

REDUÇÃO DA TOXIDEX DE ALUMÍNIO EM RAÍZES DE SOJA POR CULTURAS ANTECESSORAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

REDUCTION OF ALUMINIUM TOXICITY TO SOYBEAN ROOTS BY WINTER COVER-CROPS GROWN IN NO-TILLAGE SYSTEM

SCHLINDWEIN, Jairo A.¹; NOLLA, Antônio¹; ANGHINONI, Ibanor²; MEURER, Egon J.²

- NOTA TÉCNICA -

RESUMO

As plantas produzem exsudatos radiculares que podem diminuir a fitotoxidez do alumínio em condições de baixo pH do solo. Este estudo foi realizado para avaliar a capacidade dos exsudatos de espécies de plantas antecessoras ao cultivo da soja, utilizadas como cobertura do solo no sistema plantio direto, de reduzir a toxidez de alumínio para essa cultura. Para tal, cultivaram-se plântulas de soja em tubos de ensaio contendo soluções extraídas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico de parcelas no campo que estiveram sob pousio e de parcelas cultivadas com nabo forrageiro, ervilhaca e aveia preta, nas quais se adicionou alumínio em três concentrações na solução (0,0; 0,15 e 0,3 mmol L⁻¹). Constatou-se maior comprimento das raízes de soja, as quais foram mais finas e com maior área superficial, até a dose de 0,15 mmol de Al³⁺ L⁻¹ na solução do solo cultivado anteriormente com nabo forrageiro. Na maior dose adicionada, 0,30 mmol de Al³⁺ L⁻¹, o comprimento das raízes de soja foi pequeno e as raízes foram grossas, com menor área superficial, independentemente da espécie cultivada. O nabo forrageiro apresentou a maior capacidade de reduzir a toxidez do alumínio para a soja, possivelmente, pela maior concentração de cálcio e magnésio na zona da rizosfera e pela produção de compostos orgânicos que complexam o alumínio em solução.

Palavras-chave: solução do solo, exsudatos orgânicos, morfologia de raízes.

Os mecanismos de ação fitotóxica do alumínio afetam a divisão e expansão celular e causam desorganização da membrana plasmática e inibição da absorção de íons. Alguns desses efeitos são visualizados pelo menor crescimento e engrossamento do sistema radicular (CLARK, 1977; HORST et al., 1982; KOCHIAN, 1995; DELHAIZE & RYAN, 1995), resultando em menor volume de solo explorado pelas raízes, prejudicando a absorção de água e nutrientes.

Algumas espécies de plantas apresentam mecanismos de tolerância à toxidez de alumínio, como a imobilização nas paredes celulares, o aumento do pH na rizosfera, precipitando o alumínio em solução, o transporte ativo para fora do citoplasma celular e a liberação de exsudatos orgânicos radiculares (ácidos orgânicos), os quais formam complexos ou quelatos com o alumínio evitando assim a sua absorção pelas raízes (KOCHIAN, 1995; DELHAIZE & RYAN, 1995).

A exsudação de ácidos orgânicos radiculares pode ser o mecanismo das plantas mais eficiente para controlar a toxidez de alumínio nas raízes (DELHAIZE & RYAN, 1995; KOCHIAN,

1995). São produzidos constantemente pelas raízes das plantas, são de baixo peso molecular e de baixa estabilidade no solo, mas, podem ser muito eficientes para complexar o alumínio, dependendo do tipo e quantidade de grupos funcionais (OH⁻ ou COOH⁻) na cadeia carboxílica, que determina o tipo de ácido orgânico (HORST et al., 1982; HUE et al., 1986; MIYAZAWA et al., 1992; DYNES & HUANG, 1997). A produção de exsudatos é variável conforme a espécie de planta (OHWAKI & HIRATA, 1992; JONES, 1998; STROBEL et al., 1999), condições de estresse (HORST et al., 1990; MARSCHNER, 1995; JONES, 1998) e é estimulada por microorganismos que utilizam e produzem outros compostos orgânicos (MARSCHNER, 1995; JONES, 1998).

Considerando que a aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto não corrige total e rapidamente a acidez do solo em profundidades maiores do que 10 cm (RHEINHEIMER et al., 2000), a utilização de espécies de cobertura do solo ou recicladoras de nutrientes é uma alternativa interessante para diminuir a toxidez de alumínio às raízes das plantas, quer pelo efeito direto, na neutralização do alumínio na zona de crescimento radicular, ou indireto, pela produção de fitomassa.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de espécies de inverno cultivadas em sistema plantio direto de reduzir a ação do alumínio em raízes de soja.

O trabalho foi realizado com amostras de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (Tabela 1), coletadas em outubro de 1999 na Estação Experimental da FUNDACEP-FECOTRIGO, em Cruz Alta, RS. A área foi cultivada, anteriormente, para produção de grãos no sistema plantio direto, desde 1994, com seqüência de culturas, no verão, milho/soja (*Zea mays* L./*Glycine max* (L.) Merr.) e, no inverno, trigo (*Triticum aestivum* L.), aveia preta (*Avena strigosa* L.) e ervilhaca ou nabo forrageiro (*Vicia sativa* L. ou *Raphanus sativus* L.). No inverno de 1999, foram instaladas parcelas cultivadas com nabo forrageiro, ervilhaca, aveia preta e testemunha sem cultivo (pousio).

