

# ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE CULTIVARES DE SOJA SUBMETIDOS A DÉFICIT HÍDRICO INDUZIDO POR PEG 6000

## PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF SOYBEAN CULTIVARS SUBMITTED TO WATER DEFICIT INDUCED BY PEG 6000

Flávia Campos Freitas VIEIRA<sup>1</sup>; Célio Dias SANTOS JUNIOR<sup>2</sup>;  
Ana Paula Oliveira NOGUEIRA<sup>3</sup>; Ana Carolina Cordeiro DIAS<sup>4</sup>;  
Oswaldo Toshiyuki HAMAWAKI<sup>5</sup>; Ana Maria BONETTI<sup>6</sup>

1. Bióloga, Mestranda em Agronomia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil. [flavia.camposfv@yahoo.com.br](mailto:flavia.camposfv@yahoo.com.br); 2. Graduando em Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, MG, Brasil; 3. Engenheira Agrônoma, Professora Doutora em Genética e Melhoramento - UFU, Uberlândia, MG, Brasil; 4. Bióloga, Doutoranda em Genética e Bioquímica, - UFU, Uberlândia, MG, Brasil; 5. Bolsista DT-CNPq, Engenheiro Agrônomo, Professor, Doutor em Genética e Melhoramento - UFU, Uberlândia, MG, Brasil; 6. Bióloga, Professora Doutora em Genética- UFU, Uberlândia, MG, Brasil.

**RESUMO:** Na cultura da soja, o déficit hídrico é um dos fatores limitantes à obtenção da máxima produtividade. A identificação de genótipos com capacidade de tolerância à seca é fundamental para a solução desse problema. Objetivou-se, neste trabalho, analisar a qualidade fisiológica e as respostas bioquímicas de cultivares de soja (MG/BR 46 Conquista, UFUS Carajás, UFUS Impacta, UFUS Riqueza e UFUS Xavante) submetidas ao estresse hídrico com soluções de PEG 6000 em diferentes níveis de potencial osmótico (0; -0,1; -0,2; -0,3 e -0,4 MPa). Avaliou-se a qualidade fisiológica das cultivares por meio dos testes de comprimento de plântulas e biomassa fresca e seca de plântulas. As respostas bioquímicas foram avaliadas pela detecção do ácido indol-acético, pelo conteúdo de sacarose e pelo transporte de água nas plântulas. A cultivar UFUS Riqueza apresentou os melhores desempenhos nos testes de qualidade fisiológica, conteúdo de sacarose, absorção e velocidade de absorção de água em plântulas. A cultivar UFUS Xavante mostrou a maior concentração de AIA e o maior massa de plântulas no teste de transporte de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Glycine max* (L.) Merrill. Alterações morfológicas. Ajuste osmótico. Eficiência do sistema radicular. Tolerância à seca.

### INTRODUÇÃO

A soja é originária da China e pertence à família Fabaceae (Leguminosae) (SEDIYAMA; TEIXEIRA; BARROS, 2009). Participa do desenvolvimento de um amplo complexo agroindustrial, além de ser uma *commodity*, padronizada e uniforme, podendo ser produzida e negociada por produtores de diversos países (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2011).

Previsões ambientais sinalizam aumento do aquecimento global nas próximas décadas e, conseqüentemente, um aumento dos períodos de seca (NEPOMUCENO et al., 2001). A seca é um estresse abiótico que pode diminuir o rendimento médio da maioria das culturas em mais de 50% (BRAY, 2004), e está relacionada à diminuição do conteúdo de água no solo, submetendo as plantas ao déficit hídrico (PAIVA; OLIVEIRA, 2006).

A capacidade da planta para manter suas atividades metabólicas enquanto desidratada é mediada por respostas celulares que incluem mudanças: no seu ciclo, no sistema de endomembranas e vacuolização; bem como alterações na arquitetura da parede celular (MENESES et al., 2006). As plantas alteram o

metabolismo de diferentes maneiras, para acomodarem-se ao estresse ambiental (TAIZ; ZEIGER, 2004), como aumentando a produção de ácido indol-acético, oxidorreduções e acumulando sacarose no interior dos vacúolos celulares. Além disso, a eficiência no uso de água é de grande importância para a sobrevivência em condições de baixa disponibilidade hídrica, uma vez que a absorção contínua de água é determinante para o crescimento e desenvolvimento vegetal (PIMENTEL, 2004).

Compreender como as plantas respondem ao déficit hídrico e a identificação dos mecanismos de tolerância à seca é fundamental para prever os impactos na produção das culturas (ATKIN; MACHEREL, 2009; BARTELS; SUNKAR, 2005), além de ser crucial no desenvolvimento de cultivares de soja mais tolerantes (CASAGRANDE et al., 2001).

O objetivo do trabalho foi caracterizar as respostas fisiológicas e bioquímicas de cultivares de soja submetidas a diferentes níveis de potencial osmótico induzido por polietilenoglicol 6000 a fim de auxiliar na compreensão dos mecanismos envolvidos na tolerância à seca, gerando conhecimentos úteis para o melhoramento da soja.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os testes de qualidade fisiológica (comprimento de plântulas e biomassa fresca e seca) foram desenvolvidos no Laboratório de Tecnologia e Produção de Sementes do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e os testes bioquímicos (detecção do ácido indol-acético, conteúdo de sacarose e transporte de água nas plântulas) foram desenvolvidos no Laboratório de Genética do Instituto de Genética e Bioquímica (INGEB) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

O delineamento experimental para os testes de qualidade fisiológica foi em blocos casualizados com quatro repetições, utilizando um fatorial 5x5, da combinação de cinco cultivares de soja, *Glycine max* (L.) Merrill (MG/BR 46 Conquista; UFUS Carajás; UFUS Impacta; UFUS Riqueza e UFUS Xavante) e cinco níveis de potencial osmótico (0; -0,1 MPa; -0,2 MPa; -0,3 MPa; e -0,4 MPa) calculado como descrito por Braccini et al. (1996) e Teixeira et al. (2008a). As concentrações de PEG 6000 utilizadas para obter cada nível de potencial osmótico, encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Concentração de polietileno glicol (PEG 6000) estimada à temperatura de 25°C para a obtenção dos diferentes níveis de potencial osmótico.

