

GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE GUANDU SOB EFEITO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DE DOSES SUBLETAIS DE ALUMÍNIO⁽¹⁾

ADÃO MARIN⁽²⁾; DURVALINA MARIA MATHIAS DOS SANTOS⁽³⁾;
DAVID ARIOVALDO BANZATTO⁽⁴⁾; ANTONIO SERGIO FERRAUDO⁽⁴⁾

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a germinação de sementes das cultivares de guandu, IAPAR 43-Aratã e IAC Fava Larga, sob efeito da disponibilidade hídrica e de doses subletais de alumínio. Os experimentos foram instalados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP, em Jaboticabal (SP), no período de março a maio de 2002. As sementes foram colocadas em caixas de germinação, previamente esterilizadas, revestidas com uma folha de papel germitest umedecido com diferentes concentrações de PEG 6000 (0,0; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa) e de sulfato de alumínio (0,0; 2,5; 5,0; 7,5; e 10,0 mmol.dm⁻³). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2 x 5 x 5 (cultivares x disponibilidades hídricas x alumínio), com quatro repetições de 50 sementes. Para complementar a análise estatística foram realizadas análises multivariadas de agrupamento e componentes principais. O experimento foi desenvolvido em câmara de germinação, na temperatura de 25 °C. A porcentagem de germinação foi verificada no 4.º e 10.º dias após a semeadura. No 10.º dia, as plântulas foram separadas em plúmulas e raízes primárias, para determinar a massa seca. A disponibilidade hídrica foi limitante para a germinação e o crescimento inicial. O efeito do alumínio associado ao estresse hídrico foi evidenciado somente até -0,9 MPa. As concentrações menos elevadas de alumínio estimularam o desenvolvimento das plântulas em condições de estresse hídrico até -0,6 MPa. Os efeitos simultâneos da disponibilidade hídrica e do alumínio reduziram a germinação de sementes da cv. IAC Fava Larga e o crescimento das raízes da cv. IAPAR 43-Aratã.

Palavras chave: estresse osmótico, toxicidade de alumínio, forrageira, leguminosa.

ABSTRACT

SEED GERMINATION OF PIGEONPEA (*Cajanus cajan* (L.) MILLSP.) UNDER WATER STRESS AND ALUMINUM SUBLETHAL DOSES

The aim of the work was to evaluate the effect associated with water stress and aluminum sublethal doses on seed germination of pigeonpea, IAPAR 43-Aratã and IAC Fava Larga cultivars. The experiment was carried out at Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP, in Jaboticabal, São Paulo State, from March to May 2002. The seeds germinated in germination boxes lined with blotters moistened with solutions of polyethyleneglycol, PEG 6000 (0,0; -0,6; -0,9, -1,2 e -1,5 MPa) and aluminum sulphate (0,0; 2,5; 5,0; 7,5; e 10,0 mmol.dm⁻³). The experimental design was a complete randomized in factorial

⁽¹⁾ Trabalho financiado pela FAPESP - Projeto Ref. 01/03597-0. Recebido para publicação em 31 de março e aceito em 19 de dezembro de 2003.

⁽²⁾ Pós graduando em Agronomia, FCAV/UNESP-Jaboticabal, Área de concentração – Produção Vegetal. Bolsista da DS CAPES. E-mail: admarin@fcav.unesp.br

⁽³⁾ Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP. Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, 14884-900, Jaboticabal (SP). E-mail: dumaria@fcav.unesp.br

⁽⁴⁾ Departamento de Ciências Exatas/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal (SP). E-mail: banzatto@asbyte.com.br; ferraudof@fcav.unesp.br

arrangement 2 x 5 x 5 (2 cultivars; 5 water stresses; 5 aluminum doses) and four replications of 50 seeds. The statistical analysis was complemented with the clustering analysis and principal component analysis. Seed germination was evaluated, four and ten days after sowing. The experiment was conducted in germination chamber at 25 °C ± 1 °C. On the tenth day, the seedlings were separated in plumule and radicle for dry mass determination. The water stress appeared to be the critical limiting factor for germination and seedling establishment. The joint effects of water stress and aluminum were significantly greater at moderate water stress, the effects of aluminum being more pronounced only when severe water stress was absent. The germination of the IAPAR 43-Aratã cultivar and the roots growth of the IAC Fava Larga cultivar were reduced, respectively, by water stress and aluminum.

Key words: osmotic stress, aluminum toxicity, forage, legume.

1. INTRODUÇÃO

Cajanus cajan (L.) Millsp., (Fabaceae), forrageira conhecida como guandu, ocupa mundialmente o 6.^o lugar em importância alimentar dentre as leguminosas, sendo usada extensivamente na Ásia para a alimentação animal e humana. Para o produtor rural, o guandu proporciona baixos custos de produção que refletem diretamente no lucro da atividade pecuária e melhorias na fertilidade do solo, decorrentes da habilidade que esta forrageira apresenta para a fixação simbiótica de nitrogênio no solo (RAO, 2002).

Considerando que, dificilmente apenas uma cultura tenha capacidade para prover forragem durante o ano todo, a característica apresentada pelo guandu, de crescer em períodos adversos que limitam o crescimento de outras forrageiras, constitui-se em uma importante alternativa para a provisão de alimento de alta qualidade e redução de custos com colheita e armazenamento de forragem no período da entressafra (RAO et al., 2002).

No Brasil, a cultura do guandu foi introduzida, principalmente, devido à habilidade de ser resistente à seca e de crescer em solos pobres, apresentando bons resultados como fornecedora de massa verde nos pastos em períodos de chuvas escassas, além de ser planta muito versátil, adaptada às condições climáticas do país, sendo utilizada também na rotação de culturas (ALVES e MEDEIROS, 1997).

Os estresses abióticos, como a seca, podem reduzir significativamente os rendimentos das lavouras restringindo as latitudes e os solos onde espécies comercialmente importantes podem ser cultivadas (NEPOMUCENO et al., 2001).

A condição hídrica do solo para a semente, em que os potenciais osmóticos são muito negativos, de modo geral, provocam atraso ou mesmo reduzem a porcentagem de germinação; o mínimo de umidade, porém, a ser atingido pela semente para que a germinação ocorra, depende de sua composição química e da permeabilidade do tegumento (BRADFORD, 1995).

Além das condições hídricas desfavoráveis existentes no solo, também outro fator, como a acidez podem interferir negativamente no estabelecimento de uma cultura. A maioria dos solos cultiváveis, aproximadamente 78,4%, compõe-se de solos ácidos que impossibilitam a exploração economicamente viável das culturas (HAMEL et al., 1998). Somente no Brasil, os solos do cerrado com baixa capacidade de troca de íons e alta toxicidade de alumínio representam 205 milhões de hectares (FUENTE-MARTINÉZ e HERRERA-ESTRELLA, 1999).

