

Estudos de Toxidez de Alumínio em Genótipos de Soja e Milho Cultivados em Bioensaios

Vanderlise Giongo Petreire⁽¹⁾, Jeonice Werla Techio⁽²⁾, Flávio Luiz Bressa⁽³⁾, Tony Jarbas Ferreira Cunha⁽⁴⁾, Marcos Brandão Braga⁽⁵⁾

RESUMO – A soja (*Glycine max*) e o milho (*Zea mayz*) são culturas importantes para o desenvolvimento sócio-econômico do Rio Grande do Sul. Um fator que pode afetar a produtividade destas culturas é a presença de alumínio em níveis tóxicos que ocorre, principalmente, em solos ácidos. A utilização de genótipos adaptados é uma estratégia para o manejo integrado dos cultivos em solos ácidos. O presente estudo teve como objetivo determinar as concentrações de cálcio e alumínio adequadas a realização de bioensaios para a classificação de genótipos de soja e milho quanto a tolerância à toxidez de alumínio. Foram utilizados três genótipos de soja (6001, 8100 e AL 72.) e dois genótipos de milho (P3081 e TRAKTOR). Os genótipos foram cultivados, pela técnica de bioensaios, em diferentes concentrações de cálcio e alumínio. A concentração de 2,5 mmol.dm⁻³ de cálcio foi adequada para a realização de estudos em bioensaios nos genótipos de soja e milho, não promovendo restrições no crescimento da raiz principal. A concentração de 0,005 mmol.dm⁻³ de alumínio para soja e 0,025 mmol dm⁻³ de alumínio para milho, combinadas com 2,5 mmol.dm⁻³ de cálcio permitem diferenciar os genótipos de soja e milho em uma escala de tolerância ao alumínio.

Introdução

A soja (*Glycine max*) e o milho (*Zea mayz*) são culturas importantes para o desenvolvimento sócio-econômico do Rio Grande do Sul, ocupando a maior parte das áreas semeadas com grãos na primavera-verão. Um fator que pode afetar a produtividade destas culturas é a presença de alumínio em níveis tóxicos que ocorre, principalmente, em solos ácidos. A acidez do solo é uma importante causa da baixa fertilidade de solos tropicais e subtropicais. A produção diminui devido à toxicidade de alumínio [1,7], e manganês e deficiência de cálcio, magnésio, fósforo e molibdênio. Em tais solos a absorção de água e nutrientes é reduzida, pois o desenvolvimento radicular é inibido. Nem sempre se torna viável sob o ponto de vista prático e econômico, a

utilização de corretivos de acidez do solo, principalmente considerando os custos crescentes dos processos de obtenção, transporte e aplicação desse insumo. A busca por plantas adaptadas aos solos ácidos tem sido justificada pela ampla variabilidade inter e intra-específica existente para a maioria dos estresses nutricionais que interferem nos processos de absorção, transporte e utilização de nutrientes pelas plantas. Existem exemplos de bons resultados no melhoramento genético de milho, sorgo e trigo, envolvendo a adaptação de plantas aos estresses nutricionais, ou seja, a eficiência a nutrientes, principalmente a tolerância ao alumínio[2]. Além da aplicação de corretivos da acidez e a utilização racional de adubos, o emprego de genótipos adaptados é uma estratégia para o manejo integrado dos cultivos em solos ácidos.

O sintoma mais visível de toxidez de alumínio às plantas é a redução do crescimento do sistema radicular. As raízes apresentam um desenvolvimento característico nas extremidades, região meristemática, tornam-se engrossadas, com coloração marrom, quebradiças, curtas e com aspecto coralóide. A redução do crescimento do sistema radicular pode ser causada por mecanismos diferentes, nos quais o alumínio pode atuar fora ou no interior das células das plantas. O alumínio atinge a superfície das raízes por difusão ou por fluxo de massa. Pode entrar no espaço livre aparente das células corticais e se concentrar nas células epidérmicas do ápice das raízes[8]. Nesse caso, o alumínio pode se ligar às cargas negativas da parede celular, originadas da desprotonação de grupos carboxílicos de pectina, aumentando a rigidez da matriz da pectina impedindo que ocorra expansão celular, podendo ocorrer o rompimento das células da epiderme das raízes. O alumínio pode penetrar no interior da célula, no simplasto, alterando processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. A metade do alumínio total encontrado no ápice das raízes pode estar localizada no simplasto[6]. A entrada de alumínio para o interior da célula pode ocorrer por diferentes mecanismos.