Potencial Osmótico (MPa) <sup>1</sup>	Concentração (g /L) PEG 6000
0	0
-0,1	78,498
-0,2	119,544
-0,3	151,419
-0,4	178,302

<sup>1</sup>MPa = 9,87 atm = 10 bar

O teste de comprimento de plântulas foi conduzido com quatro subamostras de 25 sementes de cada cultivar. As sementes foram dispostas entre três folhas de papel toalha (germitest) embebidas com água e com as soluções de polietileno glicol 6000. Foram confeccionados rolos envoltos por sacos plásticos e colocados em germinador do tipo Mangelsdorf (DE LEO) no escuro (para evitar que a fonte de luz afete a temperatura) à 25°C, durante sete dias após a instalação do teste. O comprimento das plântulas consideradas normais foi realizado no sétimo dia com o auxílio de régua milimetrada, medindo-se o comprimento da plântula e de suas partes (hipocótilo e raiz primária) (NAKAGAWA, 1994; BRACCINI et al., 1996).

A avaliação da biomassa seca e fresca foi realizada após a avaliação do comprimento das plântulas, descartando-se os cotilédones. Os eixos embrionários (hipocótilo e raiz primária) foram pesados em balança de precisão (AND modelo HR-120) para obtenção da biomassa fresca. Em seguida, secados em estufa à 80°C, por um período de 24 horas, onde, após pesagem, obteve-se a biomassa seca das plântulas (NAKAGAWA, 1999).

Os testes bioquímicos (detecção do ácido indol-acético, conteúdo de sacarose e transporte de água nas plântulas) foram realizados com um número menor de tratamentos, oriundos da combinação das três melhores cultivares provenientes do teste de comprimento de plântulas (MG/BR 46 Conquista; UFUS Riqueza; UFUS Xavante) e dos dois níveis mais contrastantes de

potencial osmótico de PEG 6000 [zero (controle); -0,4 MPa].

Para a detecção e quantificação do ácido indol-acético (AIA), 300 mg de raízes primárias/tratamento foram maceradas em nitrogênio líquido, adicionou-se 0,2 mL de PBS 1X. Os extratos foram homogeneizados e centrifugados a 2292 xg por 3 min a 4°C. Transferiu-se 20 µL do sobrenadante juntamente com 40 µL do Reagente de Salkowski (FeCl3 10mM; ácido perclórico 34.3%) para um novo tubo, que foi incubado no escuro à temperatura ambiente por 30 min e realizou-se a medida da absorbância a 520 nm, sendo que todas os ensaios foram realizados em triplicatas. A determinação quantitativa de AIA foi realizada a partir da regressão obtida com a curva padrão (0 ng/L; 100 ng/L; 1 µg/L; 10 µg/L; 20 µg/L; 40 µg/L; 60 µg/L; 80 µg/L; 100 µg/L; 1 mg/L; 10 mg/L).

A determinação do conteúdo de sacarose foi feito com base na metodologia descrita por Moura, Pinto e Rodrigues (2007). O extrato enzimático de *Saccharomyces cerevisiae meyen* foi preparado com base na metodologia de Souza, Freitas e Leite (1999). A quantidade de sacarose presente em um tecido vegetal tem relação direta com a quantidade de glicose obtida na reação da sacarase, uma vez que a proporção da reação é 1 mol de sacarose:1 mol de glicose:1 mol de frutose. A concentração da sacarose presente nos extratos vegetais foi determinada pela equação obtida com a

curva padrão de glicose, ou seja: Sacarose [ $\mu\text{g/g}$ ] =  $[(\text{Abs}_{540\text{nm}}) + 0,0247] \div 0,0006$ .

O teste de transporte de água foi feito com seis repetições por tratamento, onde as plântulas foram inicialmente pesadas em balança analítica de precisão (AND, HR-120) e medidas seu comprimento. As plântulas foram colocadas em tubos de ensaio com as radículas imersas em anilina 5% v/v, que funcionou como um marcador para visualizar a absorção da água. Após 3h e 6h da instalação do teste, as plântulas foram retiradas dos tubos de ensaio com anilina e submersas em álcool 70% por 30 s e, em seguida, em água destilada por 30 s. As plântulas foram novamente pesadas e, com auxílio de régua milimetrada, foi medida a altura de absorção da água, pela visualização da coloração da anilina na radícula e hipocótilo da plântula.

Os resultados dos experimentos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 1% e 5% de probabilidade. Para o teste de comprimento de plântulas e biomassa fresca e seca foram ajustadas equações de regressão, quando possível. Para os testes bioquímicos, agruparam-se as cultivares pelos métodos de agrupamento de Tocher e de ligação média entre grupo (UPGMA) utilizando a distância genética Euclidiana média padronizada.

## RESULTADOS

Para as variáveis de qualidade fisiológica (comprimento de parte aérea, comprimento de parte radicular, comprimento total de plântulas, biomassa fresca e biomassa seca) das cinco cultivares, verificaram-se efeitos significativos para a fonte de variação potencial osmótico e cultivares, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Na maioria das variáveis observou-se interação significativa entre os fatores, exceto no comprimento radicular e total de plântulas, nesses casos, as diferenças somente podem ser explicadas pela redução causada no potencial osmótico ou pela diferença existente entre as cultivares. Na Figura 1 (A-E), são apresentados os valores de comprimento de plântulas (parte aérea, parte radicular e comprimento total) das cinco cultivares submetidas aos cinco níveis de potencial osmótico de soluções de PEG 6000.