Nas regiões tropicais e subtropicais os solos caracteristicamente são ácidos, seja pela ocorrência de elevada precipitação que lixivia quantidades apreciáveis de bases permutáveis, como cálcio, magnésio, potássio e sódio, seja pela ausência de minerais primários e secundários, responsáveis pela reposição dessas bases. Assim, devido a grandes áreas de solos ácidos com possibilidade de cultivo, a importância da acidez sob o aspecto prático é relevante comparando-se com solos alcalinos (CUSTÓDIO et al., 2002).

A condição de acidez elevada resulta na dissolução de minerais de argila e óxido de alumínio, conduzindo ao aparecimento de forma trocável, ou seja, a disponibilidade do alumínio é uma consequência da acidez do solo (FUENTE-MARTINÉZ e HERRERA-ESTRELLA, 1999), que limita a produtividade de plantas (CUSTÓDIO et al., 2000).

O alumínio trocável dos solos pode reduzir a germinação, exercendo influências decisivas sobre o metabolismo das sementes (CRUZ et al., 1995). Existem muitas informações sobre os efeitos do alumínio na germinação de sementes, mas quando se consideram os efeitos sobre as sementes de leguminosas forrageiras, tais informações são praticamente inexistentes (SOUZA FILHO e DUTRA, 1998). Além disso, os estudos sobre os efeitos isolados do estresse hídrico ou da toxicidade do alumínio influenciando a germinação de sementes são pouco relatados na literatura, e as informações sob efeito concomitante de estresse hídrico e alumínio são praticamente escassas, necessitando ainda de estudos mais detalhados (ZAIFFNEJAD et al., 1997).

Desse modo, no presente trabalho verificou-se a germinação de sementes de duas cultivares de guandu – IAPAR 43-Aratã e IAC Fava Larga – sob efeito da disponibilidade hídrica e de doses subletais de alumínio, visando obter informações sobre o grau de tolerância das cultivares a essas condições adversas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados no laboratório de Fisiologia Vegetal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV, da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus de Jaboticabal, no período de março a maio de 2002. As sementes utilizadas foram previamente tratadas com uma mistura proporcional de 1:1 dos fungicidas Benlate 500 PM e Euparem M 500 PM, na dose de 1 g do produto comercial por kg de semente, para o controle do crescimento de fungos que interferem na adequada germinabilidade das sementes de guandu.

Para verificar a influência da disponibilidade hídrica (H) e do alumínio (A), na germinação de sementes de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), das cultivares (C), IAPAR 43-Aratã (C1) e IAC Fava Larga (C2), foram utilizadas diferentes concentrações de polietilenoglicol (PEG 6000) e sulfato de alumínio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$], simulando distintas situações de disponibilidade hídrica por meio da obtenção dos seguintes potenciais hídricos (ψ_s) em MPa: 0,0 (H1); -0,6 (H2); -0,9 (H3); -1,2 (H4); e -1,5 (H5), e das concentrações crescentes de alumínio (Al^{3+}), em $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-3}$: 0,0 (A1); 2,5 (A2); 5,0 (A3); 7,5 (A4); e 10,0 (A5).

Para avaliar a germinação de sementes, de cada cultivar, foram colocadas 50 sementes em caixas de germinação do tipo gerbox, previamente esterilizadas, revestidas com uma folha de papel germitest umedecido com as soluções. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial $2 \times 5 \times 5$, com os fatores: cultivares (C1 e C2), disponibilidades hídricas (H1, H2, H3, H4 e H5) e concentrações de alumínio (A1, A2, A3, A4 e A5), com quatro repetições por tratamento. O experimento foi desenvolvido em germinador FANEN, mod. 347 CDG na temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, com fotoperíodo de 12 horas. A contagem das sementes germinadas foi realizada a cada 24 horas; consideraram-se germinadas as que apresentavam extensão radicular $\geq 2\text{mm}$ (DURAN e ESTRELLA-TORTOSA, 1985).

As soluções nas caixas gerbox foram renovadas a cada três dias para manter constantes os valores dos potenciais osmóticos e das concentrações de Al^{3+} . No 4.º e 10.º dias do experimento verificou-se a porcentagem de germinação, como indicada para a cultura

do guandu em Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). O experimento foi finalizado no 10.º dia, quando se separaram as partes vegetativas das plântulas em plúmulas e raízes primárias que foram secas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de $80 \text{ }^\circ\text{C}$, para obter a massa seca, determinada em balança analítica, com precisão de 0,0001 g.

Para a análise dos resultados, empregou-se, primeiramente, o tratamento estatístico das características individuais. Inicialmente, os dados foram analisados quanto à homocedasticidade pelo teste de Levene (SANTANA e RANAL, 2000) e, a partir de sua adequada transformação, efetuou-se a análise de variância utilizando-se o teste de Tukey a 5%, para a comparação entre médias.

A análise da regressão polinomial foi utilizada para o desdobramento dos graus de liberdade dos níveis de disponibilidade hídrica x alumínio (BANZATTO e KRONKA, 1995).

A seguir, na complementação da análise estatística, realizaram-se as análises multivariadas de agrupamento e de componentes principais, que permitiram a avaliação em conjunto de todas as avaliações fisiológicas (MANLY, 1994).

A análise de agrupamento engloba uma variedade de técnicas e algoritmos cujo objetivo é encontrar e separar objetos em grupos similares (SNEATH e SOKAL, 1973). Também, para verificar a medida de similaridade, entre os tratamentos, foi adotada a distância euclidiana, e para a estratégia de agrupamento utilizou-se o método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean). Com relação aos componentes principais, utilizaram-se neste trabalho, apenas os dois primeiros componentes, pois são os que mais retêm informações do conjunto original das avaliações fisiológicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise de variância da germinação de sementes, foi verificado que, exceto para os resultados das interações cultivares x alumínio (C x A), para o 4.º dia, e cultivares x disponibilidade hídrica x alumínio (C x H x A) para o 10.º dia após a semeadura, houve efeito significativo da disponibilidade hídrica e das concentrações subletais de alumínio (Tabela 1). Desse modo, para a variável cultivares (C), os resultados do teste de Tukey permitiu verificar maior porcentagem de sementes germinadas da cultivar IAPAR 43-Aratã em comparação com a cultivar IAC Fava Larga, para o 4.º e 10.º dias após a semeadura (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância da germinação de sementes de cultivares de guandu, em função da disponibilidade hídrica e da presença de alumínio no substrato, no 4.º e 10.º dias após a semeadura. Jaboticabal, SP, 2002

Causa da variação	G.L.	Quadrados médios	
		Germinação de sementes	
		4.º dia	10.º dia
		%	
Cultivares (C)	1	665,11**	268,11**
Disponibilidade hídrica (H)	4	41.460,90**	50.512,65**
Alumínio (A)	4	120,57**	143,85**
Interação (C x H)	4	183,37**	225,40**
Interação (C x A)	4	30,41 ^{ns}	106,71**
Interação (H x A)	16	103,12**	89,01**
Interação (C x H x A)	16	51,73**	46,79 ^{ns}
Resíduo	150	16,78	30,87
C.V.(%)		20,44	16,98
IAPAR 43-Aratã		21,87 A	33,89 A
IAC Fava Larga		18,22 B	31,57 B

ns: não significativo ($P > 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$); Dados de % de germinação transformados em arco seno $\sqrt{x/100}$; Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Para a interação das cultivares em cada disponibilidade hídrica (C x H), no 4.º dia após a semeadura (Tabela 1), houve apenas um decréscimo significativo na porcentagem de germinação nos potenciais osmóticos comparando 0,0 MPa e -0,6 MPa, não se constatando diferença significativa entre os potenciais mais negativos, -0,9 a -1,5 MPa (Tabela 2).