⁽¹⁾ Primeiro Autor é Pesquisadora da Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C.P. 23, Petrolina, PE, CEP 56300-970. E-mail: vanderlise@cpatsa.embrapa.br (apresentadora do trabalho).

⁽²⁾ Segundo Autor é Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade de Passo Fundo.

⁽³⁾ Terceiro Autor é Aluno de Graduação, Curso de Agronomia, Universidade de Cuz Alta.

Apoio financeiro: FAPERGS, PIBIC/UNICRUZ.

⁽⁴⁾ Quarto Autor é Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C.P. 23, Petrolina, PE, CEP 56300-970.

⁽⁵⁾ Quinto Autor é Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C.P. 23, Petrolina, PE, CEP 56300-970.



O presente estudo teve como objetivo determinar as concentrações de cálcio e alumínio adequadas para a realização de bioensaios para a classificação de genótipos de soja e milho quanto a tolerância a toxidez de alumínio.

Palavras-Chave: cálcio, sistema radicular,

Material e métodos

Foram realizados quatro experimentos, dois com genótipos de soja e dois com genótipos de milho, no Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais da Universidade de Cruz Alta, UNICRUZ, Cruz Alta-RS. Plântulas de soja e milho, obtidas por germinação de sementes, foram padronizadas em relação ao tamanho e transplantadas para vasos de dois litros de capacidade, contendo as soluções tratamentos, em número de cinco plantas por vaso. Os cultivos dos genótipos de soja e milho foram conduzidos por 48 horas. Para o experimento um, foram utilizados os genótipos de soja geneticamente modificados: 6001, 8100 e AL 72. Para determinar a concentração de cálcio, os tratamentos utilizados foram 0,00; 1,00; 2,00; 2,50; 3,00; 4,00 mmol.dm⁻³ de cálcio, adicionado na forma de CaCl₂ e um tratamento com solução nutritiva completa com as seguintes concentrações (μmol.dm⁻³): Ca: 1000; Mg: 1000; K: 2000; NH₄: 1000; NO₃: 3000; P: 500; S: 1000; B: 23,0; Mn:5,5; Zn: 1,5; Cu: 0,5; Mo: 0,1 e Fe: 90,0. O experimento de número dois consistiu na adição de concentrações de alumínio. Os tratamentos utilizados foram; 0,00; 0,005; 0,012; 0,025 e 0,05 mmol.dm⁻³ de alumínio, adicionado na forma de AlCl₃ em solução de 2,5 mmol.dm⁻³ de cálcio, definida no experimento de número um.

Para a realização do experimento de número três, foram utilizados 02 genótipos de milho (*Zea mays*, L.), o P3081, da empresa PIONEER e o TRAKTOR, da empresa SYNGENTA. Para selecionar a concentração de cálcio, os tratamentos utilizados foram de 0,0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 4,0 mmol.dm⁻³ de cálcio, adicionado na forma de cloreto de cálcio (CaCl₂). No experimento de número quatro, para selecionar a concentração de alumínio, os tratamentos foram de 0,0; 0,025; 0,050 e 0,075 mmol.dm⁻³ de Al⁺³, na forma de cloreto de alumínio hexahidratado (AlCl₃. 6H₂O). Os tratamentos foram adicionados em solução contendo de 2,5 mmol.dm⁻³ de cálcio (CaCl₂), determinada no experimento de número três.

Em todos os experimentos as soluções tiveram o pH verificado e ajustado duas vezes ao dia em 4,50. Na instalação dos experimentos foi medido o comprimento inicial da raiz principal e após 48 horas de cultivo foi medido o comprimento final das raízes (C_f). Diminuindo o comprimento final do inicial obteve-se o comprimento do sistema radicular. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância, realizando a análise de regressão.

Resultados e Discussão

No estudo um, a solução nutritiva completa (SNC) e as concentrações de 0,0; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0 e 4,0 mmol.dm⁻³ de cálcio promoveram crescimento da raiz principal de 100%, 8,3%, 84,6%, 87,4%, 105,9%, 119,1% e 76,9% respectivamente para o genótipo 6001 e de 100%, 24,7%, 95,9%, 97,2%, 116,2%, 119,8 e 97,2% respectivamente para o genótipo 8100. Com isso, pode-se observar que ambos os genótipos de soja apresentaram um aumento crescente no crescimento da raiz principal nas concentrações de 0,0 até o de 3,0 mmol.dm⁻³ de cálcio, a partir desta ocorreu um decréscimo no crescimento. Para ambos os genótipos o tratamento solução completa de nutrientes (SNC) não foi o que apresentou o maior crescimento, ficando intermediário aos níveis de 2,0 e 2,5 mmol.dm⁻³ de cálcio (Figura 1).

