

ACIDEZ E ALUMÍNIO NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE MILHO

Lélia Vanessa Milane¹, Lennis Afraire Rodrigues², Josué Bispo da Silva³, Tiago Roque Benetoli da Silva⁴ e Charline Zaratín Alves⁵

¹Aluna de graduação em Agronomia, UFMS, Rodovia MS-306, km 105, 79560-000, Chapadão do Sul, MS. E-mail: vanessamilane@hotmail.com

²Aluna de pós-graduação em Agronomia, UFMS, Rodovia MS-306, km 105, 79560-000, Chapadão do Sul, MS. E-mail: lennis@fundacaochapadao.com.br

³Universidade Federal do Acre, UFAC, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza. Rodovia BR 364, s/n, 69920-900, Rio Branco, AC. E-mail: josuebispo@bol.com.br

⁴Universidade Estadual de Maringá, UEM, Departamento de Ciências Agronômicas - DCA. Estrada da Paca s/n, Bairro São Cristóvão, 87507-190, Umuarama, PR. E-mail: trbsilva@uem.br

⁵Eng. Agrônoma, Dr.^a, Prof.^a. Adjunto do Departamento de Agronomia, UFMS, Rodovia MS-306, km 105, 79560-000, Chapadão do Sul, MS. E-mail: charline.alves@ufms.br

RESUMO: Os solos do Cerrado brasileiro, apesar de inúmeras qualidades como topografia favorável a mecanização, boa estrutura física do solo e posição geográfica perto dos centros consumidores, se caracterizam por apresentar problemas de acidez e toxicidade por alumínio, sendo considerado de baixa fertilidade. A utilização de variedades tolerantes ao alumínio é uma das estratégias adotadas para a produção de milho em solos ácidos. Portanto, objetivou-se neste trabalho avaliar o comportamento de duas cultivares de milho em diferentes concentrações de alumínio (0, 15, 30, 45, 60 e 75 mg.L⁻¹) e soluções de pH (4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 e 7,0), em condições de laboratório. Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, onde foram avaliados os seguintes parâmetros: primeira contagem, germinação, comprimento de parte aérea e raiz e matéria seca da parte aérea e raiz. Com os resultados obtidos concluiu-se que o pH afeta o comprimento de raiz da cultivar CD384HX, que se mostrou mais sensível ao pH baixo do que a cultivar X950. O alumínio não afeta a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plântulas de ambas cultivares de milho.

PALAVRAS-CHAVE: pH, vigor, Zea mays L.

ACID AND ALUMINUM IN GERMINATION AND INITIAL DEVELOPMENT OF MAIZE SEEDLINGS

ABSTRACT: The soils of the Brazilian Cerrado, despite numerous qualities as favorable topography mechanization, good soil physical structure and geographical position near the consumption centers, characterized by presenting problems of acidity and toxicity of aluminum, considered infertile. The use of varieties tolerant to aluminum is one of the strategies adopted for the production of maize in acid soils. Therefore, this study aimed to evaluate the behavior of two maize cultivars in different Al concentrations (0, 15, 30, 45, 60 and 75 mg L⁻¹) and solutions of pH (4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 and 7,0) in laboratory conditions. The experiments were conducted in a completely randomized design, where the following parameters were evaluated: first germination, germination, length of shoot and root dry matter and shoot and root. With the results obtained it was concluded that the pH affects the root length of the cultivar CD384HX, which was more sensitive to low pH than the cultivar X950. Aluminum does not affect seed germination and early seedling development of both maize cultivars.

KEY WORDS: pH, vigor, Zea mays L.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta de origem tropical, e além de ser um dos cereais mais cultivados e usados no mundo, também é de grande importância na alimentação humana e animal, sendo geralmente cultivado em solos ácidos da América do Sul e Central (Fageria et al., 1988).

