

Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de feijão submetidas à diferentes soluções osmóticas¹

Water deficiency during bean seed germination induced by different osmotic solutions

Ceci Castilho Custódio², Gisele Rabelo Salomão³ e Nelson Barbosa Machado Neto^{4*}

Resumo - O feijão é uma planta sensível ao estresse hídrico, devido à baixa capacidade de recuperação após a falta de água e a um sistema radicular pouco desenvolvido. O presente estudo teve o objetivo de verificar os efeitos das soluções osmóticas CaCl₂, MgCl₂ e Manitol nos potenciais de 0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa durante a germinação de sementes de feijão. Foram avaliadas a germinação, primeira contagem de germinação, classificação de vigor, comprimento de parte aérea e de raiz primária e as massas secas de parte aérea e raiz das plântulas. O cloreto de cálcio permitiu máxima germinação nos potencial de -0,55 MPa enquanto manitol e MgCl₂ não promoveram diferenças de germinação. A deficiência de água diminuiu a velocidade de germinação independente dos osmóticos. Entre os parâmetros de desenvolvimento de plântulas, o comprimento de raiz foi o mais sensível, indicando que a raiz se desenvolveu menos com os osmóticos CaCl₂ e MgCl₂ que com o manitol. Portanto, os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ funcionaram como sinalizadores de estresse induzindo maior tolerância da plântula à deficiência de água, daí o menor desenvolvimento de raízes nos tratamentos com CaCl₂ e MgCl₂ em relação ao manitol.

Palavras-chave - *Phaseolus vulgaris* L. Plantas-relações hídricas. Desenvolvimento de plântulas. Feijoeiro. Potenciais osmóticos.

Abstract - Snap beans are sensitive to water stress, due to their low ability to recover after water deficit and to their poor developed root system. This work was aimed to verify the effects of osmotic solutions CaCl₂, MgCl₂ and Mannitol in the potential of 0; -0.3; -0.6; -0.9 MPa during snap bean seed germination. Germination, first counting of germination, vigour classification, length and dry mass of seedlings shoot and roots were evaluated. CaCl₂ allowed maximum germination at -0.55 MPa but mannitol and MgCl₂ did not promote any changes in germination. Water deficit lowered the germination velocity for any osmotic solution used. Amid the developmental parameters, root length was the most sensible, showing that roots were less developed in CaCl₂ than in manitol. So, Ca²⁺ and Mg²⁺ worked as signaling ions, inducing a seedling tolerance to water deficit and the roots were less developed when exposed to CaCl₂ e MgCl₂ in relation to manitol.

Key words - *Phaseolus vulgaris* L. Water deficit. Seedling growth. Bean plant. Osmotic potentials.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 25/05/2009; aprovado em 19/11/2009

Trabalho de iniciação científica e de conclusão de curso do segundo autor

²Programa de Mestrado em Produção Vegetal/UNOESTE, Rod. Raposo Tavares Km 572, Presidente Prudente-SP, Brasil, 19067-175, ceci@unoeste.br

³Curso de Graduação de Agronomia/UNOESTE, Rod. Raposo Tavares Km 572, Presidente Prudente-SP, Brasil, 19067-175, giseleagro@hotmail.com

⁴Programa de Mestrado em Produção Vegetal/UNOESTE, Rod. Raposo Tavares Km 572, Presidente Prudente-SP, Brasil, 19067-175, nbmneto@unoeste.br

Introdução

Estudos com sementes têm sido conduzidos sob condições de deficiência hídrica usando soluções osmóticas para simular um ambiente com pouca umidade, sendo o efeito dependente tanto do soluto utilizado, em um mesmo grau de deficiência de água, como PEG - polietileno glicol (MORAES et al., 2005; SILVA et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2008); manitol (BRAGA et al., 1999; COSTA et al., 2004); CaCl_2 , KCl , NaCl e MgCl_2 (BENEDITO et al., 2008; BRACCINI et al., 1996; DANTAS et al., 2007; FURTADO et al., 2007; KRACKHARDT; GUERRIER, 1995; MACHADO NETO et al., 2006; MORAES; MENEZES, 2003); como da espécie, por exemplo, soja (MORAES; MENEZES, 2003) e feijão (DANTAS et al., 2007; MACHADO NETO et al., 2006).