Analisando a Figura 1, observa-se que as cinco cultivares apresentaram redução acentuada para a variável comprimento da parte aérea das plântulas à medida que houve aumento da concentração das soluções de PEG, ou seja, quanto mais negativo o potencial osmótico, menores

valores de comprimento de parte aérea foram observados. As variáveis comprimento de parte radicular e comprimento total de plântula apresentaram comportamento semelhante para a maioria das cultivares.

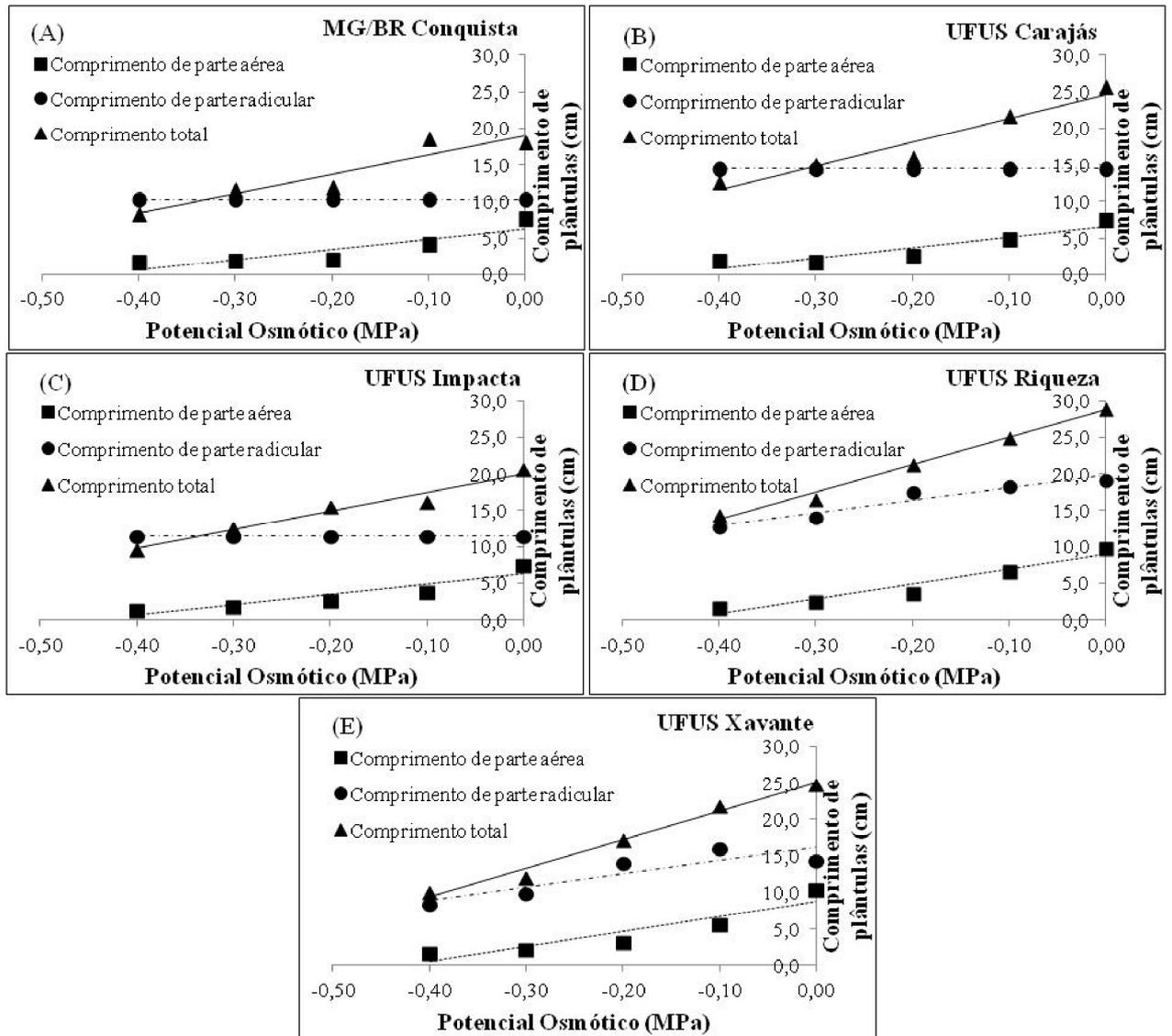
Na Figura 2 (A, B), encontram-se os resultados do teste de biomassa fresca e seca de plântulas de cinco cultivares submetidas aos cinco níveis de potencial osmótico de soluções de PEG

Analisando as variáveis bioquímicas, constatou-se que não houve diferença significativa ( $p > 0,01$ ) entre as concentrações de AIA para as cultivares MG/BR 46 Conquista e UFUS Riqueza nos dois níveis de potencial osmótico (0 e -0,4 MPa), sendo que a média geral na condição controle foi de 22,75  $\mu\text{g/mL}$  e na condição estressada foi de 107,30  $\mu\text{g/mL}$ . Enquanto que houve diferença significativa entre a concentração de AIA para a cultivar UFUS Xavante (682,84  $\mu\text{g/mL}$ ) e as demais cultivares, MG/BR 46 Conquista (77,02  $\mu\text{g/mL}$ ) e UFUS Riqueza (137,59  $\mu\text{g/mL}$ ), quando na condição estressada, além de que a concentração de UFUS Xavante, na condição estressada, foi 33,21 vezes (682,84  $\mu\text{g/mL}$ ) maior do que na condição controle (20,56  $\mu\text{g/mL}$ ), sendo significativo estatisticamente ( $p < 0,01$ ).