O Cerrado brasileiro ocupa 205 milhões de hectares do território nacional, porém apresenta baixa fertilidade, além de pH ácido e elevada saturação por alumínio. Para o uso eficiente do solo do Cerrado é necessário medidas para amenizar essas adversidades, e uma prática bastante utilizada para contornar a toxidez provocada pelo alumínio é o processo de calagem, onde o alumínio solúvel se precipita devido à adição de calcário agrícola no solo. Porém, a calagem favorece somente a camada superficial do solo, pois a incorporação do calcário em profundidades maiores é economicamente inviável, não sendo efetivo na correção da acidez do subsolo, o que torna a planta mais susceptível aos veranicos comum no Cerrado (Cançado et al., 2001).

Em regiões com alta precipitação pluviométrica é comum os nutrientes solúveis serem lixiviados, como o cálcio, magnésio e potássio; e quando a remoção desses elementos básicos é maior que a taxa de liberação pelas intempéries, o pH do solo tende a diminuir. A transformação do material orgânico em substâncias orgânicas por micro-organismos do solo libera nitrato e hidrogênio que atua sobre a diminuição do pH do solo, liberando íons de alumínio (Al^{+3}) que em equilíbrio com o alumínio em solução, aumenta a acidez do solo; porém, em solos com pH acima de 5,5, o alumínio encontra-se em formas precipitadas (Echart e Molina, 2001).

O alumínio solúvel, quando em excesso, é tóxico para as plantas, portanto quanto mais ácido for o solo, maior é o teor de alumínio passível de causar danos às plantas, mesmo sendo um elemento de pouca mobilidade dentro da planta (Epstein, 1974). Uma pequena quantidade de alumínio na solução do solo poderá causar problemas nas plantas, sendo o principal, o atrofiamento das raízes em mais de cinquenta por cento quando comparado a uma raiz que está em um solo sem alumínio solúvel presente. Outro sintoma de toxicidade do alumínio é a redução da disponibilidade de alguns nutrientes como fósforo, enxofre e alguns outros cátions (Fae, 2010), além de provocar estresse oxidativo nas plantas (Machado, 1997), interferindo na movimentação do fósforo, cálcio, magnésio e molibdênio (Olmos e Camargo, 1976); sendo assim, o alumínio trocável dos solos além de interferir no desenvolvimento da planta pode reduzir a germinação das sementes.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a germinação e o crescimento inicial de plântulas de duas cultivares de milho, quando submetidos a diferentes soluções de pH e concentrações de alumínio.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – MS, Campus de Chapadão do Sul. Foram realizados dois experimentos, sendo que no primeiro foram testadas seis soluções de pH e no segundo, seis concentrações de alumínio, ambos em duas variedades de milho, sendo uma convencional (X950) e uma geneticamente modificada (CD384HX).

As soluções de pH foram preparadas, usando água destilada, e aferindo o pH para as soluções de 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; utilizando hidróxido de sódio e ácido clorídrico em quantidades suficientes para elevar ou abaixar o pH da solução. As concentrações de alumínio utilizadas foram 0, 15, 30, 45, 60 e 75 mg.L⁻¹ de alumínio, utilizando a fonte AlCl₃.6H₂O. Todas as soluções de alumínio foram padronizadas ao pH 5,8 para não ocorrer a precipitação desse nutriente na forma de Al(OH)₃ ou formar complexos com ácidos orgânicos de compostos solúveis, reduzindo a atividade química da solução (Kochian, 1995).

Foram realizadas as seguintes avaliações: **teste de germinação** - foi utilizado rolos de papel germitest umedecidos com as referidas soluções de pH e alumínio, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel não hidratado, sendo conduzido com quatro repetições de 50 sementes, onde foram acondicionados em germinador regulado à temperatura constante de 25°C. Foi avaliada a **primeira contagem de germinação** com quatro dias e a segunda contagem com sete dias, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Para a medição do **comprimento de plântulas** foram utilizadas 20 sementes por tratamento, com quatro repetições, colocadas equidistantes no papel germitest sobre uma linha traçada longitudinalmente a 3 cm da borda superior, sendo posteriormente confeccionados rolo de papel embebido com solução tanto de alumínio como de pH separadamente, numa proporção de 2,5 vezes a massa do papel não hidratado, e embalados em sacos plásticos, com finalidade de manter a umidade no seu interior, sendo colocados em germinador regulado a temperatura de 25°C. O comprimento das plântulas consideradas normais (Nakagawa, 1999) foi determinado ao final do sétimo dia após a instalação do teste, com o auxílio de uma régua milimetrada.

