

Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão¹

Water stress induced by mannitol in cotton cultivars

Fábio Rafael Echer^{2*}, Ceci Castilho Custódio³, Silvério Takao Hossomi⁴, Julio César Dominato³ e Nelson Barbosa Machado Neto⁴

Resumo - Este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos causados pela deficiência hídrica induzida por manitol no crescimento inicial de plântulas de algodão. O experimento foi conduzido em dezembro de 2007 em Presidente Prudente - SP. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x5, com 3 repetições. Os tratamentos foram gerados da combinação de quatro 4 cultivares de algodão (LD CV Frego; LD CV 02; FMT 701 e IAC 25) e cinco níveis de deficiência hídrica (0; -0,3; -0,6, -0,9 e -1,2 MPa) obtidos a partir de soluções de manitol. Potenciais hídricos da ordem de -0,9 MPa diminuíram significativamente a taxa de crescimento das plântulas de algodão. A diminuição do potencial hídrico reduziu a produção de massa seca da parte aérea de todos os cultivares e, aumentou a produção de massa seca da raiz até o potencial de -0,6 MPa. O cultivar LD CV 02 foi o que melhor se desenvolveu sob deficiência hídrica.

Palavras-chave - *Gossypium hirsutum*. Deficiência hídrica. Plântulas.

Abstract - The main goal of this work was to evaluate the effects induced by mannitol- water stress in the initial growing of cotton plants. The experiment was conducted as a completely randomized design, in factorial design 4 x 5, with 3 replications. Treatments were generated by the combination of four cotton cultivars (LD CV Frego; LD CV 02; FMT 701 and IAC 25) and five levels of water stress (0; -0.3; -0.6, -0.9 and -1.2MPa), obtained with mannitol solutions. Water potentials of -0.9 MPa reduced significantly the rate of cotton plants growth. The decrease of the water potential reduced the production of dry mass of the aerial part of all cultivars and increased the production of root dry mass on -0.6MPa potential. LD CV 02 cultivar exhibited a superior performance under water stress.

Key words - *Gossypium hirsutum*. Water deficiency. Seedlings.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 10/12/2009; aprovado em 08/11/2010

Trabalho dos alunos da Disciplina de Tecnologia de Sementes do curso de Mestrado em Agronomia

²Programa de Pós-Graduação em Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu-SP, Brasil, fabioecher@fca.unesp.br

³Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal/UNOESTE, Rod. Raposo Tavares Km 572, Presidente Prudente-SP, Brasil, 19.067-175

⁴Programa de Graduação em Agronomia/UNOESTE, Rod. Raposo Tavares Km 572, Presidente Prudente-SP, Brasil, 19.067-175

Introdução

O algodão (*Gossypium hirsutum* L. *latifolium* Hutch.) é matéria-prima básica da cadeia agrotêxtil, representando cerca de 90% do total das fibras naturais consumidas produzidas no Brasil. A espécie é naturalmente uma planta de interface entre ambiente xérico e savanas (ALLARD, 1999), mas foi domesticada e cultivada em ambientes onde a restrição hídrica não é necessariamente um problema.

A sementeira do algodão em ambiente de “safrinha” é caracterizada pela sementeira logo após a colheita da soja, normalmente até 10 de fevereiro, e representa cerca de 25% do cultivo de algodão no Mato Grosso. Assim, as inconstâncias pluviométricas nos meses mais chuvosos do ano, janeiro e fevereiro, podem comprometer a sementeira e o estabelecimento de plântulas no solo devido ao déficit hídrico.

A deficiência hídrica é um dos mais severos estresses ambientais, com efeitos evidentes no crescimento e na produtividade vegetal, e prejudica mais que todos os outros estresses combinados podendo ocorrer em qualquer local, mesmo em regiões úmidas (RAMPIONO, 2006; WANG et al., 2003). Todavia, a seleção de genótipos resistentes ao estresse hídrico na fase de germinação pode levar à identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca, os quais são fundamentais no desenvolvimento de novos cultivares tolerantes ao déficit hídrico.

Uma resposta fisiológica específica ao déficit hídrico representa a combinação de eventos moleculares prévios, que foram ativados pela percepção do sinal de estresse, sendo o um deles o aumento do teor de prolina em cultivares sensíveis (ASHRAF; FOOLAD, 2007, PARIDA et al., 2008;).

A identificação desses eventos em cultivares se faz necessária para o avanço dos programas de melhoramento genético do algodoeiro no Brasil, pois, a manutenção dos programas de melhoramento que selecionem cultivares produtivos e adaptados às condições edafoclimáticas locais é imprescindível (AHMAD et al., 2009).