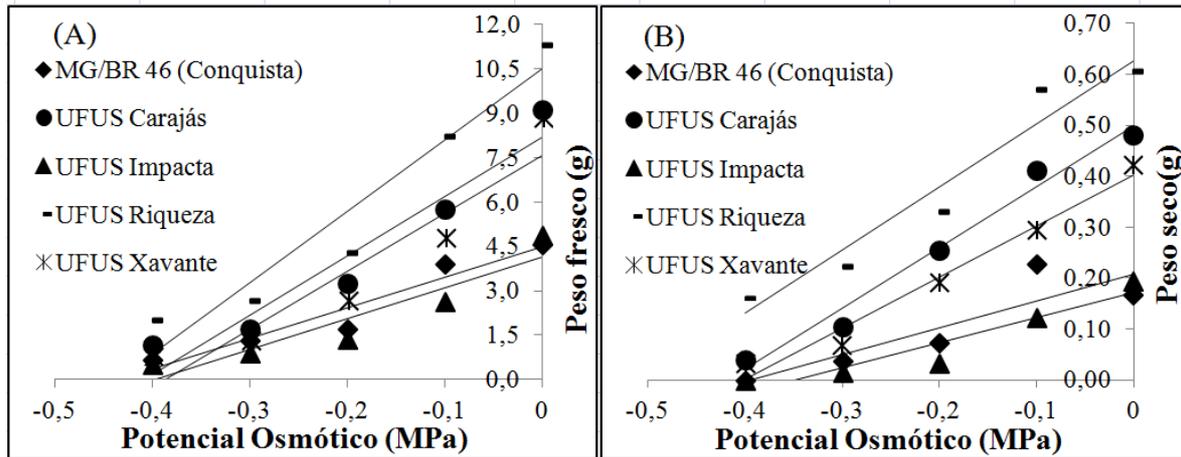
Para a variável conteúdo de sacarose, verificou-se que a cultivar UFUS Riqueza apresentou a maior quantidade de sacarose presente nas raízes primárias na condição controle (1213,75  $\mu\text{g/g}$ ) e estressada (1387,917  $\mu\text{g/g}$ ). Em seguida destacou-se a cultivar MG/BR 46 Conquista na condição controle (693,75  $\mu\text{g/g}$ ) e estressada (1014,583  $\mu\text{g/g}$ ), e por último a cultivar UFUS Xavante na condição controle (664,583  $\mu\text{g/g}$ ) e estressada (782,917  $\mu\text{g/g}$ ).

Para a avaliação da eficiência no transporte de água em plântulas de soja de diferentes cultivares sob condições controle (água) e estresse hídrico foram avaliados três variáveis: a massa das plântulas, a altura de absorção e a velocidade de absorção de água. As médias das variáveis estão apresentadas na Tabela 2.

Analisando a Tabela 2, observa-se que houve diferença estatisticamente significativa para todas as variáveis quando submetidas aos dois níveis de potencial osmótico, significando que o potencial osmótico de -0,4 MPa de PEG 6000 causou modificações no massa, na altura e velocidade de absorção de água em relação a essas variáveis quando submetidas somente à água.



**Figura 1.** Comprimento de plântulas (parte aérea, parte radicular e comprimento total) de soja das cinco cultivares [MG/BR 46 Conquista (A), UFUS Carajás (B), UFUS Impacta (C), UFUS Riqueza (D) e UFUS Xavante (E)] submetidas aos cinco níveis de potenciais osmóticos (0; -0,1; -0,2; -0,3; e -0,4 MPa) de solução de PEG 6000. \*\* e \*, significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F; (A) **MG/BR 46 Conquista**: Comprimento de parte aérea:  $\hat{y} = 6,32 + 14,20^{**}x; R^2 = 0,79$ ; Comprimento de parte radicular:  $\hat{y} = \bar{y}; y = 10,24$ ; Comprimento total:  $\hat{y} = 19,02 + 26,53^{**}x; R^2 = 0,89$ . (B) **UFUS Carajás**: Comprimento de parte aérea:  $\hat{y} = 6,53 + 14,33^{**}x; R^2 = 0,84$ ; Comprimento de parte radicular:  $\hat{y} = 18,16 + 18,50^{**}x; R^2 = 0,95$ ; Comprimento total:  $\hat{y} = 24,68 + 32,82^{**}x; R^2 = 0,94$ . (C) **UFUS Impacta**: Comprimento de parte aérea:  $\hat{y} = 6,28 + 14,16^{**}x; R^2 = 0,85$ ; Comprimento de parte radicular:  $\hat{y} = \bar{y}; y = 11,46$ ; Comprimento total:  $\hat{y} = 20,05 + 25,68^{**}x; R^2 = 0,96$ . (D) **UFUS Riqueza**: Comprimento de parte aérea:  $\hat{y} = 8,89 + 20,30^{**}x; R^2 = 0,93$ ; Comprimento de parte radicular:  $\hat{y} = 19,90 + 17,30^{*}x; R^2 = 0,93$ ; Comprimento total:  $\hat{y} = 28,80 + 37,61^{**}x; R^2 = 0,99$ . (E) **UFUS Xavante**: Comprimento de parte aérea:  $\hat{y} = 8,80 + 20,77^{**}x; R^2 = 0,85$ ; Comprimento de parte radicular:  $\hat{y} = 16,22 + 18,14^{*}x; R^2 = 0,78$ ; Comprimento total:  $\hat{y} = 25,01 + 38,91^{**}x; R^2 = 0,98$ .