Após ser medido o comprimento da raiz e da parte aérea, cortou-se a semente com o auxílio de uma lâmina, e separou-se a parte aérea da raiz, que foram armazenados em

saquinhos de papel. Estes foram colocados para secar em estufa termoelétrica com circulação de ar forçada, regulada a temperatura de 80°C por 24 horas. Após este período, cada parte da plântula (parte aérea e raiz) foi pesada em balança analítica e anotados os pesos para cálculo da **massa seca da plântula**. Os valores obtidos para cada repetição foram somados e divididos pelo número de plântulas normais mensuradas (Nakagawa 1999).

Os dados foram submetidos à análise da variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o fator cultivar; e análise de regressão para o fator quantitativo (Ferreira, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do pH na germinação de sementes e desenvolvimento inicial das plântulas de milho

Nos resultados obtidos observa-se que as soluções de pH não influenciaram o processo germinativo das duas cultivares de milho, podendo-se notar apenas diferença significativa entre cultivares para os parâmetros primeira contagem de germinação e germinação (Tabela 1).

Tabela 1 - Primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca de raiz (MSR) em duas cultivares de milho (X950 e CD384HX), em função de diferentes soluções de pH

Cultivares (A)	PCG (%)	G (%)	CPA (cm)	CR (cm)	MSPA (g)	MSR (g)
X950	79,00 b	83,34 b	7,54	24,41 a	0,039 b	0,025 b
CD384HX	98,67 a	99,34 a	7,62	23,55 b	0,043 a	0,032 a
pH (B)						
4,5	89,50	90,75	8,83	23,44	0,039	0,025
5,0	90,50	90,75	7,29	23,60	0,041	0,029
5,5	85,25	90,00	7,47	24,23	0,040	0,030
6,0	88,50	90,75	7,66	23,90	0,038	0,026
6,5	90,50	90,25	6,54	24,47	0,039	0,034
7,0	88,75	93,50	7,69	24,22	0,038	0,027
F (A)	338,23 *	132,28 *	0,119 ns	6,289 *	21,23 *	26,88 *
F (B)	2,21 ns	0,57 ns	7,587 *	0,898 ns	0,20 ns	4,75 * ¹
F (A*B)	0,81 ns	0,44 ns	0,564 ns	2,75 *	2,45 ns	1,15 ns
CV (%)	4,17	5,28	10,11	4,98	14,96	19,54

Médias seguidas com mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

¹Equação 4º grau: $-0,0379 + 0,1016x - 0,0512x^2 + 0,0104x^3 - 0,00073x^4$. $R^2=67,87\%$

É conhecido que a acidificação do solo reflete negativamente na germinação e até na duração do processo germinativo (Isselin et al., 2004); entretanto, há controversas na

literatura, pois nota-se variações na resposta germinativa ao pH entre diferentes espécies e, algumas vezes, dentro da mesma espécie (Koszo, 2006).

Segundo Koszo (2006) para soluções com pH desde 6,3 até 3,5 não se observou alteração na capacidade germinativa das sementes de *Cucumis sativus* L., entretanto os resultados sugerem que a fonte responsável pela produção da acidez pode ter igual ou maior influência sobre a germinação das sementes do que a própria acidez. Portanto, as soluções usadas no presente trabalho para aumentar ou reduzir o pH (hidróxido de sódio e ácido clorídrico), nas concentrações utilizadas (7,0 até 4,5) não afetaram negativamente a germinação das sementes de ambas cultivares de milho avaliadas.

O pH ideal para as culturas de soja, feijão, milho e trigo está em torno de 6,0 (Fageria e Zimmermann, 1998; Custódio et al., 2002), mas em geral as culturas respondem de acordo com a cultivar e a região a qual é cultivada, e geralmente solos com pH inferior a 4,5 prejudica a germinação e o desenvolvimento das plantas, e em ambientes extremamente alcalinos (pH acima de 7,0) há a redução de micronutrientes disponíveis.