Em trabalho com potenciais osmóticos de (ψ_s) 0,0 MPa; -0,2 MPa e -0,4 MPa, obtidos com PEG 6000, observou-se redução na porcentagem de germinação de sementes de quatro cultivares de guandu (KUHAD e SHEORAN, 1987). Todavia, nos resultados deste trabalho em ψ_s mais negativos, como -0,9 a -1,5 MPa, não ocorreu diferença significativa na germinação de ambas as cultivares, pois nessa faixa de potenciais osmóticos, a restrição hídrica foi tão severa a ponto de reduzir drasticamente a germinação (Tabela 2).

Para a disponibilidade hídrica dentro de cada concentração de alumínio (H x A) ocorreu diminuição na porcentagem de germinação proporcionalmente ao aumento do estresse (Figura 1), e o comportamento das regressões do alumínio foram similares (Figura 1A). No desdobramento do alumínio em cada nível de disponibilidade hídrica, observou-se variação significativa apenas no potencial osmótico de -0,6 MPa,

com tendência de aumento na porcentagem de germinação até a concentração de 4,08 mmol.dm⁻³ e posterior diminuição, nas concentrações mais elevadas (Figura 1B).

Para a interação das cultivares em cada disponibilidade hídrica no 10.º dia após a semeadura (C x H), verificou-se um comportamento similar ao descrito para o 4.º dia (Tabela 2), quando as sementes da cv. IAC Fava Larga apenas mantiveram o desempenho apresentado em relação ao tratamento-controle (0,0 MPa), com menor germinação que as sementes da cv. IAPAR 43-Aratã. Todavia, pode-se considerar a acentuada diminuição da germinação de sementes da cultivar IAPAR 43-Aratã no ψ_s -0,9 MPa um dado aleatório, visto que em ψ_s menores ou maiores, não houve resposta de redução da germinação. A germinação de sementes de 'IAC Fava Larga' também não foi rigorosamente influenciada pela restrição hídrica severa (ψ_s de -1,0 MPa) nos primeiros 10 dias, sendo essa cultivar considerada tolerante à restrição de disponibilidade hídrica (SANTOS e RODRIGUES, 1998).

Quanto aos efeitos do alumínio verificou-se que houve redução significativa apenas na germinação das sementes da cultivar IAC Fava Larga, proporcionalmente ao aumento das concentrações (Tabela 2).

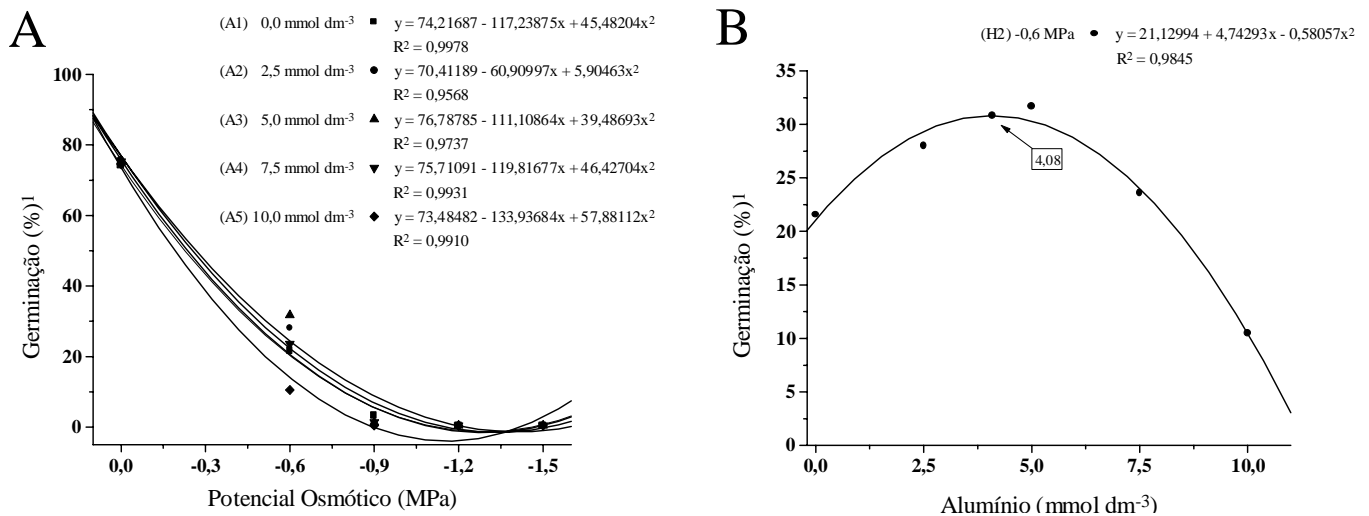


Figura 1. Germinação de sementes (%) de cultivares de guandu, em função da disponibilidade hídrica e da presença de alumínio no substrato, no 4.^o dia após a semeadura. Jaboticabal (SP), 2002. **A.** Disponibilidade hídrica dentro das concentrações de Alumínio, A1, A2, A3, A4 e A5. **B.** Alumínio dentro da disponibilidade hídrica H2. Dados de % de germinação transformados em arco seno $\sqrt{x}/100$.

Através do desdobramento da porcentagem de germinação de ambas as cultivares em resposta aos estresses (H x A), observaram-se respostas significativas (Figura 2). Na disponibilidade hídrica dentro de cada concentração de alumínio, houve diminuição na porcentagem de germinação proporcionalmente à redução de água (Figura 2A). Também, as linhas de regressão das concentrações de alumínio estão muito próximas e com acentuado declínio, porém, nos

potenciais osmóticos de -0,6 MPa e -0,9 MPa ocorreu distanciamento dos pontos, revelando efeito significativo do alumínio nas condições de restrições hídricas. No tratamento de -0,6 MPa (Figura 2B) houve tendência de aumento na porcentagem de germinação até a concentração de 3,93 mmol.dm⁻³ e, em ψ_s de -0,9 MPa, diminuição linear acentuada da porcentagem de germinação em resposta ao aumento das concentrações de alumínio.