**Figura 2.** Massa fresca (A) e massa seca (B) de plântulas de soja das cinco cultivares (MG/BR 46 Conquista, UFUS Carajás, UFUS Impacta, UFUS Riqueza e UFUS Xavante) submetidas aos cinco níveis de potenciais osmóticos (0; -0,1; -0,2; -0,3; e -0,4 MPa) de solução de PEG 6000. \*\* e \*, significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. (A): MG/BR 46 Conquista:  $\hat{y} = 4,50 + 10,38^{**}x$ ;  $R^2 = 0,93$ ; UFUS Carajás:  $\hat{y} = 8,17 + 19,20^{**}x$ ;  $R^2 = 0,93$ ; UFUS Impacta:  $\hat{y} = 4,14 + 10,45^{**}x$ ;  $R^2 = 0,88$ ; UFUS Riqueza:  $\hat{y} = 10,51 + 24,15^{**}x$ ;  $R^2 = 0,93$ ; UFUS Xavante:  $\hat{y} = 7,59 + 19,58^{**}x$ ;  $R^2 = 0,89$ . (B) MG/BR 46 Conquista:  $\hat{y} = 0,20 + 0,52^{*}x$ ;  $R^2 = 0,77$ ; UFUS Carajás:  $\hat{y} = 0,50 + 1,19^{**}x$ ;  $R^2 = 0,98$ ; UFUS Impacta:  $\hat{y} = 0,17 + 0,49^{*}x$ ;  $R^2 = 0,90$ ; UFUS Riqueza:  $\hat{y} = 0,63 + 1,24^{**}x$ ;  $R^2 = 0,94$ ; UFUS Xavante:  $\hat{y} = 0,40 + 1,00^{**}x$ ;  $R^2 = 0,97$ .

**Tabela 2.** Médias da massa de plântulas, altura de absorção e velocidade de absorção de água em três cultivares de soja (MG/BR 46 Conquista, UFUS Riqueza e UFUS Xavante) submetidas a dois níveis de

Cultivares	Massa (g)		Altura de absorção (cm)		Velocidade de absorção de água (mm/s)	
	Potencial Osmótico (MPa)					
Cultivares	0	-0,4	0	-0,4	0	-0,4
MG/BR 46 (Conquista)	0,877 BA	0,265 AB	18,100 BA	12,933 aA	0,017 BA	0,012 aA
UFUS Riqueza	0,938 BA	0,280 AB	29,933 AA	12,400 aB	0,027 AA	0,011 aB
UFUS Xavante	1,213 AA	0,348 AB	20,950 BA	9,783 aB	0,019 BA	0,009 aB

potencial osmótico (0 e -0,4 MPa).

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

A fim de observar o desempenho das cultivares a partir das variáveis bioquímicas analisadas (detecção de AIA, conteúdo de sacarose e absorção de água com anilina), o agrupamento das cultivares foi feito pelo método de agrupamento de Tocher por meio da distância euclidiana média (Tabela 3).

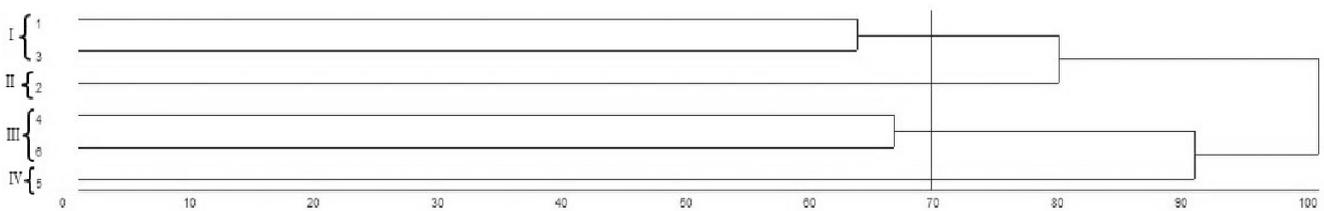
O primeiro grupo foi formado pelas três cultivares (MG/BR 46 Conquista, UFUS Riqueza e UFUS Xavante) analisadas na condição controle (água), ou seja, o comportamento dessas cultivares foi semelhante nesta condição. No segundo grupo encontraram-se as cultivares MG/BR 46 Conquista e UFUS Xavante, mostrando que na condição de

estresse hídrico apresentaram comportamento semelhante, ao passo que essas duas cultivares se distanciaram da cultivar UFUS Riqueza que, pelo seu comportamento diferenciado, formou o terceiro grupo.

O agrupamento pelo método de ligação média entre grupo (UPGMA) proporcionou a construção do dendograma (Figura 3) gerado com base na distância média euclidiana obtida com três cultivares em condição controle e sob estresse hídrico (-0,4 MPa). Um corte de 70% de dissimilaridade possibilitou a formação de quatro grupos.

**Tabela 3.** Agrupamento das cultivares (MG/BR Conquista, UFUS Riqueza e UFUS Xavante) de soja submetidas a duas condições (controle e sob estresse hídrico) pelo método de agrupamento de Tocher utilizando a distância euclidiana média como medida de distância genética obtida com cinco variáveis analisadas (detecção de AIA, conteúdo de sacarose, massa de plântulas, altura de absorção e velocidade de absorção de água).