Assim, PEG6000 foi mais drástico que manitol ou NaCl (MORAES et al., 2005) e o NaCl foi mais rigoroso que manitol (MACHADO NETO et al., 2004). O CaCl_2 foi similar ao manitol nos seus efeitos, sendo superior a NaCl e KCl (MACHADO NETO et al., 2006). O MgCl_2 e o PEG6000 foram mais estressantes que NaCl e KCl na germinação de sementes de soja (MORAES; MENEZES, 2003).

O sódio e o potássio funcionam como osmóticos e salinizantes, desestabilizando o equilíbrio $\text{Na}^+:\text{K}^+$ e acarretando rápida diminuição do crescimento. O cálcio age em diversos sistemas celulares (RAY et al., 2007), modulando a expressão de proteínas (DOMBROWSKI; BERGEY, 2007; OLSSON et al., 2004) estabilizando membranas (RAVEN et al., 2007; TAIZ; ZEIGER, 2004) sinalizando estresses ambientais (JIANG; HUANG, 2001; REDDY, 2001; SANDERS et al., 2002) e mantendo a integridade celular (YANG; POOVAIAH, 2002).

O íon Mg^{2+} poderá ter funções análogas ao Ca^{2+} em diversas vias de tolerância, no que diz respeito às injúrias mecânicas, devido à liberação dos mesmos no apoplasto ativando o peptídeo sistemina, como apontado por Dombrowski e Bergey (2007). Contudo, este íon é pouco estudado, havendo escassez de referências sobre estresses, especialmente em sementes.

Manitol causou reduções na germinação, no comprimento e massa seca de parte aérea e de raízes, e de plântulas normais de feijão em potenciais de -0,4 a -0,6 MPa, porém, entre os potenciais hídricos de -0,001; -0,01 e -0,2 MPa não foram constatadas diferenças na normalidade destas plântulas e nem em relação à matéria seca (BRAGA et al., 1999). Sementes de feijão germinadas em diferentes potenciais hídricos, obtidos a partir de soluções osmóticas de manitol, CaCl_2 , KCl e NaCl , mostraram que o manitol e o CaCl_2 não apresentaram diferenças estatísticas na maioria dos resultados analisados até a concentração de -0,6MPa, enquanto as soluções de KCl e NaCl , além de

funcionarem como reguladores osmóticos, foram tóxicas às sementes de feijão (MACHADO NETO et al., 2006). Para Dantas et al. (2007) soluções de NaCl acima de -0,02 MPa (10 mol m^{-3}) inibiram tanto a germinação como o crescimento das plântulas de feijão.

Este trabalho objetivou simular a deficiência de água sobre a germinação e vigor de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar 'IAC - Carioca 80SH', em condições de laboratório, utilizando manitol, CaCl_2 e MgCl_2 .

Material e métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Sementes da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, Presidente Prudente - SP, utilizando-se sementes de feijão 'IAC - Carioca 80SH', submetidas à germinação em diferentes potenciais osmóticos, simulando situações de estresse hídrico. Foram utilizados: manitol, CaCl_2 , MgCl_2 em potenciais de 0; -0,3; -0,6 e -0,9 MPa estabelecidos pela equação de Van't Hoff, citado por Taiz e Zeiger (2004), ou seja: $\psi_{os} = -RTC$, em que: ψ_{os} = potencial osmótico (atm); R= constante geral dos gases perfeitos ($0,082 \text{ atm.mol.L}^{-1}.\text{K}$); T= temperatura (K); C= concentração (mol.L^{-1}) e T (K)= $273+T(^{\circ}\text{C})$ (Tabela 1).