O estabelecimento das plântulas é um dos três períodos chaves para o crescimento do algodão. Na embebição, caracterizada pela absorção de água pelas sementes, a limitação de água pode diminuir a velocidade da germinação ou até impedi-la, assim, potenciais hídricos negativos podem impedir a absorção de água, comprometendo a seqüência de eventos do processo germinativo (TORRES et al., 1999) e proporcionam uma ampliação no tempo de exposição à ação dos patógenos.

Soluções aquosas de manitol têm sido utilizadas em trabalhos de germinação com objetivo de simular

estresse hídrico em condições de laboratório, por ser um composto químico inerte e não tóxico (COELHO et al., 2010, COSTA et al., 2004, CUSTÓDIO et al., 2009, MACHADO NETO et al., 2004b, MACHADO NETO et al., 2006).

A germinação das sementes sob deficiência hídrica tem se mostrado dependente da espécie ou do cultivar, da qualidade fisiológica e do tamanho das sementes (MARTINELLI et al., 2000). Pereira et al. (1998) observaram diferenças nas taxas de absorção de água em diferentes genótipos de algodão, quando submetidos a estresse hídrico induzido por polietileno-glicol 6000. Furtado et al. (2007) observaram diferenças na germinação de sementes de algodão sob estresse salino.

Diante disso, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos causados pela deficiência hídrica induzida por manitol no crescimento inicial das plântulas de cultivares de algodão.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Faculdade de Ciências Agrárias da UNOESTE, em Presidente Prudente - SP, em novembro de 2009. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 5, com três repetições: quatro cultivares de algodão (LD CV Frego; LD CV 02; FMT 701 e IAC 25) e cinco níveis de deficiência hídrica (0; -0,3; -0,6; -0,9 e -1,2 MPa) obtidos a partir de soluções de manitol nas concentrações de 0; 22,29; 44,58; 66,87 e 89,17 g L⁻¹, respectivamente, calculados pela fórmula de Van't Hoff (TAIZ; ZEIGER, 2004), ou seja: $\psi_{os} = -RTC$, em que: ψ_{os} = potencial osmótico (atm); R= constante geral dos gases perfeitos (8,32 J mol⁻¹ K⁻¹); T = temperatura (K); C = concentração (mol L⁻¹) e T (K) = 273+T (°C).

As sementes dos cultivares foram provenientes da safra 2006/2007, separadas por tamanho, utilizando-se as

Tabela 1 - Concentrações de Manitol para se obter diferentes níveis de potencial osmótico da solução de embebição

Níveis de potencial osmótico (MPa)	Manitol (g L ⁻¹)
0	0
-0,3	22,29
-0,6	44,58
-0,9	66,87
-1,2	89,17

sementes retidas na peneira de crivo circular 12, tratadas com Carboxin + Thiram 200SC®, na dose equivalente a 500 g para 100 kg de sementes, e mantidas a 20 °C, na sala de armazenamento de sementes do laboratório.

Para a germinação foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, envolvidas entre três toalhas de papel embebidas (duas bases e uma cobertura) com 2,25 vezes o seu peso com água (KRZYZANOWSKI, 1991). Formou-se um rolo, e conduziu-se até a sala de germinação, onde estes foram embalados em sacos plásticos de polietileno e mantidos em um germinador tipo Mangelsdorf a 25 °C.

Para se evitar interferência do vigor dos lotes de sementes, as plântulas com quatro dias de germinadas, foram selecionadas e transferidas para os diferentes níveis de manitol para simulação da deficiência hídrica. Três repetições de 10 plântulas de algodão, uniformes, foram alinhadas a 10 cm da borda superior da folha e o colo e a ponta da raiz, marcados com lápis cópia, para posterior medição do comprimento das raízes. As plântulas foram mantidas nas mesmas condições da germinação (BRASIL, 2009). A avaliação foi realizada quatro dias após a aplicação da simulação de deficiência hídrica induzida por soluções de manitol.

As taxas de crescimento relativo foram calculadas pela fórmula de Hunt (1982) adaptada (Equação 1):

$$R = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Onde; R = taxa de crescimento; ln = logaritmo neperiano; W₁ = comprimento ou massa inicial; W₂ = comprimento ou massa final; t₁ = tempo inicial e t₂ = tempo final. Os dados referentes à taxa de crescimento relativo foram expressos em tamanho enquanto as demais foram expressos em massa.

As variáveis analisadas foram: o tamanho médio inicial e final de raízes e taxa de crescimento relativo em comprimento da raiz (TCRC); massa seca da parte aérea (MSPA) e de raiz (MSR); ganho de massa da parte aérea (GMSPA) e de raiz (GMSR) e a relação raiz/parte aérea (R/PA), as taxas de crescimento relativo em massa de parte aérea (TCRPA) e de raízes (TCRR). Todas as variáveis, à exceção do tamanho médio inicial e final e taxa de crescimento relativo em comprimento, foram calculadas com base na massa seca.