Tabela 2. Germinação de sementes de cultivares de guandu, em função da disponibilidade hídrica no 4.^o e 10.^o dias e da presença de alumínio no substrato no 10.^o dia após a semeadura respectivamente. Jaboticabal (SP), 2002

Cultivares de guandu	Disponibilidade hídrica (MPa) no 4. ^o dia				
	0,0	-0,6	-0,9	-1,2	-1,5
IAPAR 43-Aratã	78,4A ⁽¹⁾	27,8A	2,3A	0,4A	0,4A
IAC Fava Larga	71,5B	18,4B	0,4A	0,4A	0,4A
Disponibilidade hídrica (MPa) no 10. ^o dia					
IAPAR 43 Aratã	79,0A	68,4A	20,1B	1,6A	0,4A
IAC Fava Larga	73,6B	59,8B	23,7A	0,4A	0,4A
Alumínio (mmol.dm ⁻³) no 10. ^o dia					
IAPAR 43 Aratã	33,3A	34,1A	35,5A	34,2A	32,3A
IAC Fava Larga	35,3A	34,4A	31,6B	28,7B	27,8B

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05). Dados de porcentagem (%) de germinação transformados em arco seno $\sqrt{x}/100$.

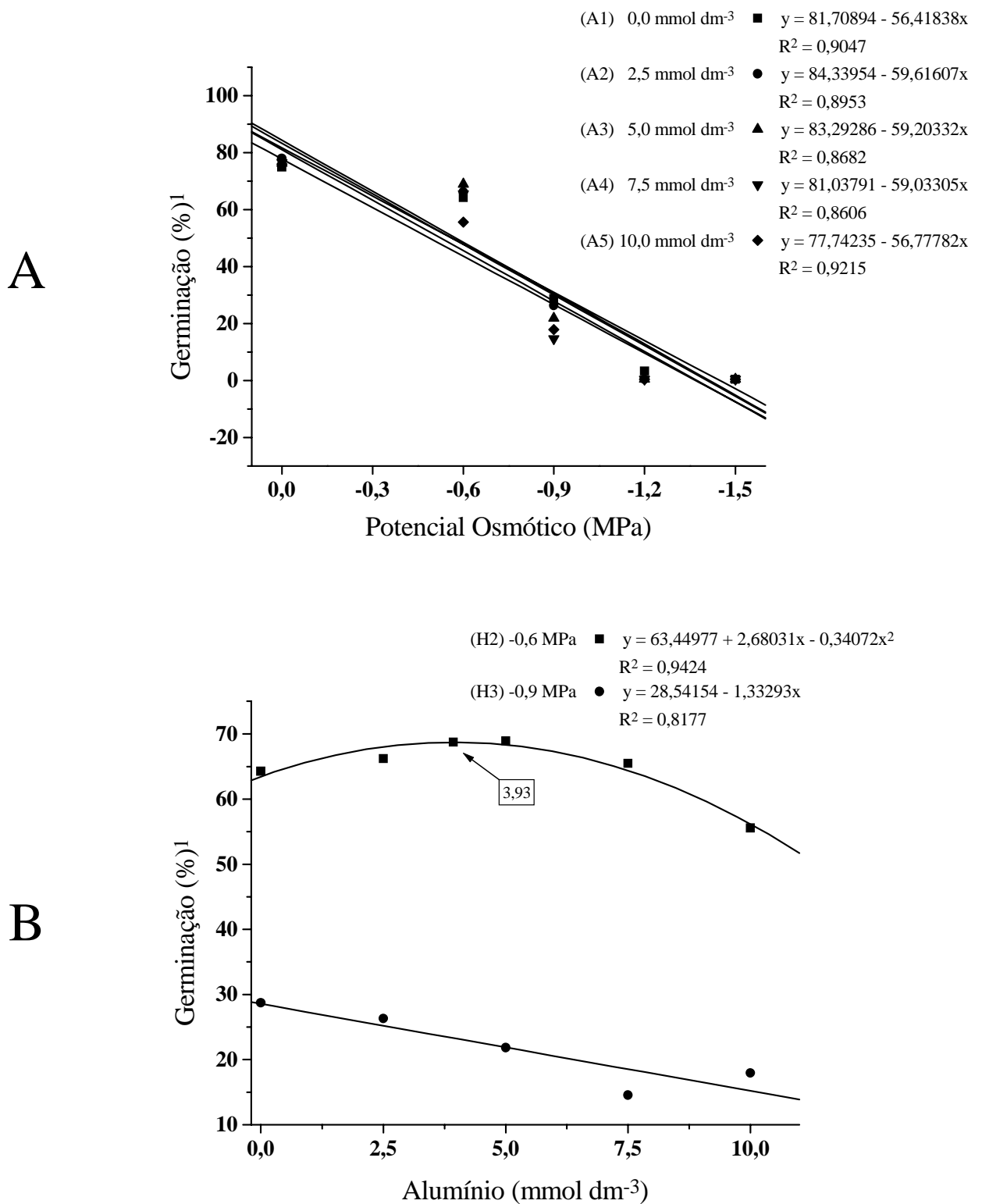


Figura 2. Germinação de sementes (%) de cultivares de guandu, em função da disponibilidade hídrica e da presença de alumínio no substrato, no 10º dia após a semeadura. Jaboticabal (SP), 2002. **A.** Disponibilidade hídrica dentro das concentrações de Alumínio, A1, A2, A3, A4 e A5. **B.** Alumínio dentro das disponibilidades hídricas, H2 e H3. Dados de % de germinação transformados em arco seno $\sqrt{x/100}$.

Salienta-se que o comportamento quadrático em ψ_s de -0,6 MPa é similar ao encontrado na germinação do 4.º dia (Figura 1B), revelando que concentrações menos elevadas de alumínio podem causar efeito de estimulação mesmo quando há moderada restrição hídrica no substrato. Na restrição hídrica mais severa, porém, de ψ_s de -0,9 MPa (Figura 2B), a menor quantidade de água disponível no substrato, provavelmente, potencializou a ação do alumínio, provocando um significativo declínio da germinação das sementes das cultivares de guandu no 10.º dia após a semeadura.

Os resultados da análise de variância da massa seca da parte aérea e do sistema radicular de

ambas as cultivares, após 10 dias da semeadura (Tabela 3), permitiram observar que houve efeito significativo para a interação cultivares x alumínio (C x A) na massa seca da parte aérea; para a interação cultivares x disponibilidade hídrica (C x H) houve efeito significativo na massa seca do sistema radicular. Também, houve efeito significativo da disponibilidade hídrica x alumínio (H x A) tanto na massa seca da parte aérea quanto no sistema radicular.