O teste de germinação consistiu em colocar quatro repetições de 50 sementes, distribuídas entre três folhas de papel toalha (Germitest®), sendo duas como base e uma para cobrir, organizadas em rolos, umedecidas com 2,5 vezes a sua massa seca (BRASIL, 1992) com as soluções já mencionadas (Tabela 1). Em seguida, os rolos foram envolvidos em sacos de polietileno e mantidos em germinador à temperatura constante de 25 °C. As contagens foram realizadas no quarto e sétimo dia, computando-se as plântulas normais 'fortes' e normais 'fracas', anormais e as sementes mortas (BRASIL, 1992; NAKAGAWA, 1999). Para o resultado de germinação considerou-se a porcentagem de plântulas normais (somatório de fortes e fracas nas duas contagens). Para a primeira contagem da germinação foram computadas apenas as plântulas normais obtidas na primeira avaliação (somatório de fortes e fracas) e para a classificação do vigor, apenas as normais fortes (somatório das duas contagens).

Foram consideradas plântulas normais 'fortes' as que não apresentaram pequenas irregularidades em quaisquer de suas estruturas essenciais, como sistema radicular, hipocótilo, cotilédone e aspecto geral da plântula (NAKAGAWA, 1999).

Para os testes de vigor foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes, distribuídas entre três folhas do substrato papel toalha (Germitest®), sendo duas como

base e uma para cobrir, organizadas em rolos, umedecidas com 2,5 vezes a sua massa seca (BRASIL, 1992) com as soluções já mencionadas (Tabela 1), formando linha única a 10 cm da borda superior da folha. Em seguida, os rolos foram envolvidos em sacos de polietileno e mantidos em germinador à temperatura constante de 25 °C. A avaliação foi realizada no quarto dia, medindo-se a raiz e o hipocótilo, seccionando-se a parte aérea (sem os cotilédones) e a raiz das plântulas normais, que foram acondicionadas separadamente, em sacos de papel fino e posteriormente levadas para secar em estufa a 60 °C por 48 horas. Ao término da secagem, os materiais foram resfriados em dessecador e pesados em balança analítica com precisão de 0,001 g (NAKAGAWA, 1999). O cálculo da relação raiz/parte aérea foi efetuado com base nos comprimentos de raiz e hipocótilo.

Tabela 1 - Concentrações de manitol, CaCl₂ e MgCl₂ para obter diferentes níveis de potencial osmótico da solução de embebição

Níveis de potencial osmótico (MPa)	Manitol	CaCl ₂ (g.L ⁻¹)	MgCl ₂
0	0	0	0
-0,3	22,29	7,98	6,85
-0,6	44,58	15,95	13,71
-0,9	66,87	23,94	20,56

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial de 3 x 4 (três agentes osmóticos x quatro potenciais hídricos), com quatro repetições. O software SISVAR (FERREIRA, 2000) auxiliou na análise dos dados que consistiu em aplicação do teste F, para a análise de variância, regressão polinomial para os níveis de potencial osmóticos e teste de Tukey para comparação de médias dentro de cada nível do potencial, para cada uma das variáveis estudadas.

Resultados e discussão

Os osmóticos utilizados para diminuir o potencial de água do substrato para germinação, promoveram diferentes respostas de germinação em feijão. O CaCl₂ permitiu máxima germinação no potencial calculado em -0,55 MPa, enquanto os demais osmóticos, manitol e MgCl₂, não promoveram diferenças de germinação (Figura 1A).

Em condições de plena disponibilidade hídrica, as sementes especialmente as mais secas, hidratam-se rapidamente, ocasionando danos por embebição. Ao mesmo tempo, pode haver hipoxia/anoxia, colaborando na perda de germinação das sementes (MARCOS FILHO, 2005).