Nos resultados de crescimento de plântulas (Tabela 1) verificou-se que não houve diferença para o comprimento de parte aérea entre as cultivares; porém observa-se que o pH afetou esse parâmetro, com os dados se ajustando a uma equação de segundo grau (Figura 1), onde observou-se que o comprimento da parte aérea foi menor no pH 6,5, enquanto que o pH 4,5 promoveu maior valor de comprimento da parte aérea.

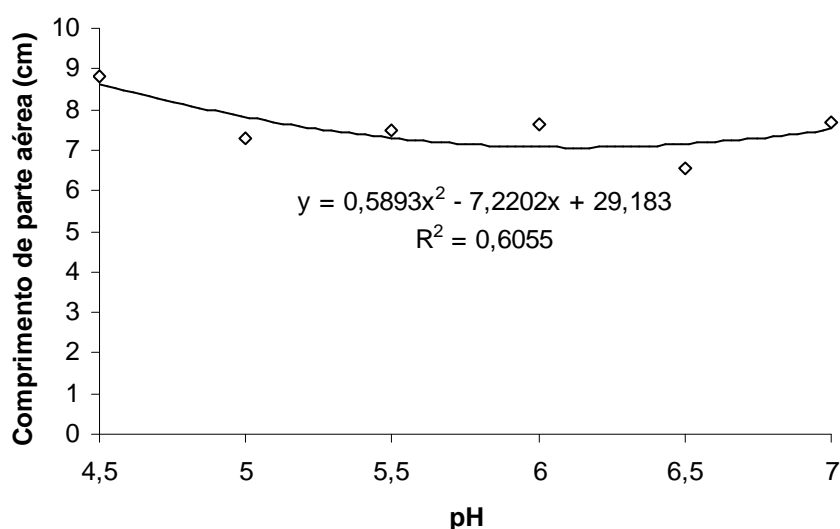


Figura 1 – Comprimento da parte aérea (cm) de plântulas de milho em função de diferentes soluções de pH.

Para o comprimento de raiz houve interação significativa, onde verificou-se que as duas cultivares diferiram estatisticamente entre si apenas no pH 4,5, destacando desta forma a cultivar X950, a qual mostrou crescimento superior (Tabela 2). Porém, mesmo havendo diferença estatística, o tratamento que constituiu do pH 4,5 prova que há possibilidade de crescimento inicial regular das raízes em ambiente ácido; esta pode ser limitada quando os valores chegam próximos ou abaixo de pH 4,0 (Chukwuma e Tiwari, 1995). Provavelmente o pH 4,5 não foi ácido o bastante para comprometer o crescimento das raízes em condições de laboratório; entretanto deve-se frisar que em condições de campo essa situação pode alterar o crescimento das raízes, pois há efeito direto na disponibilização de nutrientes (Hartwig et al., 2007).

Tabela 2 – Dados médios obtidos para o desdobramento da interação entre cultivares dentro das soluções de pH

Cultivares	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
X950	25,24 a	23,75 a	24,25 a	24,25 a	24,50 a	24,24 a
CD384HX	21,75 b	23,00 a	24,25 a	23,50 a	24,50 a	24,00 a

Médias seguidas com mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Analisando ainda o comprimento de raiz, verificou-se que houve diferença estatística para a cultivar CD384HX dentro das soluções de pH, na qual o comprimento da raiz aumentou com a elevação do pH, evidenciando que existem materiais genéticos mais sensíveis ao pH do que outros, pois a cultivar CD384HX se mostrou mais sensível do que a cultivar X950 (Figura 2).