Para as avaliações das massas secas iniciais de raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA), três repetições de 10 plântulas, equivalentes às utilizadas no experimento, foram seccionadas, em parte aérea e raízes, e tiveram sua massa determinada por incubação em estufa a 60 °C

por 48 horas, com a pesagem em balança analítica com precisão de 0,001 g. As plântulas tratadas foram seccionadas e postas a secar do mesmo modo. O ganho de matéria seca foi obtido pela diferença entre a matéria seca final e a inicial de cada tratamento.

A análise estatística constou de análise de variância pelo teste F, e as médias foram agrupadas pelo teste Scott-Knott a 5% de significância (SCOTT; KNOTT, 1974; SILVA et al., 1999). Ainda, foram realizadas análises de regressão polinomial sendo escolhidos os modelos que obtiveram os maiores coeficientes de determinação (R²) significativo, utilizando-se o Software Estatístico SISVAR.

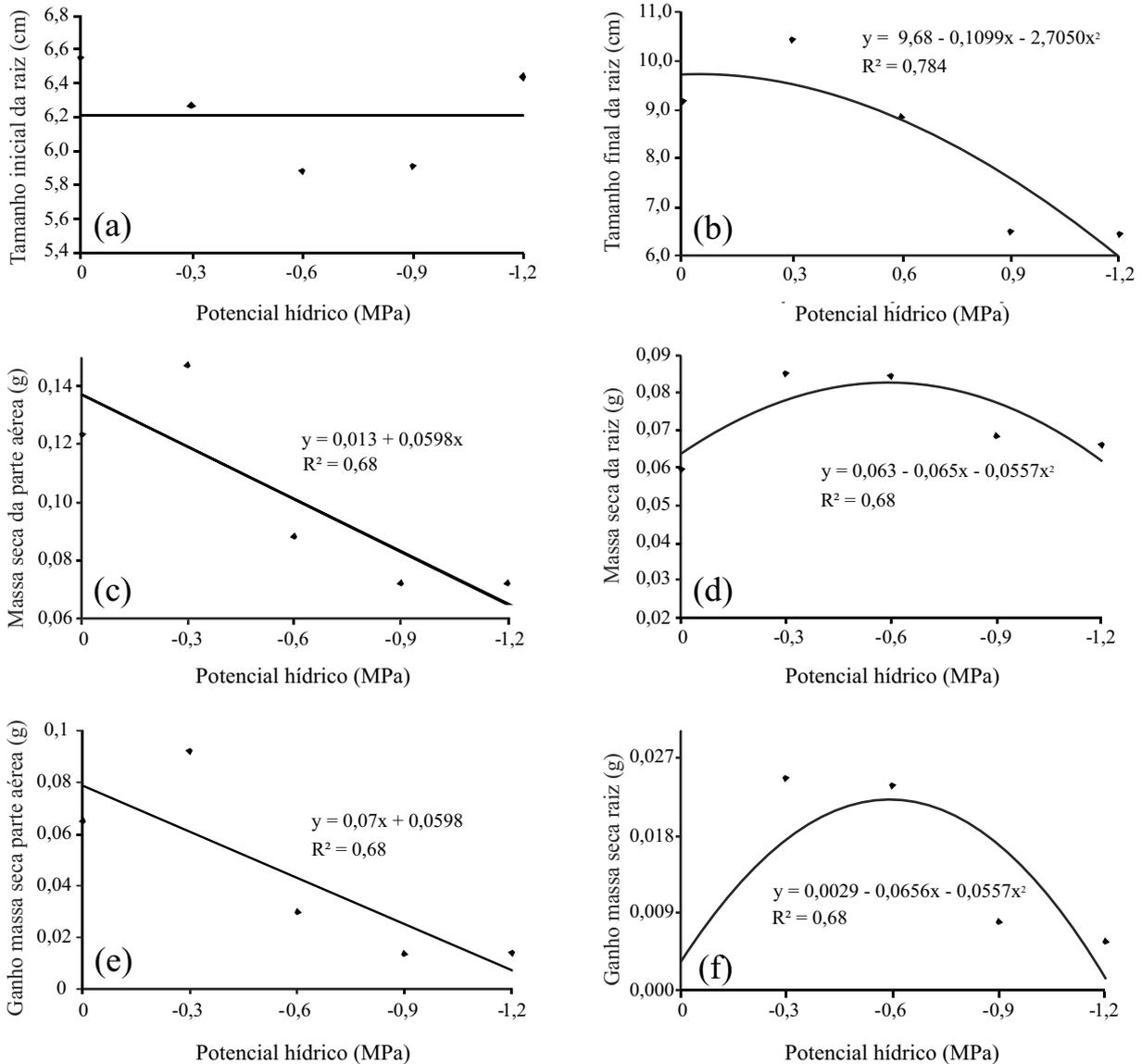
Uma matriz contendo os desempenhos dos quatro cultivares, no que se refere a cada taxa de crescimento relativo e a relação raiz/parte aérea nos quatro níveis de potencial osmótico, foi montada. Esta foi submetida a uma análise de agrupamento, pelo método do vizinho mais próximo (*Neighbor Joining Cluster*), utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 2006) e gerando uma árvore de similaridade.