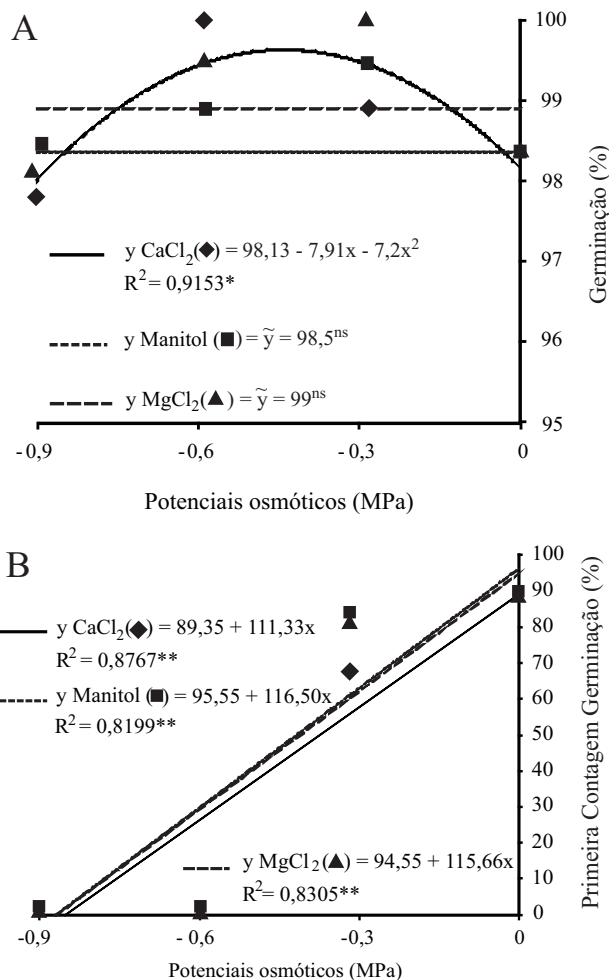


Figura 1 - Germinação (A) e primeira contagem da germinação (B) de sementes de feijão submetidas à simulação de deficiência hídrica durante a germinação em soluções de manitol, CaCl₂ e MgCl₂. Presidente Prudente, 2007. (ns: não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%)

Por outro lado, valores de potenciais próximos ao zero podem provocar o envigoramento de lotes de maior potencial fisiológico, enquanto que os lotes menos vigorosos respondem com imediato decréscimo na germinação (MACHADO NETO et al., 2004). Silva

et al. (2006) recomendam que estresse osmótico, em potencial igual ou inferior a -0,6 MPa, é um procedimento promissor para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja.

A deficiência de água diminuiu a velocidade de germinação independentemente das soluções osmóticas (Figura 1B). Nos potenciais de zero, -0,6 e -0,9MPa as diferenças praticamente inexistiram, por agruparem os dados dos diferentes osmóticos nos potenciais mais drásticos e por serem iguais no zero. No potencial -0,3 MPa ocorreu diferença entre os osmóticos, sendo que a utilização do CaCl_2 foi mais drástica que o manitol e o MgCl_2 na primeira contagem da germinação (Tabela 2). Houve ainda, a diminuição das plântulas normais fortes (classificação de vigor, Figura 2A). No potencial -0,3 MPa, o efeito do MgCl_2 sobre a classificação de vigor foi mais drástico que o CaCl_2 , enquanto o manitol ficou em posição intermediária (Tabela 2).

Segundo Tobe et al. (2003) o cálcio atua como protetor da germinação, enquanto que o magnésio, por vezes, teria efeitos mais tóxicos que o sódio, dado

corroborado pelo trabalho de Moraes e Menezes (2003). Neste caso isto foi observado na variável classificação de vigor (Tabela 2). Segundo Machado Neto et al. (2006) o cloreto de cálcio atenuou o estresse hídrico mesmo a -1,2 MPa para a germinação e foi superior, ao manitol e aos cloretos de sódio e potássio, na primeira contagem de germinação e na classificação de vigor a -0,6 MPa.

Em sementes, o vigor é mais afetado do que a germinação, quando essas são submetidas à deficiência hídrica por soluções osmóticas (MACHADO NETO et al., 2004, MORAES; MENEZES, 2003) as quais podem também apresentar toxidez aos sais envolvidos (MACHADO NETO et al., 2006).