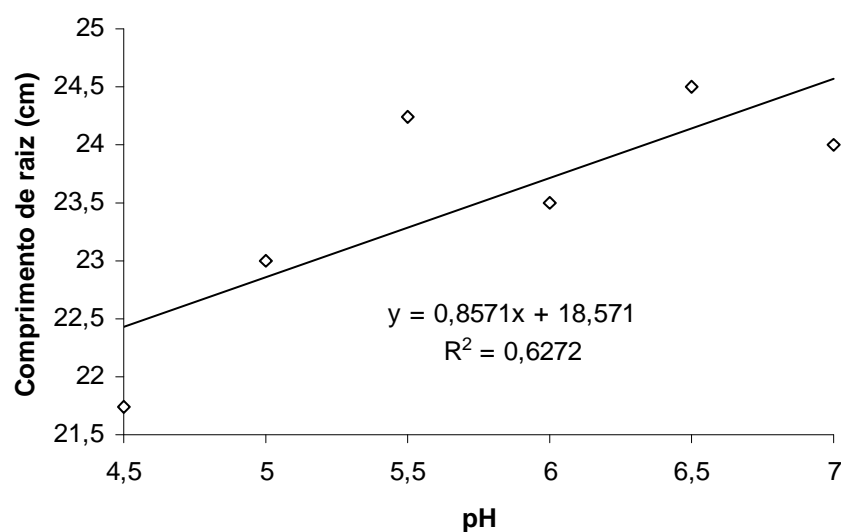


Figura 2 – Desdobramento da interação entre soluções de pH dentro da cultivar CD384HX.

Para os resultados de matéria seca da parte aérea e raiz de ambas cultivares, observou-se que estas diferiram entre si, onde a matéria seca da parte aérea e raiz da cultivar CD384HX foram superiores, comparados com a cultivar X950.

Da mesma forma que no crescimento da parte aérea, a variação do pH não resultou em diferença estatística na matéria seca da parte aérea das plântulas. Portanto, a parte aérea apresentou maiores comprimentos quando o pH da solução utilizada foi de 5,0 e 5,5, o qual é o intervalo ideal para o melhor crescimento da maioria das culturas anuais. Já para a matéria seca da raiz, observou-se que houve diferença significativa entre as soluções de pH, com os dados se ajustando a uma equação de quarto grau.

Dados contrários foram encontrados por Custódio et al. (2002), que ao estudar diferentes cultivares de soja observou que o pH 7,0 foi o que produziu maior matéria seca de parte aérea e raiz, os demais tratamentos reduziram a matéria seca de parte aérea de forma significativa, sendo o menor valor encontrado em pH 4,5. Também Fageria e Baligar (1999), trabalhando com várias culturas em casa de vegetação utilizando solos com pH variando de 4,9 a 7,0, verificaram que todas as culturas tiveram a matéria seca da parte aérea afetado negativamente pela redução do pH.

Efeito de concentrações de alumínio na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de milho

As respostas encontradas nas avaliações do teste de germinação das duas cultivares nas diferentes concentrações de alumínio foram relativamente semelhantes às encontradas nos testes com variações de pH descritas anteriormente, ou seja, observou-se que a cultivar CD384HX foi significativamente superior em porcentagem de germinação nas duas contagens, enquanto que não houve diferença significativa na porcentagem de germinação nas concentrações de alumínio, e também não houve interação entre os dois fatores (Tabela 3).

Estudos realizados com *Calopogonium mucunoides* mostraram que a germinação foi reduzida com a presença de alumínio em relação ao tratamento testemunha, entretanto, as reduções foram de apenas 6% (Souza Filho e Dutra, 1998). Já Szymanska e Molas (1996) não encontraram efeito do alumínio na germinação de *Cucumis sativus* L.; assim como Souza Filho et al. (1998) ao trabalhar com mata-pasto e malva, não encontraram diferença na germinação destas espécies nos tratamentos que utilizaram soluções de alumínio comparado com a testemunha.

Tabela 3 - Primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca de raiz (MSR) em duas cultivares de milho (X950 e CD384HX), em função de diferentes concentrações de alumínio, em mg.L⁻¹