Resultados e discussão

Os valores médios de tamanho inicial de raiz (FIG. 1a) das plântulas de algodão de todos os cultivares não diferiram estatisticamente entre si nos diferentes níveis de potencial osmótico. Contudo, o tamanho final das raízes (FIG. 1b) foi afetado negativamente, pois houve a diminuição no crescimento das raízes, à medida que aumentou a concentração do soluto.

De acordo com a Tabela 2, observou-se que os cultivares apresentaram resposta diferenciada para a taxa de crescimento relativo (TCRC), medida através do comprimento das raízes, nos potenciais hídricos de até -0,6 MPa.

Em ambiente sem estresse hídrico (0 MPa), o cultivar FMT-701 apresentou a maior TCRC. Já no potencial de -0,3 MPa, o cultivar IAC-25 apresentou a menor TCRC, enquanto os demais não diferiram entre si. Resultados mais promissores para diferenciação de cultivares quanto ao potencial de continuar crescendo, mesmo com deficiência de água foram obtidos com o potencial de -0,6 MPa, onde os cultivares LD CV 02 e FMT-701 apresentaram TCRC superior aos demais, o cultivar LD CV Frego ficou com desempenho intermediário e o cultivar IAC-25 com TCRC inferior aos demais. Fato esse não observado nos potenciais subsequentes de -0,9 MPa, que levou a um forte decréscimo na TCRC e completa paralisação deste em -1,2 MPa (TAB. 2).



R² coeficientes de determinação das equações ^{###}desdobramento significativo pelo teste F a 5 e 1 % respectivamente; ^{*}^{**}significância, pelo teste F, dos coeficientes das equações a 5 e 1 % respectivamente, ^{ns} não significativo

Figura 1 - (a) Tamanho inicial Médio (P = ns) e (b) Tamanho final Médio da Raiz (P < 0,05); (c) Massa seca da parte aérea (MSPA) (P < 0,05); (d) Massa seca da Raiz (MSR) (P < 0,05), (e) Ganho Massa Seca da Parte Aérea (P < 0,05), (f) Ganho Massa Seca da Raiz (P < 0,05), de acordo com o potencial hídrico da solução

Ávila et al. (2007) observaram resultados idênticos em plântulas de canola, pois com a elevação do estresse hídrico, a taxa de crescimento relativo, em cm, diminuiu de forma a paralisar o crescimento no potencial de -1,5 MPa.

Mattioni et al. (2009) verificaram maior crescimento radicular de plântulas de algodão do cultivar FMT 701 na menor disponibilidade de água (40%) em relação às demais condições de umidade (60 e 80%).

Observou-se na Tabela 2, que na ausência de estresse hídrico (0 MPa) os cultivares LD CV 02 e LD CV Frego apresentaram as maiores taxas de crescimento da parte aérea, que os cultivares FMT-701 e IAC-25, que não diferiram entre si, indicando uma maior capacidade dos cultivares LD CV 02 e LD CV Frego de produzirem massa seca da parte aérea em condições de disponibilidade total de água (TAB. 2).

Tabela 2 - Taxa de crescimento relativo de comprimento de raiz (TCRC), em cm dia⁻¹, e taxas de crescimento relativo da parte aérea (TCRPA) e da raiz (TCRR), em gramas dia⁻¹, dos cultivares de algodão sob diferentes potenciais hídricos