Segundo Moraes et al. (2005) o vigor das sementes de feijão, na primeira contagem de germinação manteve-se em torno de 90% até -0,2 MPa, à partir do qual diminuiu drasticamente, sendo que em -0,25 e -0,3 MPa, não houve manifestação de vigor para PEG e NaCl, respectivamente. Todavia, Braga et al. (1999) observaram redução nos parâmetros de germinação, comprimento e massa de

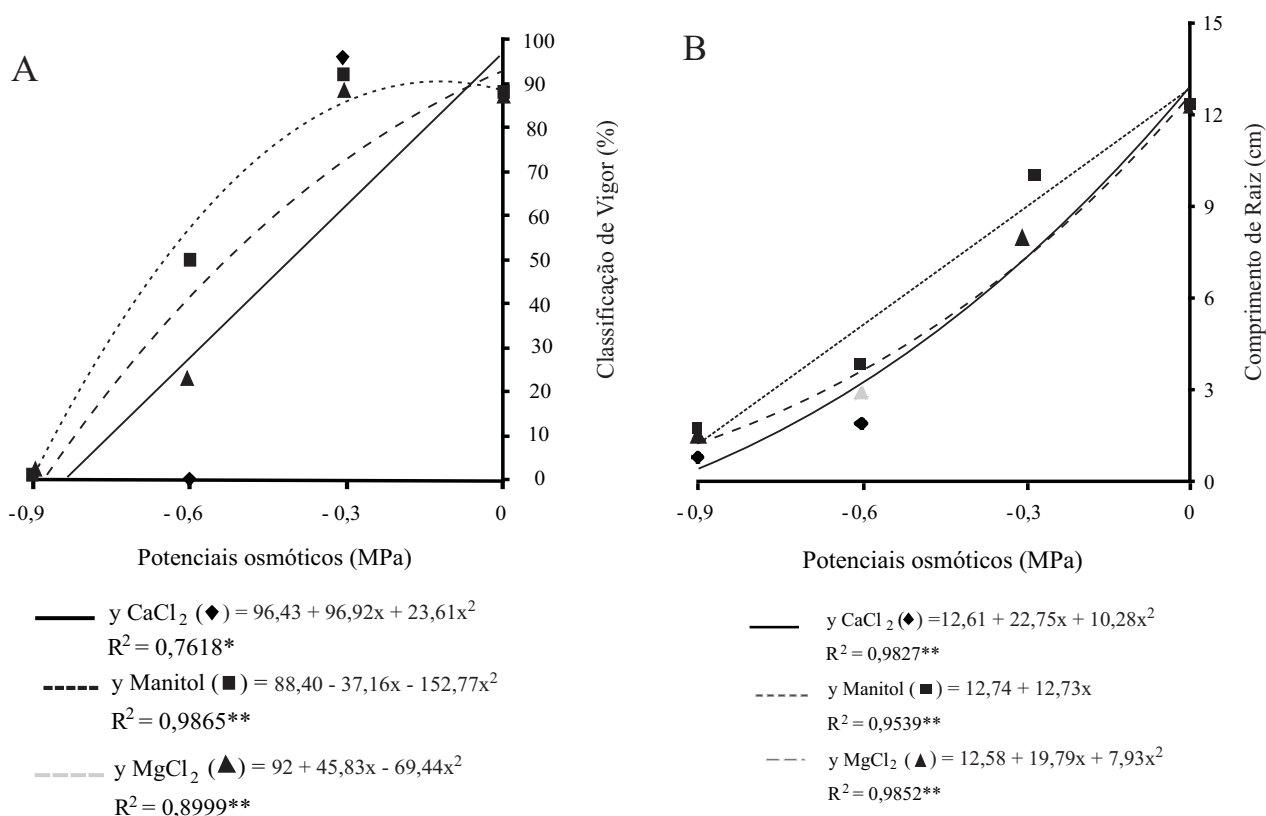


Figura 2 - Classificação de vigor (A) e comprimento de raiz (B) de plântulas originadas de sementes de feijão submetidas à simulação de deficiência hídrica durante a germinação em soluções de manitol, CaCl_2 e MgCl_2 . Presidente Prudente, 2007. (ns: não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%)