Analisando os desdobramentos das interações (Tabela 4), verificou-se redução do crescimento da cultivar IAPAR 43-Aratã, na concentração de 10 mmol.dm⁻³ de alumínio. As demais concentrações não provocaram qualquer diminuição do crescimento.

Tabela 3. Análise de variância da massa seca da parte aérea e do sistema radicular de cultivares de guandu, em função da disponibilidade hídrica e da presença de alumínio no substrato, no 10.º dia após a semeadura. Jaboticabal (SP), 2002

Causa da variação	G.L.	Quadrados médios	
		Massa seca	
		Parte aérea	Sistema radicular
mg			
Cultivares (C)	1	0,52 ^{ns}	11,76**
Disponibilidade Hídrica (H)	4	867,97**	217,43**
Alumínio (A)	4	4,55**	6,51**
Interação (C x H)	4	0,31 ^{ns}	3,73**
Interação (C x A)	4	3,19**	0,17 ^{ns}
Interação (H x A)	16	3,83**	2,35**
Interação (C x H x A)	16	2,28**	0,45 ^{ns}
Resíduo	150	0,40	0,31
C.V.(%)		28,18	27,20

ns: não significativo ($P > 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Tabela 4. Massa seca da parte aérea de cultivares de guandu, em função da presença do alumínio e massa seca do sistema radicular em função da disponibilidade hídrica no substrato no 10º dia após a semeadura. Jaboticabal (SP), 2002

Cultivares de guandu	Alumínio (mmol.dm ⁻³)				
	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0
	Massa seca da parte aérea (mg)				
IAPAR 43-Aratã	2,2A ⁽¹⁾	2,9A	2,7A	2,4A	1,3B
IAC Fava Larga	2,0A	2,2B	2,5A	2,1A	2,1A
	Disponibilidade hídrica (MPa)				
	0,0	-0,6	-0,9	-1,2	-1,5
	Massa seca do sistema radicular (mg)				
IAPAR 43-Aratã	4,8B	2,9B	1,2B	0,1A	0,0A
IAC Fava Larga	6,2A	3,4A	1,8A	0,0A	0,0A

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

As concentrações de alumínio pouco elevadas podem provocar efeitos benéficos nas leguminosas tropicais, como o aumento da massa, evidenciando o crescimento da planta (ANDREW et al., 1973 citados por ROY et al., 1988).

Os efeitos simultâneos da disponibilidade hídrica e do alumínio (Figura 3) provocaram, em ambas as cultivares, redução na quantidade de massa seca da parte aérea, proporcionalmente ao aumento do estresse, evidenciando acentuada proximidade dos efeitos das concentrações de alumínio (Figura 3A). Também, houve variação significativa nos ψ_s de 0,0 MPa e -0,6 MPa (Figura 3B).

De fato, no potencial osmótico de 0,0 MPa ocorreu tendência de aumento na quantidade de massa seca até a concentração de 3,99 mmol.dm⁻³ de alumínio com posterior declínio nas concentrações mais elevadas e, por sua vez, no potencial osmótico de -0,6 MPa, a quantidade de massa seca da parte aérea foi muito baixa e manteve-se praticamente estável, apresentando tendência quadrática que revelou pequeno aumento entre as concentrações de alumínio de 2,5 a 7,5 mmol.dm⁻³, atingindo um máximo em 5,58 mmol.dm⁻³ (Figura 3B).

Verificou-se maior redução no crescimento da parte aérea das plantas sob condições simultâneas de estresse hídrico e toxicidade de alumínio, em comparação com as plantas que se desenvolveram sob condições isoladas de estresse hídrico ou de toxicidade de alumínio (KLIMOV e RYBAKOVA, 1986 citados por ZAIFNEJAD et al., 1997).

Para a massa seca do sistema radicular, apenas na cultivar IAPAR 43-Aratã ocorreu acentuado decréscimo do crescimento radicular nos potenciais osmóticos menos elevados 0,0 MPa a -0,9 MPa (Tabela 4). Verificou-se, também, que os potenciais osmóticos mais elevados (-1,2 a -1,5 MPa) inibiram o crescimento inicial das raízes de ambas as cultivares.

Os efeitos associados da disponibilidade hídrica e do alumínio na massa seca das raízes (Figura 4) permitiram verificar que houve diminuição linear na quantidade de massa seca das raízes proporcional ao aumento do estresse (Figura 4A), com variação significativa apenas nos potenciais osmóticos de 0,0 MPa e -0,6 MPa (Figura 4B). Ainda no potencial osmótico de 0,0 MPa evidenciou-se diminuição da massa seca das raízes proporcional ao aumento das concentrações de alumínio; nesse caso, somente o alumínio causou redução das raízes, visto que esse tratamento não apresentava qualquer restrição hídrica.

O mesmo comportamento ocorreu na restrição hídrica de -0,6 MPa, ressaltando-se que a quantidade de massa seca das raízes foi menor que a obtida no tratamento sem restrição hídrica; o menor acúmulo de massa seca ocorreu a partir da concentração de

2,15 mmol.dm⁻³ (Figura 4B). Os efeitos simultâneos do estresse hídrico e do alumínio potencializam os estresses, provocando maior redução no crescimento inicial do sistema radicular (KLIMOV e RYBAKOVA, 1986, citados por ZAIFNEJAD et al., 1997).

Para a análise em conjunto de todas as avaliações fisiológicas, porcentagem de germinação no 4.º e 10.º dias e massa seca da parte aérea e do sistema radicular, o dendrograma resultante da análise de agrupamento dos tratamentos utilizados (Figura 5) permitiu observar que o fator disponibilidade hídrica (H) discriminou cada grupo. As disponibilidades hídricas de -1,2 MPa (H4) e -1,5 MPa (H5) formaram apenas um grupo, evidenciando que para o conjunto de todas as avaliações fisiológicas analisadas, não houve diferença entre esses tratamentos (Figura 5).

Os tratamentos com disponibilidades hídricas de -0,6 MPa (H2) e -0,9 MPa (H3), embora apresentem uma nítida separação em virtude do estresse, permaneceram no grupo 2 (G2), havendo diferença somente para a disponibilidade hídrica de 0,0 MPa (H1), que isoladamente compôs o grupo 1 (G1).

Ainda com relação às cultivares, IAPAR 43-Aratã (C1) e IAC Fava Larga (C2) e as concentrações de alumínio 0,0 mmol.dm⁻³ (A1); 2,5 mmol.dm⁻³ (A2); 5,0 mmol.dm⁻³ (A3); 7,5 mmol.dm⁻³ (A4) e 10,0 mmol.dm⁻³ (A5), não houve discriminação na formação de grupos, pois tanto C1 e C2 quanto A1, A2, A3, A4 e A5 apresentaram-se, indistintamente, dentro de cada grupo de disponibilidade hídrica (Figura 5).