	Cultivar	Potencial Hídrico (MPa)				
		0	-0,3	-0,6	-0,9	-1,2
TCRC	LD CV 02	0,0661 b ¹	0,1260 a	0,1132 a	0,0348 a	0,0000 a
	FMT 701	0,1071 a	0,1406 a	0,1090 a	0,0229 a	0,0000 a
	LD CV FREGO	0,0638 b	0,1052 a	0,0435 b	0,0120 a	0,0000 a
	IAC 25	0,0225 c	0,0058 b	0,0036 c	0,0033 a	0,0014 a
	Fcalc ²	11,189**	34,639**	26,424**	1,737**	0,005 ^{ns}
TCRPA	LD CV 02	0,1567 a	0,1999 a	0,0989 a	0,0348 a	0,1071 a
	FMT 701	0,1388 b	0,1534 b	0,0423 b	0,0278 a	-0,0044 c
	LD CV FREGO	0,1785 a	0,2035 a	0,0918 a	0,0531 a	0,0615 b
	IAC 25	0,1303 b	0,2051 a	0,1013 a	0,0574 a	-0,0047 c
	Fcalc	4,040*	5,450**	6,848**	1,793 ^{ns}	26,411**
TCRR	LD CV 02	0,0077 a	0,1012 a	0,0920 a	0,0455 a	-0,0197 b
	FMT 701	0,0206 a	0,0278 b	0,0755 a	0,0155 a	0,0675 a
	LD CV FREGO	-0,0165 b	0,0958 a	0,0818 a	0,0277 a	0,0191 b
	IAC 25	-0,0344 b	0,0292 b	-0,0053 b	-0,0003 a	0,0030 b
	Fcalc	2,872*	7,784**	9,514**	1,782 ^{ns}	6,482**

¹Médias seguidas por letras idênticas na coluna não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. ²Fcalc - F calculado na análise de variância seguida de significância - ^{ns} - não significativa; * significativo a 5% e ** significativo a 1%

Comparando-se à condição de ausência de estresse hídrico (0 MPa), na condição de estresse hídrico de -0,3 MPa, todos os cultivares obtiveram aumento no crescimento da parte aérea, no entanto o cultivar FMT-701 apresentou a menor TCRPA. No potencial subsequente, de -0,6 MPa todos os cultivares tiveram uma severa diminuição na TCRPA, e o FMT-701 apresentou, novamente, a menor taxa de crescimento. Não houve diferença significativa entre os cultivares avaliados no potencial -0,9 MPa, havendo uma drástica redução da taxa de crescimento para todos (TAB. 2).

Observou-se também, comportamento diferenciado dos cultivares no potencial hídrico de -1,2 MPa, sendo que o LD CV 02 apresentou a maior TCRPA, seguido do LD CV Frego. Os demais cultivares não diferiram entre si, apresentando TCRPA negativa, o que indica que houve diminuição do peso seco da parte aérea quando os cultivares foram expostos a esse potencial (TAB. 2).

Na Tabela 2 estão dispostos os resultados da taxa de crescimento relativo de raiz (TCRR). Os cultivares LD CV 02 e FMT-701 obtiveram a maior taxa de crescimento da raiz que os cultivares LD CV Frego e IAC 25, quando avaliados na ausência de estresse (0 MPa). Na condição moderada de estresse de -0,3 MPa, observou-se que os cultivares LD CV 02 e LD CV Frego obtiveram maiores

taxas de crescimento da raiz que os demais cultivares; no entanto não diferiram entre si (TAB. 2).

Ao avaliar o comportamento geral de todos os genótipos utilizados, o ajuste foi linear negativo, pois com o aumento do estresse hídrico houve decréscimo na massa seca de parte aérea (MSPA - FIG. 1c). Esses resultados assemelham-se com os obtidos por Costa et al. (2004) e Machado Neto et al. (2004b) em sementes de soja, e em Machado Neto et al. (2006) em sementes de feijão, que conforme o aumento do estresse hídrico houve diminuição da matéria seca de parte aérea.

No potencial -0,6 MPa, observou-se diferença significativa entre os cultivares, sendo que o IAC-25 obteve a menor TCRR que os demais cultivares, que por sua vez não diferiram entre si. O IAC-25 obteve a TCRR negativa, o que indica que ao invés de ganhar massa seca, a raiz deste cultivar perdeu massa, por não conseguir transferir as reservas dos cotilédones e continuou respirando, o que consumiu parte da matéria seca depositada, indicando que o cultivar é susceptível ao estresse hídrico nos estágios iniciais de crescimento (TAB. 2).

De acordo com a curva ajustada para a massa seca de raiz, para a média de todos os cultivares avaliados, verificou-se que a maior massa seca de raiz foi obtida no potencial hídrico calculado de -0,58 MPa (FIG. 1d).

Também, o ganho de massa seca da raiz (FIG. 1f) foi maior no potencial de -0,6 MPa.

Esses resultados diferem dos obtidos por Costa et al. (2004) em sementes de soja de dois cultivares e de diferentes tamanhos de sementes. Os referidos autores observaram redução linear da massa seca de raiz dos cultivares IAC-18 e IAC-22 conforme o aumento do estresse hídrico.