Grupos	Tratamentos
I	Conquista-Controle/Xavante-Controle Riqueza-Controle/
II	Conquista-Estressada/Xavante-Estressada
III	Riqueza-Estressada



**Figura 3.** Dendrograma ilustrativo da análise de três cultivares de soja (MG/BR 46 Conquista, UFUS Riqueza e UFUS Xavante) submetidas a duas condições (controle e sob estresse hídrico) pelo método da ligação média entre grupo (UPGMA) obtido com a distância euclidiana média gerada com cinco variáveis (detecção de AIA, conteúdo de sacarose, massa de plântulas, altura de absorção e velocidade de absorção de água). Legenda: I = MG/BR 46 Conquista, UFUS Xavante no controle; II = UFUS Riqueza no controle; III = MG/BR 46 Conquista, UFUS Xavante sob estresse hídrico; IV = UFUS Riqueza sob estresse hídrico.

O primeiro grupo foi formado pelas cultivares MG/BR 46 (Conquista) e UFUS Xavante em condição controle e o segundo grupo resumiu-se a UFUS Riqueza em condição controle, verificando seu comportamento distinto na mesma condição em relação às duas primeiras cultivares. O terceiro grupo foi formado, também, pelas cultivares MG/BR 46 Conquista e UFUS Xavante, porém, submetidas ao estresse hídrico, apresentando um comportamento semelhante entre si. O último grupo foi formado por UFUS Riqueza sob estresse hídrico.

## DISCUSSÃO

A cultivar UFUS Riqueza obteve o melhor desempenho no teste de comprimento de plântulas. Apresentou os maiores valores médios de comprimento total de plântulas entre as cultivares, sinalizando seu bom comportamento diante de condições de restrição hídrica, tanto no controle quanto no menor potencial.

O comprimento de plântulas pode ser uma medida eficiente para distinção de genótipos adaptados a condições adversas, como a tolerância à seca. Entre os testes de comprimento das partes da plântula, o comprimento da parte radicular tem sido considerado o mais sensível para a diferenciação da

qualidade fisiológica de cultivares, conforme constata Vanzolini et al. (2007).

Vários trabalhos (NÓBREGA; VIEIRA, 1995; MORAES; MENESES, 2003; MACHADO et al., 2003; VANZOLINI et al., 2007) mostram que é esperado que conforme o potencial osmótico diminua, o comprimento da parte radicular aumente, numa relação inversamente proporcional. Esse comportamento foi relatado por Braccini et al., (1996), onde foi observado uma diminuição da relação parte aérea/radicular em plântulas de soja à medida que ocorreu o decréscimo do potencial osmótico de soluções de PEG 6000, devido a tendência de maior crescimento da parte radicular em detrimento da parte aérea, em plântulas sob condições de estresse hídrico.

Analisando a Figura 2, observa-se que a cultivar UFUS Riqueza destacou-se como a cultivar que apresentou o maior massa fresca e seca, o que era esperado, levando em consideração a relação positiva existente entre comprimento de parte aérea e radicular (ou comprimento de plântulas total) com o acúmulo de biomassa. De modo similar, a cultivar UFUS Impacta apresentou os valores mais baixos de massa fresca e seca de plântulas. Segundo Braccini et al. (1998), o desempenho de sementes de soja em

condições de déficit hídrico vai estar na dependência da sua qualidade inicial.

A matéria seca da planta consiste, com exceção da água, em tudo que se encontra na planta, incluindo carboidratos, proteínas, lipídeos e nutrientes minerais. O crescimento e o desenvolvimento da soja podem ser medidos pela quantidade de matéria seca acumulada na planta (CÂMARA, 1998). Uma vez que a água desempenha um papel essencial no metabolismo celular, é esperado que as cultivares com maior massa fresco, ou seja, com maior conteúdo de água, possivelmente tenham mais condições de metabolizar suas reservas em energia para desenvolvimento da plântula.

Em relação à concentração de ácido indolacético, a produção do mesmo, de acordo com Taiz e Zeiger (2004), está envolvida em alterações morfológicas nas estruturas celulares de indivíduos submetidos a estresse hídrico, como o crescimento de raízes laterais e adventícias, alongamento das células e diferenciação vascular, desse modo, plântulas que apresentam elevadas concentrações desse fitormônio tenderão a apresentar crescimento das raízes primárias para aumento da superfície de contato com o solo e, conseqüentemente, aumento da área de absorção. Ribaut e Pilet (1994) observaram que com o aumento do estresse hídrico houve aumento no nível de AIA em raízes de milho. Esses autores concluíram que as auxinas (AIA) parecem ter importante papel na regulação do metabolismo e crescimento das raízes em condições de estresse hídrico. Concordando com isto, Peres, Zsögön e Kerbauy (2009) verificaram um crescimento máximo das raízes de orquídeas em estresse osmótico e que o aumento de AIA acompanhou o aumento do estresse.

No teste de detecção de AIA, quando se compara as cultivares, observou-se que não houve diferenças na concentração de AIA na condição controle (água), no entanto, quando as plântulas se encontravam estressadas (-0,4 MPa), a cultivar UFUS Xavante apresentou as maiores concentrações de AIA em relação as cultivares MG/BR 46 Conquista e UFUS Riqueza. Assim, pode-se inferir que UFUS Xavante estaria mais adaptada em relação as demais cultivares analisadas em condições de deficiência hídrica. (houve diferença estatística, descrita em resultados).

A sacarose está entre os principais solutos acumulados em soja para a manutenção do ajuste osmótico (MEYER; BOYER, 1981). Quantidades elevadas de glicose (a partir da qual se infere sacarose) indicam maiores reservas metabólicas para o desenvolvimento vegetal, mas

principalmente, maior possibilidade de ter um bom ajuste osmótico devido à presença de osmossolutos em seus tecidos.