Cultivares (A)	PCG (%)	G (%)	CPA (cm)	CR (cm)	MSPA (g)	MSR (g)
X950	79,92 b	84,67 b	7,34 a	23,60 a	0,034 a	0,025 b
CD384HX	97,33 a	99,25 a	7,09 a	23,28 a	0,042 a	0,037 a
Alumínio (B)						
0	90,75	91,25	6,907	23,75	0,036	0,029
15	79,50	92,75	7,126	23,64	0,039	0,028
30	88,75	92,25	6,829	22,02	0,035	0,032
45	91,00	93,25	7,808	24,26	0,041	0,027
60	91,50	91,75	7,574	23,21	0,039	0,034
75	87,25	90,50	7,070	23,75	0,039	0,035
F (A)	142,94 *	162,61 *	0,08 ns	0,347 ns	2,11 ns	39,27 *
F (B)	5,737 ns	0,515 ns	4,61 * ¹	1,353 ns	2,329 ns	2,24 ns
F (A*B)	1,036 ns	0,795 ns	1,73 ns	1,100 ns	1,027 ns	0,81 ns
CV (%)	6,05	4,31	6,82	7,98	11,33	17,93

Médias seguidas com mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

¹Equação 3º grau: $y=7,6667 - 1,1778x + 0,5010 x^2 - 0,0532 x^3$. $R^2=70,97\%$

O alumínio pode interferir no processo germinativo através das modificações causadas no metabolismo celular, relacionados com a síntese protéica, permeabilidade à água, mobilização de lipídeos, divisão celular mitótica e síntese de parede celular (Roy et al., 1988). Entretanto, a concentração da solução de alumínio deve ser muito significativa para que esta chegue a causar danos ou retardos na germinação, o que não ocorreu nas sementes de milho utilizadas no presente trabalho. É válido ressaltar que a presença de quelantes da própria solução pode diminuir o efeito do alumínio, sendo que também os efeitos causados pelo alumínio na germinação variam de espécie para espécie (Brassard et al., 1988).

Com relação ao comprimento de parte aérea e raiz das plântulas, não se observou diferença significativa entre as cultivares. Nos tratamentos com diferentes concentrações de alumínio não se observou diferença estatística no comprimento de raiz, mas o comprimento de parte aérea mostrou-se significativo, sendo que os tratamentos com 45 e 60 mg.L⁻¹ de alumínio apresentaram os maiores comprimentos; porém os dados se ajustaram a uma equação de terceiro grau. Resultado semelhante foi encontrado em trabalho realizado com *Cucumis sativus* L., na qual as concentrações de alumínio influenciaram positivamente no crescimento das plântulas, não acarretando anormalidades morfológicas ou de desenvolvimento (Szymanska e Molas, 1996). Porém a literatura também relata resultados contraditórios aos encontrados neste trabalho, pois Mazzocato et al. (2002) constataram que

as raízes principais de milho apresentaram um maior crescimento na ausência de alumínio na solução, e a maior concentração utilizada ($6,0 \text{ mg.L}^{-1}$) determinou menores valores para o comprimento final da raiz principal.

Não houve diferença significativa para matéria seca da parte aérea das duas cultivares; entretanto observou-se que a matéria seca de raiz apresentou diferença estatística, sendo que a cultivar CD384HX foi superior à X950. Não houve diferença significativa para matéria seca da parte aérea e raiz nas diferentes concentrações de solução de alumínio e na interação dos fatores. Ao estudar o efeito de soluções de alumínio e sua atividade no desenvolvimento de plantas de milho, Techio (2009) verificou que houve uma diminuição no volume das raízes de milho, em função do aumento da atividade de alumínio.

A não significância identificada na maioria das variáveis avaliadas quando as sementes foram embebidas em solução de alumínio, nos remete a acreditar que existe alguma resistência por meio das cultivares, ou então, as doses utilizadas neste trabalho foram insuficientes para refletir negativamente na germinação e crescimento inicial das plântulas de milho de ambas cultivares. Segundo Vilela et al. (2011), na cultura do milho, a maioria das cultivares comerciais são suscetíveis ao alumínio, mas existem variabilidades genéticas dentro desta espécie quanto à tolerância ao alumínio, a qual é possível e precisa ser melhor estudada.

CONCLUSÕES

O pH afeta o comprimento de raiz de milho da cultivar CD384HX, que se mostrou mais sensível ao pH baixo do que a cultivar X950.

O alumínio não afeta a germinação e o crescimento inicial das plântulas de ambas cultivares de milho.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de Sementes**. Brasília: SNDA; DNDDV; CLAV, 2009. 365p.