Por outro lado, Ávila et al. (2007) em trabalho que avaliou a influência do estresse hídrico induzido por manitol em canola, observaram maior desenvolvimento da raiz no potencial -0,6 MPa, a partir do qual houve notável decréscimo no tamanho da raiz.

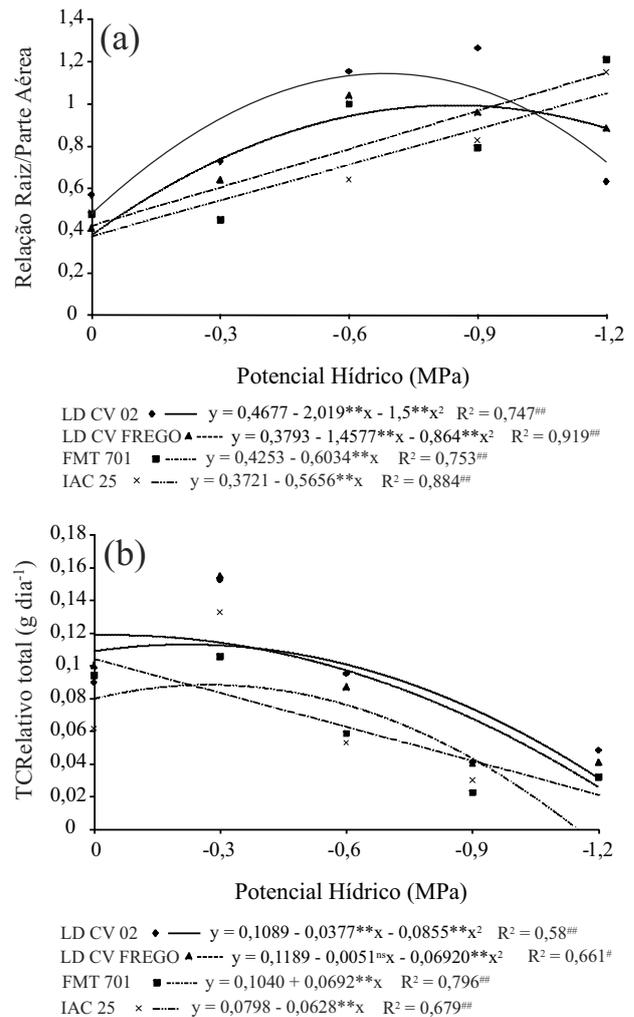
Távora e Melo (1991) descreveram que os principais mecanismos da planta para escapar do déficit hídrico são o aumento e aprofundamento da raiz, podendo ser pelo crescimento (alongamento celular) ou pelo ganho de massa seca (crescimento e aumento de espessura das paredes celulares).

Observa-se na Figura 2a que mesmo em condição de total disponibilidade de água houve diferença entre os genótipos de algodão avaliados, sendo que o IAC-25 foi o que apresentou a menor TCRT, mas com ponto de máxima no potencial calculado de -0,27 MPa. O cultivar FMT-701 apresentou TCRT decrescente, com redução de 0,069 g dia⁻¹, em função de aumento da restrição hídrica. Os cultivares LD CV 02 e LD CV Frego apresentaram maiores TCRT no potencial hídrico calculado -0,22 e -0,037 MPa, respectivamente (FIG. 2a). Apesar de o IAC-25 apresentar um ponto de máximo em um potencial mais restritivo, apresentou uma TCRT (0,09 g dia⁻¹) inferior ao LD CV 02 e LD CV Frego (0,113 e 0,119 g dia⁻¹, respectivamente).

Em plantas de algodão, segundo Smith e Cothren (1999) potenciais hídricos inferiores a -1,5 MPa, afetam negativamente a assimilação de CO₂, transporte de seiva inorgânica no xilema, fluxo de seiva orgânica no floema e respiração, enquanto aumenta a atividade de enzimas hidrolíticas.

Observou-se que não houve diferença significativa entre os cultivares na ausência de estresse hídrico, na relação raiz/parte aérea (FIG. 2b). A relação raiz/parte aérea foi maior nos cultivares LD CV 02 e LD CV Frego, com pontos de máximo de -0,673 e -0,843 MPa, respectivamente. Os cultivares FMT-701 e IAC-25 (FIG. 2b) apresentaram relação raiz/parte aérea crescente com o aumento do déficit hídrico. Contudo, isso não significou um maior ganho de massa seca por estes cultivares, que apresentaram menor TCRT de maneira geral quando comparado com os outros dois cultivares.