No experimento para definir a concentração de alumínio, não ocorreu interação significativa entre os genótipos AL 72 e 8100 para as cinco diferentes concentrações de alumínio (Figura 2). Desta forma, foram realizadas as médias de crescimento da raiz principal dos dois genótipos de soja. A taxa de alongação das raízes é um parâmetro importante para avaliar os sintomas de toxidez de alumínio[4]. A média de crescimento da raiz principal dos genótipos de soja AL 72 e 8100 cultivados no tratamento sem alumínio apresentou um crescimento de 3,25 cm. Para fins de comparação foi atribuído como 100% o crescimento em solução sem alumínio. As concentrações de 0,012, 0,025 e 0,05 mmol.dm⁻³ de alumínio apresentaram crescimentos de 1,16, 0,57, 0,42 cm e quando comparadas com SNC tiveram reduções de 64,3, 82,4 e 87,0% respectivamente. Estas concentrações de alumínio provocaram uma restrição drástica do crescimento da raiz principal. Se estas concentrações fossem utilizadas para realizar uma seleção de genótipos quanto à tolerância e/ou suscetibilidade ao alumínio provocariam um dano que impossibilitaria a discriminação genotípica. Resultados semelhantes foram verificados por Menosso *et al.*[5] em genótipos de soja não transgênicos. O autor também classificou as concentrações de alumínio como sendo muito altas para separar os genótipos quanto a tolerância. As raízes das plantas cultivadas nos tratamentos com alumínio apresentam aspectos de raízes retorcidas, engrossadas e de coloração castanha. O crescimento das raízes cultivadas em concentração de 0,005 mmol.dm⁻³ de alumínio apresentaram um crescimento de 2,5 cm e quando comparados com a SNC apresentaram uma restrição no crescimento de 23,3%. Nessa concentração há uma melhor caracterização na separação dos genótipos em relação a presença de alumínio. Concentração esta parecida com a de 0,007 mmol.dm⁻³ de alumínio utilizada por Menosso *et al.*[5].

No estudo dois, os dois genótipos de milho testados apresentaram diferenças no crescimento do sistema radicular entre as concentrações de cálcio (Figura 3). A concentração de 2,50 mmol dm⁻³ de cálcio promoveu o



maior crescimento do sistema radicular das plantas em ambos os genótipos. As raízes das plantas cultivadas em solução com $0,00 \text{ mmol dm}^{-3}$ de cálcio apresentaram aspectos de raízes engrossadas, marrons e retorcidas, semelhantes aos efeitos provocados pela toxidez de alumínio. Os sintomas de deficiência de cálcio na parte aérea, para estas concentrações, consistiram na não expansão das folhas, com clorose internerval e à medida que as plantas cresciam as pontas das folhas permaneciam enroladas. Quando há deficiência de cálcio o crescimento das raízes é afetado; aparecem núcleos poliplóides, células binucleadas, núcleos constrictos e divisões amitóticas; o desenvolvimento é cessado e há escurecimento das mesmas. Na parte aérea ocorre o surgimento de necrose, principalmente nas extremidades das folhas em desenvolvimento. Em poucas horas a deficiência de cálcio se torna visível, pois reduz a taxa de crescimento das raízes. Por isso, é importante determinar a concentração de cálcio adequada para que esta não seja confundida com a toxidez de alumínio.

O crescimento de raízes de milho durante 48 horas em solução com $2,50 \text{ mmol dm}^{-3}$ de cálcio sem a presença de alumínio é considerado como o máximo crescimento. A adição de alumínio provocou redução no comprimento do sistema radicular dos genótipos de milho. A adição de $0,025 \text{ mmol dm}^{-3}$ de alumínio provocou uma redução de 54% e 27%, respectivamente, para o TRAKTOR e P3081 (Figura 4).

Os tratamentos contendo $0,050$ e $0,075 \text{ mmol dm}^{-3}$ de alumínio provocaram uma redução no comprimento do sistema radicular de 70% para o TRAKTOR e de 51% e 42% para O P3081, respectivamente. Houve diferença entre os genótipos na redução do comprimento do sistema radicular nos tratamentos contendo alumínio, onde o genótipo TRAKTOR obteve maior redução no crescimento em relação ao P3081. Segundo Freitas [3], o comprimento das raízes, obtidos para avaliar a tolerância dos genótipos de arroz ao alumínio, expressou coeficientes de correlação significativos com todos os nutrientes. Isso sugere que é possível selecionar plantas tolerantes ao alumínio através do desenvolvimento de raízes.