Tabela 2 - Germinação (G), primeira contagem da germinação (PCG), classificação de vigor (CV), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) e relação raiz/parte aérea (RR/PA) de sementes de feijão submetidas à simulação de deficiência hídrica durante a germinação em soluções de manitol, CaCl_2 e MgCl_2

	G(%)	PCG(%)	CV(%)	CR(cm)	MSPA(g)	MSR(g)	RR/PA
Potencial (MPa)	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
Manitol	100a	84a	92ab	10,15a	0,144b	0,089a	4,50a
CaCl_2	99a	68b	95a	8,54b	0,175ab	0,095a	3,21b
MgCl_2	100a	82a	89b	8,06b	0,204a	0,083a	3,49b
Valor de F	0,35 ^{ns}	32,06 ^{**}	3,82 ^{**}	9,98 ^{**}	13,46 ^{**}	1,48 ^{ns}	3,69 [*]

Médias seguidas por mesma letra indicam diferença não significativa pelo teste Tukey com 5% de significância. ns não significativo; * significativo a 5% e ** significativo a 1%

plântulas de feijão após -0,4 MPa. Machado Neto et al. (2006) estudando o comportamento de diversos osmóticos sobre o desempenho de sementes de feijão, observaram que a primeira contagem de germinação foi pouco afetada pela diminuição do potencial osmótico até -0,6 MPa induzido por CaCl_2 . No entanto, este mesmo potencial induzido por manitol reduziu para um quarto a primeira contagem da germinação. NaCl e KCl não permitiram a manifestação do vigor.

O comprimento de raiz diminuiu com o aumento da deficiência de água (Figura 2B). No potencial -0,3 MPa, o manitol foi menos drástico que os outros dois osmóticos (Tabela 2). Uma possível interpretação para este resultado é que os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} funcionem como sinalizadores de estresse induzindo maior tolerância da plântula à deficiência de água, daí o menor desenvolvimento de raízes nos tratamentos com CaCl_2 e MgCl_2 .

A massa seca de parte aérea decresceu com o aumento da deficiência de água (Figura 3A), e demonstrou diferença entre os osmóticos, no potencial de -0,3 MPa, dentre os quais o MgCl_2 permitiu maior transferência das reservas da semente para o crescimento da parte aérea que o manitol, sendo que o CaCl_2 não diferiu dos demais osmóticos (Tabela 2).

A massa seca de raiz decresceu com o aumento da deficiência de água para a germinação (Figura 3B), não ocorrendo diferenças entre os osmóticos utilizados (Tabela 2). Esses resultados podem ser explicados por diferenças de espessura ou de hidratação da raiz. A relação raiz/parte aérea apresentou ponto de máximo para o osmótico manitol calculado em -0,36 MPa (Figura 3C).

Em plantas adultas, a aplicação de Mg^{2+} atenua o acúmulo de matéria seca na parte aérea em plantas com deficiência deste elemento, modulando o fluxo do floema para o desenvolvimento das raízes e diminuindo a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) responsáveis por diversos efeitos na planta (CAKMAK; KIRBY, 2008), de resistência a estresses bióticos ou abióticos (BAILLY, 2004) até o crescimento e morte celular (GREGGAINS et al., 2000). A relação raiz/parte aérea foi maior no osmótico manitol (-0,36 MPa) que em CaCl_2 e MgCl_2 (Tabela 2). Isto pode ser devido, em parte, a Ca^{2+} e Mg^{2+} externos, que podem ter deslocado as reservas para o crescimento do eixo hipocótilo-radícula, por atuarem como sinalizadores de estresse, sendo que os íons mantiveram maior desenvolvimento da parte aérea em relação ao manitol. O aumento de Ca^{2+} e Mg^{2+} no apoplasto, neste caso pela aplicação exógena das soluções, segundo Dombrowski e Bergey (2007), incrementariam a resposta a estresse.