Meneses et al. (2006) relatam a existência de forte correlação entre o acúmulo de açúcares e a tolerância ao estresse osmótico em plantas. Timpa et al. (1986), trabalhando com algodoeiros estressados em seis níveis osmóticos, observou o acúmulo de sacarose nas tensões osmóticas mais negativas, possivelmente relacionadas à taxa de translocação de osmossolutos para dentro das folhas, visando ao restabelecimento do ajustamento osmótico. Chaves-Filho e Stacciarini-Seraphin (2001) estudando o teor de carboidratos solúveis (sacarose) em folhas e raízes de uma espécie forrageira tropical verificaram um aumento significativo desse soluto em resposta aos tratamentos sob estresse hídrico, devido principalmente à contribuição de açúcares redutores.

Nesse trabalho, as concentrações de sacarose observadas nas raízes primárias foram distintas entre as cultivares, e o bom desempenho de UFUS Riqueza pode ser um indicativo que essa cultivar teria maiores chances de sobrevivência em ambientes com deficiência de água. Contudo, esse teste não foi eficiente para detectar diferenças na quantidade de sacarose em condições controle e sob estresse hídrico, necessitando de mais estudos e demais testes para a verificação da fisiologia de cultivares de soja nestas condições.

De acordo com a Tabela 2, a cultivar UFUS Xavante apresentou o maior massa média de plântulas, seguido das cultivares UFUS Riqueza e MG/BR 46 Conquista. No entanto, observou-se que todas as cultivares tiveram redução de aproximadamente 30% no sua massa média quando submetidas ao estresse hídrico. Esse resultado pode ser explicado levando em consideração que durante o período do teste as plântulas ficaram expostas a temperatura ambiente do laboratório e, naturalmente, sofreram desidratação, além do fato de que a absorção de água com a solução de anilina é relativamente mais lenta em relação à absorção de água pura, retardando ligeiramente a entrada de água nas células, o que causou o efeito de murcha das plântulas e, conseqüentemente, sua perda de massa.

A eficiência no uso de água é de grande importância para a sobrevivência do vegetal em condições de baixa disponibilidade hídrica (PIMENTEL, 2004). Em relação à altura de absorção de água, medida através da visualização da coloração da anilina no hipocótilo da plântula, a cultivar UFUS Riqueza destacou-se em relação às outras cultivares nesta condição, comprovando sua maior capacidade de absorção de água.

Similarmente aos dados de absorção de água, a cultivar que obteve os maiores valores médios de velocidade de absorção foi UFUS Riqueza. Podendo ser inferido que quanto maior a capacidade de absorção de água pela plântula, maior será sua velocidade de absorção, manifestando uma relação direta entre as variáveis. Muitos autores têm sugerido também que o sistema radicular funciona como um sensor primário da deficiência hídrica devido à diminuição do conteúdo de água do solo (PIMENTEL, 2004). Frensch (1997) observou que a propagação das mudanças na condutividade hidráulica de plântulas de milho, medida em raízes com mais de 500 mm de comprimento, ocorre em frações de segundo ao longo dessas raízes.

O sistema radicular com maiores superfícies de absorção e eficiência na aquisição de água é uma característica desejável para manter a estabilidade de produção, principalmente em épocas de baixa precipitação (ARNON, 1975). Por meio desse teste verificou-se diferença na eficiência no transporte de água por plântulas de soja de diferentes cultivares nas condições controle e sob estresse hídrico, resultando em uma maior média das variáveis naquela condição do que nesta. Nesse sentido, este teste pode ser utilizado visando diferenciação de cultivares quando submetidas a essas condições osmóticas.

Os resultados por ambos os métodos de agrupamento (Tocher e UPMGA) são concordantes ao distinguir UFUS Riqueza das demais cultivares em condição de estresse hídrico. No entanto, o segundo método (Figura 3) foi mais sensível para diferenciação em condição controle do que o primeiro método (Tabela 3). Esses dados comprovam a existência de variabilidade genética entre as cultivares. Análises semelhantes foram feitas por Texeira et al. (2008a) e Texeira et al. (2008b), em que obtiveram por meio das distâncias euclidianas, a verificação de variabilidade genética

entre cultivares de soja submetidas a diferentes níveis de potenciais osmóticos de PEG 6000.

Considera-se improvável que um determinado teste, quer seja germinativo, fisiológico ou bioquímico, seja apropriado, mesmo que para uma única espécie, sob todas as condições (HAMPTON; COOLBRAR, 1990, *apud* VIEIRA; CARVALHO, 1994) e não existe uma única variável fisiológica que por si só seja indicativa de tolerância à seca (PIMENTEL, 2004). Então, é importante a realização de vários testes sob condições semelhantes para a avaliação dos critérios desejados, a fim de se obter uma maior acurácia e aproximação das repostas em condições reais.

## CONCLUSÕES

A cultivar UFUS Riqueza apresentou o melhor desempenho nos testes de comprimento de plântulas, biomassa fresca e seca de plântulas, conteúdo de sacarose, absorção e velocidade de absorção de água em plântulas;

A cultivar UFUS Xavante mostrou a maior concentração de AIA e o maior massa de plântulas no teste de transporte de água;

Os testes de qualidade fisiológica de sementes, detecção do ácido indol-acético e o teste de transporte de água podem ser utilizados para a distinção de cultivares quanto à tolerância ao estresse hídrico, no entanto, novas pesquisas são necessárias incluindo maior número de cultivares.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Machado dos Santos, por gentilmente permitir a utilização das instalações do Laboratório de Tecnologia e Produção de Sementes do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da UFU e à FAPEMIG pelo financiamento do projeto.