BRASSARD, P.; KRAMER, J.R.; NOSKO, P.; KERSHAW, A. Continuous flow rhizostat for the study of aluminum toxicity. **Plant Cell and Environment**, v.11, p.863-873, 1988.

CANÇADO, G.M.A.; CARNEIRO, N.P.; CARNEIRO, A.A. Novas perspectivas para adaptação de Culturas ao Cerrado: Contribuição da biologia molecular na compreensão e solução dos efeitos tóxicos do alumínio em plantas. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v.2, n.23, p. 191-196, 2001.

CHUKWUMA, F.O.; TIWARI, S.C. Screening soybean lines based on phosphorus/aluminum ratio and harvest index values. **Journal of the Mississippi Academy of Sciences**, v.40, n.1, p.12-13, 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**, v.59, n.1, p.145-153, 2002.

ECHART, C.L.; MOLINA, S.C. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciencia Rural**, v.31, n.3, p.531-541, 2001.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1974. 335 p.

FAÉ, A. Alumínio no solo. **Global Relva**, 10 jan. 2010. Disponível em: <http://globalrelva.org/index.php?option=com_content&view=article&id=297:soil-aluminum&catid=78:cultural-practices&Itemid=88>. Acesso em 25 abr. 2012.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean and wheat at different soil pH on an Inceptisol. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, n.1, p.1495-1507, 1999.

FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.29, n.17, p.2675-2682, 1998.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Aluminum toxicity in crop plants. **Journal Plant Nutrition**, v.11, n.2, p.303-319, 1988.

FERREIRA, D.F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; BERTAN, I.; SILVA, J.A.G.; SCHMIDT, S.A.M.; VALÉRIO, I.P.; MAIA, L.C.; FONSECA, D.A.R.; REIS, C.E.S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina**, v.28, n.2, p.219-228, 2007.

ISSELIN, F.; BEDECARRATS, A.; SZEMBEL, J. **The chemical composition on soil can affect germination capacity of alpine plant functional types**. Seed Ecology. 2004. In: International Meeting on Seed and the environment, Rhodes, Greece, 2004.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.46, n.1, p.237-260, 1995.

KOSZO, C.R.R. **Germinação de sementes de *Erythrina speciosa* Andr. e *Eugenia brasiliensis* Lam. em meio ácido**. (Dissertação - Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente). São Paulo, 2006. 84 f.

MACHADO, P.L.O.A. **Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997, 14 p.

MAZZOCATO, A.C.; ROCHA, P.S.G.; SERENO, M.J.C.M.; BOHNEN, H.; GRONGO, V.; BARBOSA NETO, J.F. Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. **Ciência Rural**, v.32, n.1, p.19-24, 2002.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

OLMOS, I.R.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, v.28, n.2, p.171-180, 1976.

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

SOUZA FILHO, A.S.; DUTRA, S. Germination of seeds of *Calopogonium mucunoides*. **Pasturas Tropicales**, v.20, n.1, p.26-30, 1998.

SOUZA FILHO, A.S.; DUTRA, S.; SILVA, M.A.M.M.; TEIXEIRA NETO, J.F. Efeitos de diferentes substratos e da profundidade de semeadura na germinação de sementes de mata-pasto e malva. **Planta Daninha**, v.16, n.1, p.67-74, 1998.

SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L. **Folia Horticulturae**, v.8, n.1, p.73-83, 1996.

TECHIO, J.W. **Crescimento de milho em solução com alumínio e produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular** (Dissertação, Universidade de Passo Fundo). Passo Fundo, 2009. 106 f.

VILELA, L.A.; BELO, E.S.; CARVALHO, R.S.; FARIA, F.P.; SILVA, S.M. **Influência de alumínio na taxa de respiração de sementes de *Zea mays* (milho)**. 2011. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/mestrado/trabalhos-mestrado/mestrado-larissa-assis.pdf>. Acesso em: 20 out. 2012.

Recebido para publicação em: 12/05/2014

Aceito para publicação em: 35/06/2014