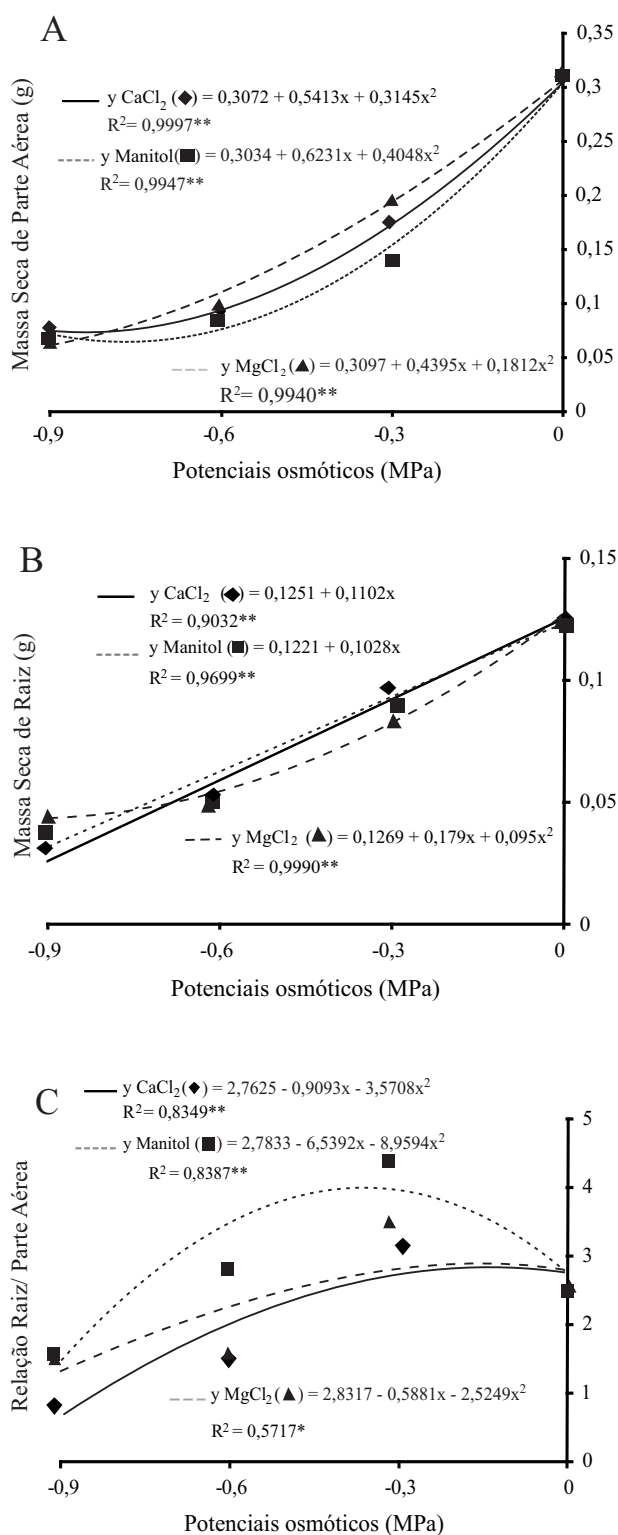


Figura 3 - Massa seca de parte aérea (A), de raiz (B) e relação raiz/parte aérea (C) de plântulas originadas de sementes de feijão submetidas à simulação de deficiência hídrica durante a germinação em soluções de manitol, CaCl_2 e MgCl_2 . (ns: não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%)

Conclusões

Todas as soluções osmóticas influenciam o vigor, sendo este mais sensível que a germinação à deficiência de água. O cloreto de cálcio permite máxima germinação no potencial de -0,55 MPa.

O comprimento de raiz é mais sensível que a massa seca de raiz, indicando que a raiz se desenvolve menos com os osmóticos CaCl_2 e MgCl_2 do que em manitol.

O manitol é o osmótico menos drástico não havendo diferenças entre os efeitos do CaCl_2 e o MgCl_2 quando estes são utilizados como osmóticos para testar deficiência hídrica.