---

**ABSTRACT:** In soybean culture water deficit is one of the most limiting factors to the maximum yield obtained. Genotypes identification with drought tolerance capacity is fundamental to solve this problem. The objective in this paper was analyze the physiological quality and physiological and biochemical responses of soybeans cultivars (MG/BR 46 Conquista, UFUS Carajás, UFUS Impacta, UFUS Riqueza and UFUS Xavante) submitted to water stress with PEG 6000 solutions in different levels of osmotic potentials (0; -0,1; -0,2; -0,3 and -0,4 MPa). Physiological quality of cultivars were evaluated by seedling length test and fresh and dry biomass. The biochemical responses were evaluated by detection of indol-acetic acid (IAA), by saccharose content and seedling water transportation. UFUS Riqueza presented the best performance in physiological quality tests, saccharose content, absorption and water absorption velocity in seedling. UFUS Xavante showed the highest IAA's concentration and the greater weight of seedling in water transportation test.

**KEYWORDS:** *Glycine max* (L.) Merrill. Morphological changes. Osmotic adjustment. Root system efficiency. Drought tolerance.

---

**REFERÊNCIAS**

- ARNON, I. Physiological principles of dryland crop production. In: GUPTA, U. S. (Ed.). **Physiological aspects of dryland farming**. Oxford: Oxford Publ., 1975. p. 3-146.
- ATKIN, O. K.; MACHEREL, D., The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 581-597. 2009. Disponível em: <<http://aob.oxfordjournals.org/content/103/4/581.abstract>>. Acesso em: 20 out. 2011.
- BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and salt tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 24, p. 23-58, 2005.
- BRACCINI, A. L. REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T.; ROCHA, V. S. Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1451-1459, 1998.
- BRACCINI, A. L.; RUIZ, H. A.; BRACCINI, M. C. L.; REIS, M. S. 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**, Brasília. v. 18, n. 1, p. 10-16. 1996.
- BRAY, E. Genes commonly regulated by water-deficit stress in Arabidopsis thaliana. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 407, Nov. 2004.
- CÂMARA, G. M. de S. Fenologia da soja. Informações agronômicas, **POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo**, Piracicaba, n. 82, p. 1-6, Jun. 1998.
- CASAGRANDE, E. C.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; OYA, T.; PEDROSO, J.; MARTINS, P. K.; BRETON, M. C.; NEPOMUCENO, A. L. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** [online], Campinas, v. 13, n. 2, p. 168-184, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/0D/rbfv/v13n2/9366.pdf>>. Acesso em 20 out. 2011.
- CHAVES-FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Slanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, Jun. 2001.
- FRENSCH, J. Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 310, n. 48, p. 985-999, 1997.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. 3. ed. - versão eletrônica. Londrina, EMBRAPA SOJA, 2011. (Documentos, Embrapa Soja, n. 319)
- MACHADO J. C., OLIVEIRA J. A., VIEIRA M. G. G. C., ALVES M. C. Controle da germinação de sementes de soja em testes de sanidade pelo uso da restrição hídrica. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília. v. 25, n. 2, p. 77-81, 2003.
- MENESES, C. H. S. G., LIMA L. H. G. M., LIMA M. M. A., VIDAL M. S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande. v. 10, n. 1/2, p. 1039-1072, ago. 2006.
- MEYER, R. F.; BOYER, J. S. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. **Planta**, n. 151, p. 482-489, 1981.
- MORAES, G. A. F., MENEZES N. L. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 219-226, 2003.

- MOURA, C. L. A.; PINTO, G. A. S.; RODRIGUES, S. **Determinação da atividade de invertase em extratos enzimáticos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007 (Documentos, Embrapa Agroindústria Tropical, n. 108)
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 49-86.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap. 2, p.1-24.
- NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 4, n. 23, p. 12-18, 2001.
- NÓBREGA, L. H. P.; VIEIRA, R. D. Avaliação e classificação de cultivares de soja quanto ao comprimento do hipocótilo, sob condições de laboratório e de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 160-164, 1995.
- PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras: UFLA, 2006. 104 p.
- PERES, L. E. P; ZSÖGÖN, A.; KERBAUY, G. B. Abscisic acid and auxin accumulation in *Catsetum fimbriatum* roots growing *in vitro* with high sucrose and mannitol content. **Biologia plantarum**, Praha, v. 53, n. 3, p. 560-564, 2009.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.
- RIBAUT, J. M.; PILET, P. E. Water stress and indol-3yl-acetic acid content of maize roots. **Planta**, n. 193, p. 502-507, 1994.
- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009.
- SOUZA, N. L. de.; FREITAS, R. B. de.; LEITE, S. C. A. L. **Otimização e quantificação das enzimas redutase de nitrato em café (*Coffea arabica*), invertase ácida e neutra em seringueira (*Hevea brasiliensis* L) e invertase em fermento**. Lavras: Departamento de Biologia, Setor de Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras, 1999. (Relatório da Disciplina Métodos Experimentais em Fisiologia Vegetal).
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 819p.
- TEXEIRA, L. R.; BRACCINI, A. L.; SPERANDIO, D.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I.; VIGANO, J. Avaliação de cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse hídrico em substrato contendo polietileno glicol. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 217-223, 2008a.
- TEXEIRA L. R., BRACCINI A. DE L., SPERANDIO D., SCAPIM C. A., SCHUSTER I., VIGANÓ J., JAREMTCHUK C. C. Avaliação de cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse hídrico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 3, p. 194-202, maio/jun. 2008b.
- TIMPA, J. D., BURKE, J. J., QUINSENBERRY, J. E., WENDT, C. W. Effects of water stress on the organic acid and carbohydrate compositions of cotton plants. **Plant Physiology**, n. 82, p. 724-728, 1986.
- VANZOLINI, S.; ARAKI, C. A. S.; SILVA, A. C. T. M.; NAKAGAWA, J. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 90-96, 2007.
- VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. de; SADER, R. Testes de vigor e suas possibilidades de uso. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 31-49.