De acordo com Smith e Cothren (1999), geralmente o estresse hídrico aumenta a relação raiz/parte aérea em



R² coeficientes de determinação das equações [#], ^{##} desdobramento significativo pelo teste F a 5 e 1 % respectivamente; ^{**}, ^{***} significância, pelo teste F, dos coeficientes das equações a 5 e 1 % respectivamente, ^{ns} não significativo

Figura 2 - (a) Relação raiz parte aérea (R/PA) e (b) Taxa de crescimento relativo total (TCRT), em gramas dia⁻¹, dos cultivares de algodão sob diferentes potenciais hídricos

plantas de algodão, por ser mais afetada a parte aérea da planta e, é uma forma de reduzir a superfície transpirante. Entretanto, Pereira et al. (1997) avaliaram dois genótipos de algodoeiro herbáceo e observaram que o cultivar CNPA Precoce 1, foi mais resistente ao déficit hídrico e desenvolveu menor relação R/PA (raiz/parte aérea) que o CNPA 7H, menos tolerante ao déficit hídrico.

A análise de agrupamento realizada nos materiais formou três grupos. O mais distante destes foi o grupo contendo o cultivar IAC-25. No grupo intermediário os cultivares LD CV Frego e FMT-701 e o último grupo apresentava o cultivar LD CV 02 (FIG. 3). Levando-se em

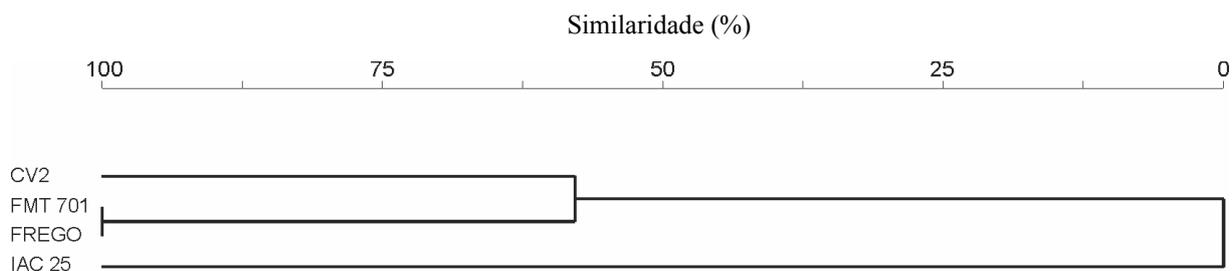


Figura 3 - Grupamento de similaridade pelo vizinho mais próximo (*Neighbour Joining*) de cultivares de algodão em função das características de tolerância à estresse hídrico

conta o desempenho dos cultivares, nas outras avaliações, pode-se inferir que o LD CV 02 apresentou as melhores respostas em tolerância ao estresse hídrico.

O crescimento de plântulas em ambientes estressantes, algumas vezes é visto como característica de susceptibilidade genotípica (PEREIRA et al., 1997). Todavia, ao contrário disso, esse tipo de comportamento só pode ser visto em genótipos tolerantes ao estresse (BAYOUMI et al., 2008; BRACCINI et al., 1996; MACHADO NETO et al., 2004a; MACHADO NETO; DURRÃES, 2006; SOUZA et al., 2003), por ser uma característica de tolerância ao ambiente, i.e., uma habilidade em continuar crescendo mesmo na adversidade.

A habilidade no crescimento das raízes em níveis de potencial hídrico muito baixo é uma característica de plantas não domesticadas, que permaneceram nos genótipos melhorados e podem ser reunidas. Plantas com essa habilidade, permanecem crescendo por conseguirem manter os tecidos mais hidratados que o meio circundante seja por ajustamento osmótico, ou por manterem os estômatos fechados por mais tempo e perderem menos água para o ambiente pela transpiração. No presente estudo, pode-se contar apenas com a primeira hipótese, por se tratarem de plântulas ainda dependentes de reservas cotiledonares e obtidas em ambiente controlado de germinador.

Os cultivares LD CV 02 e LD CV Frego perceberam a sinalização do estresse hídrico num nível bastante baixo, respondendo com um maior crescimento radicular entre os níveis máximos calculados de -0,673 e -0,843 MPa, respectivamente (FIG. 2b). Os cultivares FMT 701 e IAC-25, todavia, não responderam com esta percepção, tendo crescimentos radiculares cada vez menores à medida que aumentou a deficiência hídrica (FIG. 2a), o que por outro lado, dificulta o crescimento e posterior estabelecimento da cultura. Fato semelhante foi mencionado por Braccini et al. (1996) onde sementes de soja responderam de maneira análoga, porém com pontos de máxima entre -0,3 e -0,6 MPa, fato este corroborado posteriormente por Costa et al. (2004) e Machado Neto

et al. (2004b) e Machado Neto et al. (2006), Custódio et al. (2009) e Coelho et al. (2010) em feijão.