A concentração de $2,5 \text{ mmol.dm}^{-3}$ de cálcio foi adequada para a realização de estudos em bioensaios nos genótipos de soja e milho, não promovendo restrições no crescimento da raiz principal. A concentração de $0,005 \text{ mmol.dm}^{-3}$ alumínio para soja e $0,025 \text{ mmol dm}^{-3}$ de alumínio para milho, combinadas com $2,5 \text{ mmol.dm}^{-3}$ de cálcio permitem diferenciar os genótipos de soja e milho em uma escala de tolerância ao alumínio.

Referências

- [1] CAMBRI, M. A. 2004. *Calagem e formas de alumínio em três localidades sob sistema de plantio direto*. Tese de Doutorado,

- Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Faculdade de Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- [2] DECHEN, A.R.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI P.R.; CANÇADO, G.M.A.; LOPES, M.A.; PAIVA, E. 1999. Tolerância e adaptação de plantas aos estresses nutricionais. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.(Eds). *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS., p.3337-361.
- [3] FREITAS, F. A., KOPP, M. M., SOUSA, R. O. 2006. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. *Ciência Rural*, 36: 72-79.
- [4] FORTUNATO, R.P., NICOLOSO, F.T. 2004. Toxidez de alumínio em plântulas de grábia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride). *Ciência Rural*. 34: 84-95.
- [5] MENOSSO, O. G., COSTA, J. A., ANGHINONI, I., BOHNEN, H. 2000. Tolerância de genótipos de soja ao alumínio em solução. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35: 2157-2166
- [6] RYAN, P.R., SHAFF, J.E., KOCHIAN, L.V. 1995. Aluminum toxicity in roots. Correlation among ionic currents, ion fluxes, and root elongation in aluminum-sensitive and aluminum-tolerant wheat cultivars. *Plant Physiology*, 99: 1193-1200.
- [7] SILVA, L. M.; LEMOS, L.B., CRUSCIOL, C. A.; FELTRAN, J.C. 2004. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 701-707.
- [8] TAYLOR, G.J. 1991. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. *Communication in Soil Science and Plants Analysis*, 19: 1179-1194.

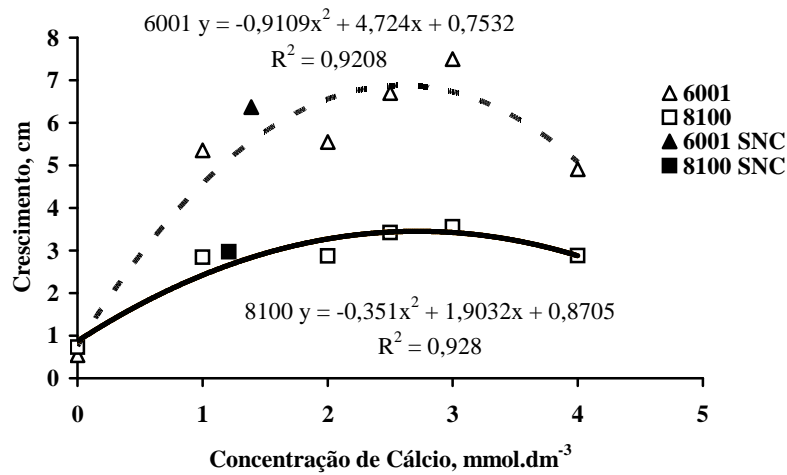
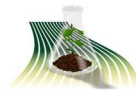


FIGURA 1: Crescimento da raiz principal de genótipos de soja cultivados por 48 horas em solução nutritiva completa e solução contendo diferentes concentrações de cálcio. Médias de quatro repetições. Pontos pretos correspondem ao crescimento da raiz principal em solução nutritiva completa para cada genótipo