Devido ao fato de ter sido constatada, no conjunto das avaliações fisiológicas analisadas para a disponibilidade hídrica 0,0 MPa (H1), elevada germinação no 4.º no 10.º dias (Tabela 2), e também maior acúmulo de massa seca do sistema radicular (Tabela 3), considerando todos os tratamentos, efetuou-se a análise de componentes principais, cujos resultados permitiu a construção do gráfico bidimensional (Figura 6).

Como os dois primeiros componentes principais são os que mais retêm informações do conjunto original de variáveis e neste estudo acumulou 97% (0,97; Tabela 5), pode-se observar a nítida separação do grupo H1 representado pela disponibilidade hídrica de 0,0 MPa (Figura 6).

Em relação ao primeiro componente principal, o conjunto das avaliações fisiológicas analisadas apresentou alta correlação positiva (Tabela 5), mostrando o grupo H1 (0,0 MPa) isolado dos demais tratamentos e localizado à direita no eixo Componente Principal 1 (Figura 6), o qual revela que, quando não há restrição hídrica, os resultados de maneira conjunta permitem evidenciar respostas positivas de porcentagem de germinação de sementes e crescimento inicial (Tabela 5).

Quanto ao segundo Componente Principal 2, apenas as variáveis, porcentagem de germinação, no 10.^o dia, correlação positiva (Tabela 5; 0,37), e massa seca da parte aérea, correlação negativa (Tabela 5; -0,39) apresentaram, embora muito baixa, certa

correlação mostrando que os tratamentos localizados acima tendem a ter alguma influência da variável porcentagem de germinação para o 10.^o dia, e aqueles localizados abaixo, alguma influência da variável massa seca da parte aérea.

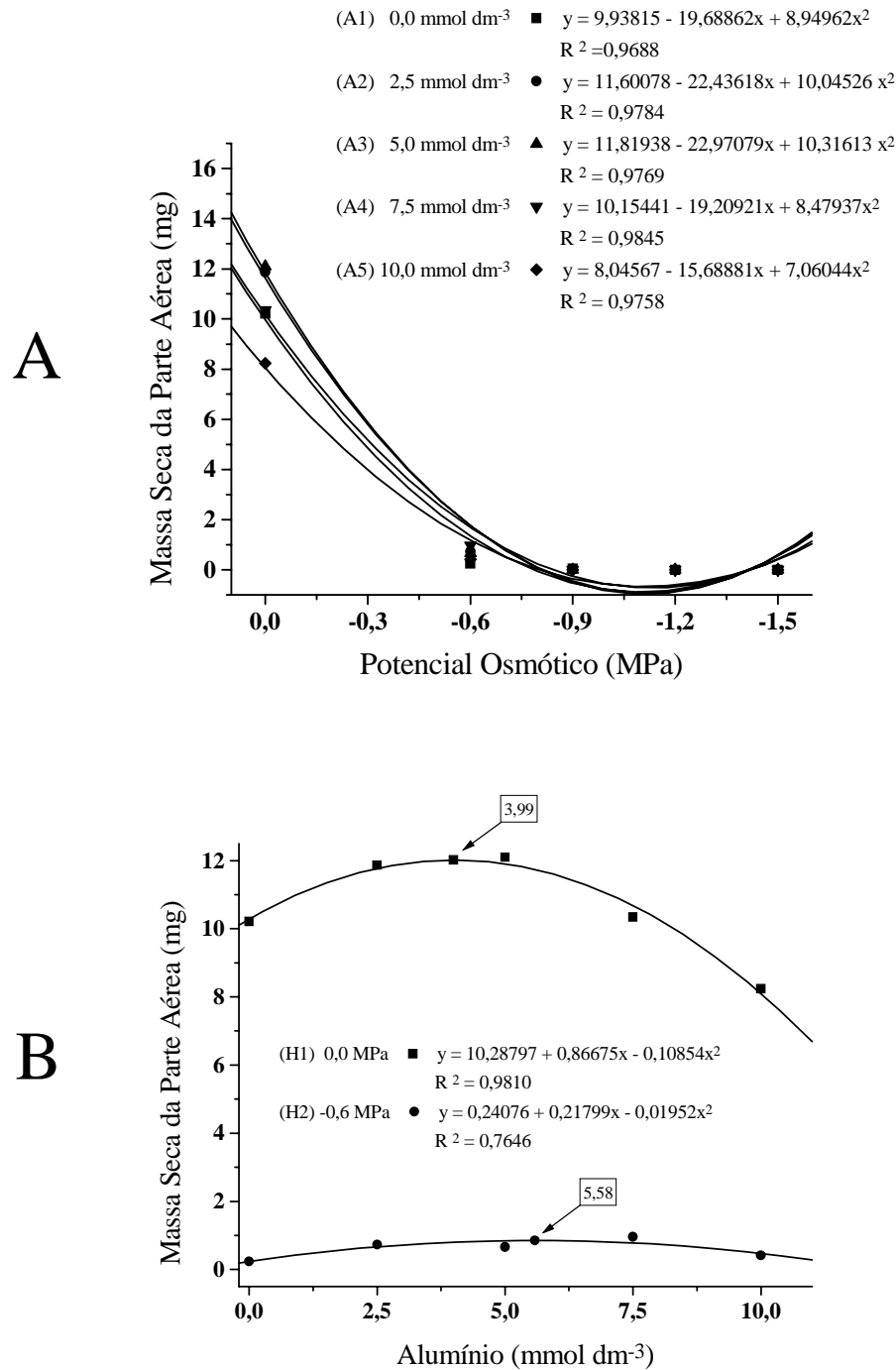


Figura 3. Massa seca da parte aérea (mg) de cultivares de guandu, em função da disponibilidade hídrica e da presença de alumínio no substrato, no 10.^o dia após a semeadura. Jaboticabal, SP, 2002. **A.** Disponibilidade hídrica dentro das concentrações de Alumínio, A1, A2, A3, A4 e A5. **B.** Alumínio dentro das disponibilidades hídricas, H1 e H2.

Tabela 5. Correlação entre as avaliações fisiológicas de cultivares de guandu (porcentagem de germinação no 4.º e 10.º dias, massa seca da parte aérea e do sistema radicular), e os componentes principais 1 e 2. Percentagem acumulada dos dados observados nos respectivos componentes. Jaboticabal (SP), 2002

Avaliações fisiológicas	Componente Principal 1	Componente Principal 2
Germinação no 4.º dia	0,98	-0,15
Germinação no 10.º dia	0,92	0,37
Massa seca da parte aérea	0,92	-0,39
Massa seca do sistema radicular	0,96	0,17
Porcentagem acumulada	0,89	0,97

Componente Principal 1: eixo do plano bidimensional correspondente a X; Componente Principal 2: eixo do plano bidimensional correspondente a Y; Valores de germinação em porcentagem; Massa seca em mg.