Conclusões

1. Potenciais hídricos abaixo de -0,9 MPa diminuem significativamente a taxa de crescimento das plântulas de algodão;
2. A redução do potencial hídrico decresceu a produção de massa seca da parte aérea de todos os cultivares e, aumentou a produção de massa seca da raiz até o potencial de -0,6 MPa;
3. Os cultivares utilizados apresentaram respostas diferenciadas para as variáveis estudadas, sendo que o cultivar LD CV 02 foi o mais tolerante sob déficit hídrico;
4. A avaliação de um cultivar não pode ser feita exclusivamente pela relação raiz/parte aérea, mas devem ser levadas em conta as taxas de crescimento total dos cultivares em diferentes níveis de estresse hídrico.

Agradecimentos

Agradecimentos à Sementes Bom Futuro e ao IAC pela doação das sementes.

Referências

- AHMAD, R. T. *et al.* Genetic analysis of some morpho-physiological traits related to drought stress. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 11, p. 235–240, 2009.
- ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. New York: John Wiley & Sons, 1999. 254 p.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance.

- Environmental Experimental Botany**, v. 59, n. 02, p. 206–216, 2007.
- 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**, v. 29, n. 01, p. 98-106, 2007.
- BAYOUMI, T. Y. *et al.* Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. **African Journal of Biotechnology**, v. 07, n. 14, p. 2341-2352, 2008.
- BRACCINI, A. L. *et al.* Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 18, n. 01, p. 10-16, 1996.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análises de sementes**. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 2009. 399 p.
- 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**, v. 32, n. 03, 2010.
- COSTA, P. R. *et al.* Estresse hídrico induzido por manitol em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 02, p. 105-113, 2004.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes - Análise multivariada e simulação**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 175 p. v. 1.
- CUSTÓDIO, C. C. *et al.* Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de feijão submetidas à diferentes soluções osmóticas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 04, p. 617-623, 2009.
- FURTADO, R. F. Efeito da salinidade na germinação de sementes de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 02, p. 224-227, 2007.
- HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1982. 248 p.
- IQBAL, N. *et al.* Effect of water deficit on protein reserves in cotyledons of germinating cotton seeds. **Science Asia**, v. 32, p. 329-331, 2006.
- KRZYŻANOWSKI, F. C. Teste de comprimento de raiz de plântulas de soja. **Informativo Abrates**, v. 02, p. 11-14, 1991.
- MACHADO NETO, N. B. *et al.* Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 01, p. 142-148, 2006.
- MACHADO NETO, N. B. *et al.* Hydric stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 04, p. 521-529, 2004b.
- MACHADO NETO, N. B. *et al.* Proline: use as an indicator of temperature stress in bean seeds **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 04, n. 03, p. 330-337, 2004a.
- MACHADO NETO, N. B.; DURÃES, M. A. B. Physiological and biochemical response of common bean varieties treated with salicylic acid under water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 06, n. 04, p. 269-278, 2006.
- MARTINELLI, A. *et al.* Germinação de milho cv. Al-34 em função do tamanho da semente e do potencial hídrico do substrato. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 02, p. 131-138, 2000.
- MATTIONI, F. *et al.* Desempenho de sementes de algodoeiro submetidas a diferentes tipos de estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 01, p. 080-085, 2009.
- PARIDA, A. K. *et al.* Differential responses of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. **Acta Physiol Plant**, v. 30, n. 05, p. 619–627, 2008.
- PEREIRA, J. R. *et al.* Deterioração, endurecimento e anormalidades em sementes e plântulas de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H.) sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 02, n. 02. p. 186-194, 1998.
- PEREIRA, M. N. B. *et al.* Crescimento e desenvolvimento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo em baixos níveis de umidade no solo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 01, n. 01, p. 1-8, 1997.
- RAMPINO, P. *et al.* Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. **Plant Cell Environ**, v. 29, n. 12, p. 2143–2152, 2006.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 03, p. 507-512, 1974.
- SILVA, E. C. *et al.* Evaluation of power and type I error rates of the Scott-Knott test by the method of Monte Carlo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, p. 687-696, 1999.
- SMITH, C. W.; COTHREN, J. T. **Cotton: Origin, history and production**. New York: John Wiley & Sons, 1999. 350 p.
- SOUZA, G. M. *et al.* Drought stability in different common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 03, p. 203-208, 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TÁVORA, F. J. A. F.; MELO, F. I. Respostas de cultivares de amendoim a ciclos de deficiência hídrica: Crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 22, n. 01/02, p. 47-60, 1991.
- TORRES, S. B. *et al.* Efeitos do estresse hídrico na germinação e no desenvolvimento de plântulas de pepino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 02, p. 59-63, 1999.
- WANG, W. *et al.* Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, n. 01, p. 1-14, 2003.