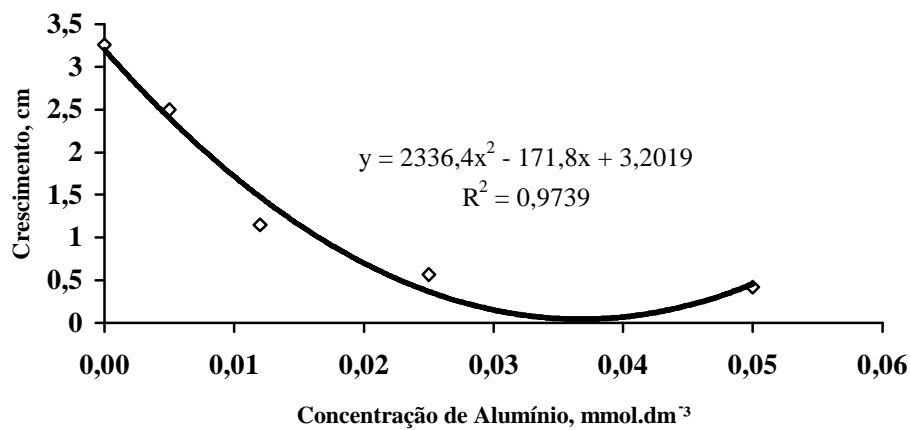


FIGURA 2: Média de crescimento da raiz principal de dois genótipos de soja (AL 72 e 8100) em solução contendo $2,5 \text{ mmol.dm}^{-3}$ de cálcio e diferentes concentrações de alumínio. Médias de quatro repetições.

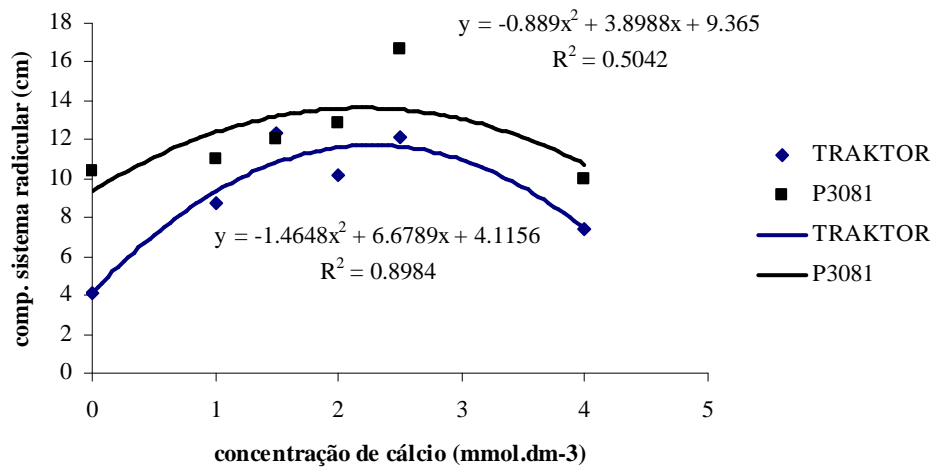
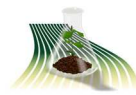


FIGURA 3. Comprimento do sistema radicular de genótipos de milho cultivados por 48 horas em solução contendo diferentes concentrações de cálcio.

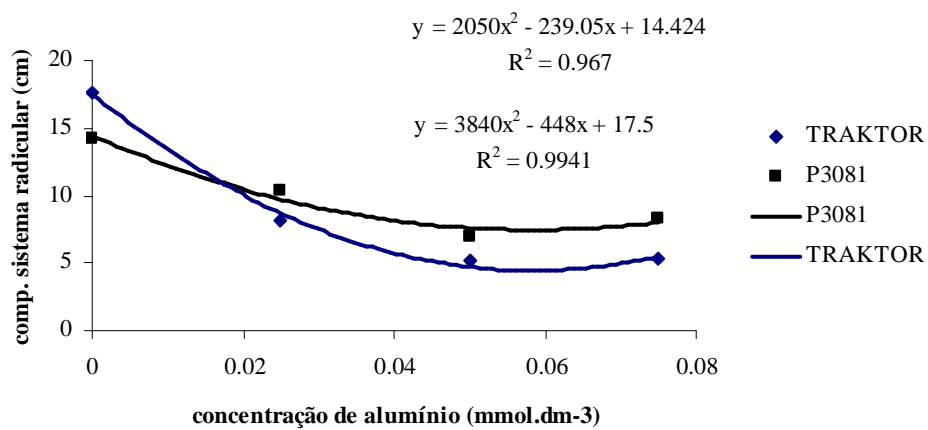


FIGURA 4. Comprimento do sistema radicular de genótipos de milho cultivados por 48 horas em solução contendo diferentes concentrações de alumínio e 2,50 mmol dm⁻³ de cálcio .