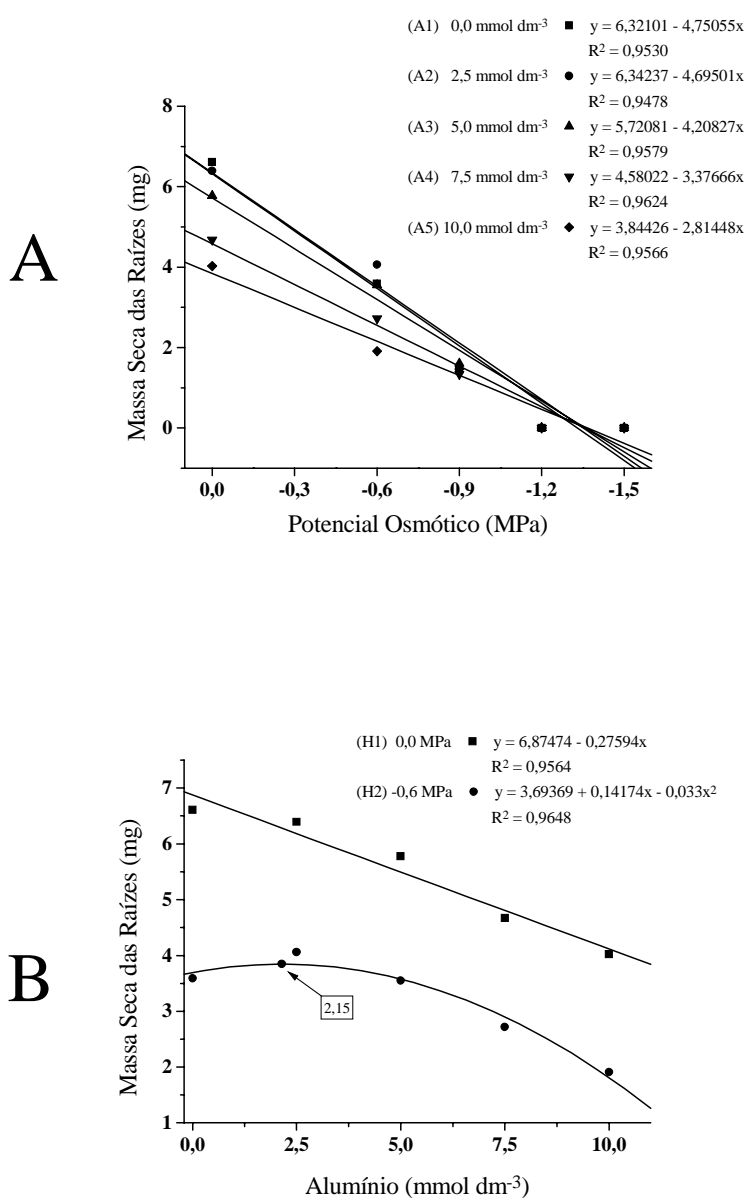


Figura 4. Massa seca do sistema radicular (mg) de cultivares de guandu, em função da disponibilidade hídrica e da presença de alumínio no substrato, no 10º dia após a sementeira. Jaboticabal (SP), 2002. **A.** Disponibilidade hídrica dentro das concentrações de Alumínio, A1, A2, A3, A4 e A5. **B.** Alumínio dentro das disponibilidades hídricas, H1 e H2.

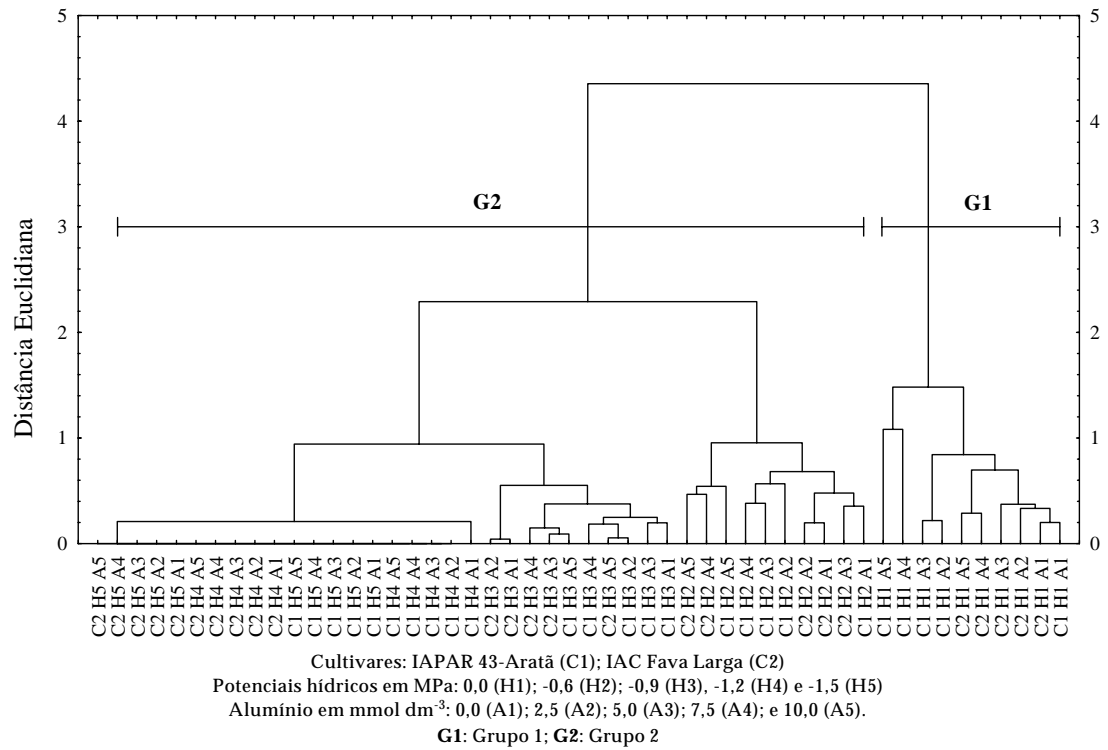


Figura 5. Dendrograma da análise de agrupamento das avaliações fisiológicas realizadas em cultivares de guandu em função da disponibilidade hídrica e da presença de alumínio no substrato. Jaboticabal (SP), 2002.