Referências

- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*, v. 14, n. 02, p. 93-107, 2004.
- BENEDITO, C. P.; RIBEIRO, M. C. C.; TORRES, S. B. Salinidade na germinação e no desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* LAM.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 03, p. 463-467, 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 polietilenoglicol. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 18, n. 01, p. 10-16, 1996.
- BRAGA, L. F. *et al.* Efeito da disponibilidade hídrica do substrato na qualidade fisiológica de sementes de feijão. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 21, n. 02, p. 95-102, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análises de sementes**. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 1992. 365 p.
- CAKMAK, I.; KIRBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia Plantarum*, v. 133, n. 04, p. 692-704, 2008.
- COSTA, P. *et al.* Estresse hídrico induzido por manitol em sementes de soja de diferentes tamanhos. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 26, n. 01, p. 105-113, 2004.
- DANTAS, B. F. *et al.* Germination, initial growth and cotyledon protein content of bean cultivars under salinity stress. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 29, n. 02, p. 106-110, 2007.
- DOMBROWSKI, J. E.; BERGEY, D. R. Calcium ions enhance systemin activity and play an integral role in the wound response. *Plant Science*, v. 172, n. 02, p. 335-344, 2007.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000. São Carlos. *Anais...* São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FURTADO, R. F. *et al.* Efeito da salinidade na germinação de sementes de algodão. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 02, p. 224-227, 2007.

- GREGGAINS, V. *et al.* Metabolism-induced free radical activity does not contribute significantly to loss of viability in moist-stored recalcitrant seeds of contrasting species. **New Phytologist**, v. 148, n. 02, p. 267-276, 2000.
- JIANG, Y.; HUANG, B. Effects of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool season grasses. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 355, p. 341-349, 2001.
- KRACKHARDT, M.; GUERRIER, G. Effect of osmotic and ionic stresses on proline and organic acid contents during imbibition and germination of soybean seeds. **Journal of Plant Physiology**, v. 146, n. 05-06, p. 725-730, 1995.
- 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, 2004.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Fealq: Piracicaba, 2005. 495 p.
- MORAES, G. A. F. *et al.* Comportamento de feijão sob diferentes potenciais osmóticos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 04, p. 776-780, 2005.
- MORAES, G. A. F.; MENEZES, N. L. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, v. 33, n. 02, p. 219-226, 2003.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados nos desempenhos das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.
- OLSSON, P. *et al.* Expression of bovine calmodulin in tobacco plants confers faster germination on saline media. **Plant Science**, v. 166, n. 06, p. 1595-1604, 2004.
- RAVEN, P. H. *et al.* **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 813 p.
- RAY, S. *et al.* Expression analysis of calcium dependent protein kinase gene family during reproductive development and abiotic stress in rice (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) **Molecular Genetics and Genomics**, v. 278, n. 05, p. 493-505, 2007.
- REDDY, A. S. N. Calcium: silver bullet in signaling. **Plant Science**, v. 160, n. 03, p. 381-404, 2001.
- SANDERS, D. *et al.* Calcium at the crossroads of signaling. **Plant Cell**, v. 14, p. 401-417, 2002. Suplemento.
- SILVA, J. B. *et al.* Desempenho de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais osmóticos em polietilenoglicol. **Ciência Rural**, v. 36, n. 05, p. 1634-1637, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TEIXEIRA, L. R. *et al.* Avaliação de cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse em substrato contendo polietileno glicol. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 30, n. 02, p. 217-223, 2008.
- TOBE, K.; ZHANG, L.; OMASA, K. Alleviatory effects of calcium on the toxicity of sodium, potassium and magnesium chlorides to seed germination in three non halophytes. **Seed Science Research**, v. 13, p. 47-54, 2003.
- YANG, T.; POOVAIAH, B. W. Hydrogen peroxide homeostasis: activation of plant catalases by calcium/calmodulin. **PNAS**, v. 99, n. 06, p. 4097-4102, 2002.