresse hídrico em função da expressão de características fisiológicas. *Agrária*, v. 11, n. 2, p. 80-84, 2016. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v11i2a5369>.
- RODRIGUES, L. N. Quantidade de água utilizada na agricultura irrigada: certeza e incertezas nas estimativas. *Irrigação e Tecnologia Moderna*, v. 114, n. 1, p. 47-53, 2017.
- ROUSSEAU, M. C.; JONES, C. M.; ADAMS, D.; CHETELAT, R.; BENNETT, A.; POWELL, A. Q. T. L. Analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 111, n. 7, p. 1396-1408, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s00122-005-0071-7>.
- SHAMIM, F.; FAROOQ, K.; WAHEED, A. Effect of different water regimes on biometric traits of some tolerant and sensitive tomato genotypes. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, v. 24, n. 1, p. 1178-1182, 2014.
- SILVA, J. M.; FERREIRA, R. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; DUTRA, A. F.; GOMES, J. P. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 40-46, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100006>.

Contribuição dos autores: Gabriel Mascarenhas Maciel realizou revisão de literatura e observou que não há pesquisas que relatam seleção de genótipos de tomateiro via manitol. Propôs a realização do experimento e delineamento experimental. Análise estatística; Andrea Farneze Berenguer contribui com a revisão de literatura, parte escrita e avaliação do experimento. Análise estatística; Ernani Clarete da Silva auxiliou na revisão de literatura e planejamento do experimento antes da execução. Interpretação dos resultados/respostas genéticas x fisiológicas relacionadas com o déficit hídrico; Eusímio Felisbino Fraga Junior auxiliou na interpretação dos resultados referente ao déficit hídrico. Aspectos fisiológicos relacionado como déficit hídrico; Debora Kelli Rocha realizou a condução do experimento e coleta de dados para análise estatística; Jaíne Priscila Rodrigues da Rocha realizou a condução do experimento e coleta de dados para análise estatística.

Fonte de financiamento: FAPEMIG, CNPq, PROPP, UFU.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.