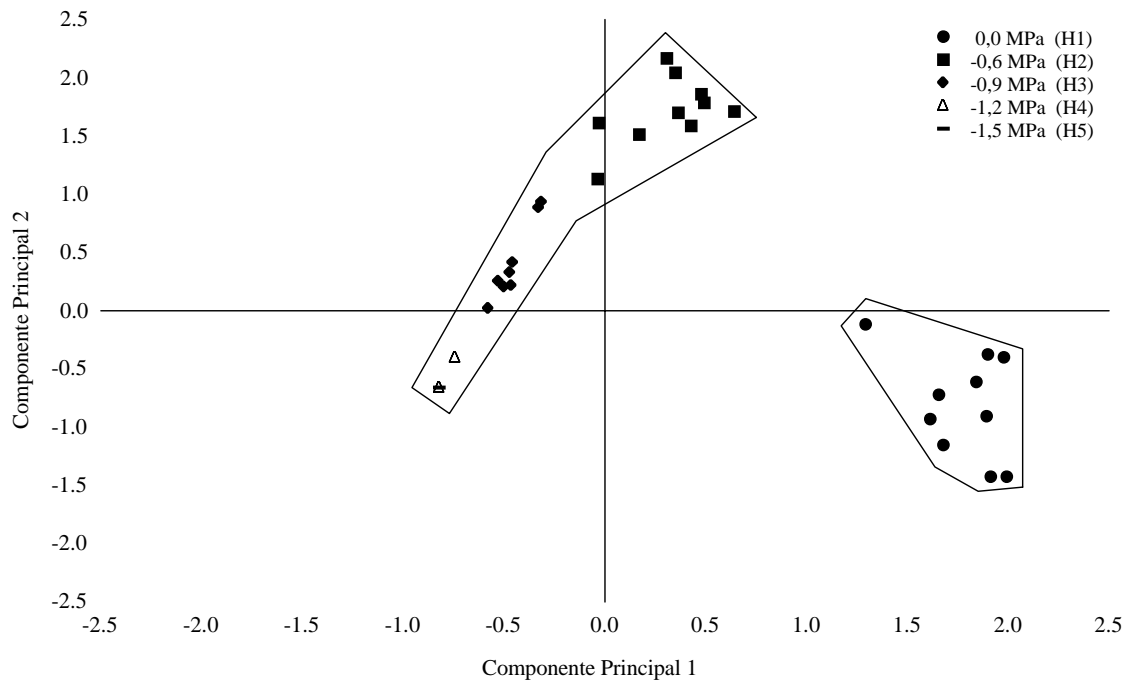


Figura 6. Distribuição dos resultados em função da disponibilidade hídrica, nos componentes principais 1 e 2, das avaliações fisiológicas realizadas em cultivares de guandu sob condições de disponibilidade hídrica e presença de alumínio no substrato. Jaboticabal (SP), 2002.

4. CONCLUSÕES

1. A disponibilidade hídrica foi o estresse mais limitante à germinação de sementes e ao crescimento inicial das plântulas de guandu.

2. Os efeitos do alumínio associados ao estresse hídrico foram evidenciados nas plântulas de guandu somente até o potencial osmótico de -0,9 MPa.

3. A presença de baixas concentrações de alumínio, aproximadamente $4,0 \text{ mmol.dm}^{-3}$ incrementaram o desenvolvimento das plântulas de ambas as cultivares em condições de estresse hídrico de até -0,6 MPa.

4. Os efeitos simultâneos da disponibilidade hídrica e do alumínio reduziram a germinação de sementes da cv. IAC Fava Larga e o crescimento das raízes da cv. IAPAR 43-Aratã.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à técnica de laboratório Sr.^a Sônia Maria Raymundo Carregari, pela cooperação em realizar as avaliações experimentais deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, S.J.; MEDEIROS, G.B. Leguminosas em renovação de pastagens. In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. (Eds.). **Simpósio sobre ecossistemas de pastagens**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1997. p.251-272

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247 p.

BRADFORD, K.J. Water relations in seed germination. In: KIGEL, J.; GALILI, J. (Eds.). **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.351-395.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Vegetal, 1992. 365p.

CRUZ, M.S.; PÉREZ-URRIA, E.; MARTIN, L.; AVALOS, A.; VICENTE, C. Factors affecting germination of *Canavalia brasiensis*, *Leucena loucocephala*, *Clitoria ternata* and *Calopogonio mucunoides* seeds. **Seed Science & Technology**, Zurich, v.23, n.2, p.447-454, 1995.

CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNINO, S.M.; MACHADO NETO, N.B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.145-153, 2002.

DURAN, J.M.; ESTRELLA-TORTOSA, M. The effect of mechanical and chemical scarification on germination of charlock *Sinapsis arvensis* L. seeds. **Seed Science & Technology**, Zurich, v.13, p.155-163, 1985.

FUENTE-MARTINÉZ, J. M.; HERRERA-ESTRELLA, L. Advances in the understanding of aluminum toxicity and the development of aluminum-tolerant transgenic plants. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.66, p.103-120, 1999.

HAMEL, F.; BRETON, C.; HOUDE, M. Isolation and characterization of wheat aluminum-regulated genes: possible involvement of aluminum as a pathogenesis response elicitor. **Planta**, Berlin, v. 205, p.531-538, 1998.

KUHAD, M.S.; SHEORAN, I.S. Influence of simulated drought and salt stress at iso-osmotic levels on seedling growth of pigeonpea genotypes. **International Pigeonpea Newsletters**, Patancheru, v.6, p.48-50, 1987.

MANLY, B.F.J. **Multivariate Statistical Methods**. London: Chapman & Hall, 1994. 215p.

NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Tolerância a seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, n.23, p.12-18, 2001.

RAO, S.C. Pigeonpea May Fill Seasonal Forage Gap. ARS News Service, Agricultural Research Service [online]. Disponível em: < <http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/aug02/range0802.htm> >, acesso em 08 de agosto 2002.

RAO, S.C.; COLEMAN, S.W.; MAYEUX, H.S. Forage production and nutritive value of selected pigeonpea ecotypes in the southern Great Plains. **Crop Science**, Madison, v.42, n.4, p.1259-1263, 2002.

ROY, A.K.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Some aspects of aluminum toxicity in plants. **The Botanical Review**, New York, v.54, n.2, p. 145-178, 1988.

SANTANA, D.G.; RANAL, M.A. Análise estatística na germinação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.12, n.4, p.205-237, 2000.

SANTOS, D.M.M.; RODRIGUES, T.J.D. Avaliação do desempenho germinativo e crescimento inicial de plântulas do guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). **Revista Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v.23, p.54-56, 1998.

SNEATH, P.H.A.; SOKAL, R.R. **Numerical taxonomy**. San Francisco: W.H.Freeman, 1973. 573 p.

SOUZA FILHO, A. DA S.; DUTRA, S. Germination of seeds of *Calopogonium mucunoides*. **Pasturas Tropicales**, Cali, v.20, p.26-30, 1998.

ZAIFFEJAD, M.; CLARK, R.B.; SULLIVAN, C.Y. Aluminum and water stress effects on growth and proline of sorghum. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.150, n.3, p.338-344, 1997.