As amostras de solo de aproximadamente 30 kg foram compostas por 10 subamostras retiradas aleatoriamente das parcelas cultivadas em cada tratamento: nabo forrageiro, ervilhaca e aveia preta. Foram retiradas na profundidade de 0-10 cm, com 20 cm de comprimento nas linhas de cultivo, por 10 cm de espessura (sendo 5 cm para cada lado da linha de cultivo). Este procedimento de amostragem teve por objetivo coletar uma maior proporção de solo da rizosfera, no estádio

¹ Engenheiro Agrônomo MSc., aluno de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712, Caixa Postal 776, CEP 90001 970, Porto Alegre (RS). E-mail: jairojas@vortex.ufrgs.br

² Eng. Agr. Dr. Professor Adjunto da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, CEP 90001 970, Porto Alegre (RS), Bolsista do CNPq.

(Recebido para publicação em 14/11/2002)

fenológico de floração das culturas (Tabela 2). Na parcela com tratamento em pousio (testemunha), as amostras de solo

foram retiradas em pontos ao acaso e nas mesmas dimensões daquelas das parcelas com as culturas.

Tabela 1 - Atributos químicos do Latossolo Vermelho Distrófico típico cultivado no sistema de plantio direto.

Profund.	pH ⁽¹⁾	Argila ⁽¹⁾	MO ⁽¹⁾	Mehlich-I		Cátions trocáveis			
				P ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Al ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	H+Al ⁽¹⁾
-- cm --		----- g kg ⁻¹ -----		----- mg kg ⁻¹ -----		----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
0-10	5,6	52	35	39,2	276	0,1	6,6	2,8	3,6
0-20	5,5	55	33	23,2	158	0,1	6,1	2,6	3,9

¹ Metodologias de análises descritas em TEDESCO et al. (1995)

Tabela 2 - Produtividade da parte aérea em massa verde e seca das espécies de inverno cultivadas no sistema de plantio direto e testemunha, sem cultivo, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Tratamentos	Massa verde	Massa seca
	----- Mg ha ⁻¹ -----	-----
Pousio	0	0
Ervilhaca	23,5	3,9
Nabo forrageiro	43,2	5,9
Aveia preta	20,8	6,3

Após a coleta, o solo de cada tratamento foi homogeneizado, peneirado (2 mm), umedecido até próximo da capacidade de campo e colocado em quatro colunas constituídas por tubos de PVC com 100 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento. Após 24 horas foi efetuada a extração da solução do solo pelo método do deslocamento (ADAMS, 1974). Após, a solução do solo das quatro colunas de cada tratamento foi misturada formando uma amostra.

Na solução do solo dos tratamentos (pousio, nabo forrageiro, ervilhaca e aveia preta) foram aplicados três tratamentos de alumínio (0,0; 0,15 e 0,3 mmol L⁻¹ na forma de AlCl₃). Utilizaram-se 40 mL de solução de solo, de cada tratamento de alumínio, em tubos de ensaio de 50 mL e um tratamento controle com CaCl₂ 0,02 mmol L⁻¹. Instalou-se, a seguir o bioensaio com duas plântulas de soja por tubo, com radículas com cerca de 2 cm (pré-germinadas em caixa de areia), da cultivar BR-16, considerada sensível à toxidez de alumínio (MENOSSO, 1994).

O bioensaio foi conduzido em delineamento completamente casualizado em esquema fatorial, com três repetições, durante quatro dias em casa de vegetação e a solução foi aerada constantemente. O pH em todos os

tratamentos foi ajustado diariamente com HCl 0,02 mmol L⁻¹ ou NaOH 0,02 mmol L⁻¹ na faixa de pH 4,2-4,5, na qual o monômero predominante é o Al³⁺, considerado o mais tóxico para as raízes.

Antes da aplicação dos tratamentos de alumínio, foram determinados o pH da solução do solo, o teor de carbono orgânico solúvel (MOORE, 1985), os teores de alumínio (forno de grafite), cálcio e magnésio (absorção atômica) e a condutividade elétrica. Ao final do bioensaio, avaliou-se a massa e o comprimento do sistema radicular das plântulas de soja (medição com régua), para estimar o raio e a área superficial das raízes, conforme a equação ($r = [massa / comprimento \times \pi]^{1/2}$) descrita por Barber (1995).

O teor de carbono orgânico solúvel na solução do solo, antes da instalação do bioensaio, variou de 1,2 a 9,2 mg L⁻¹ (Tabela 3). O valor mais baixo foi da solução da testemunha (pousio), enquanto que os de maiores valores ocorreram nos tratamentos de solo sob cultivo. Isto indica que a maior parte do carbono orgânico solúvel originou-se da atividade biológica, pela exsudação das plantas ou pela atividade microbiológica na rizosfera (MARSCHNER, 1995).

Embora não seja possível se efetuar a análise estatística dos componentes da solução inicial do solo, por ser única para cada tratamento (pousio ou culturas que originaram amostra de solo composta), observou-se que os maiores valores de condutividade elétrica ocorreram onde o solo foi cultivado com nabo forrageiro, o que pode estar relacionado com os maiores teores de cálcio e magnésio (Tabela 3). As maiores quantidades desses nutrientes devem ter chegado na região da rizosfera das plantas dessas culturas por fluxo de massa (BARBER, 1995), em função do seu maior crescimento em relação às demais culturas antecessoras (Tabela 2).

Tabela 3 - Atributos da solução de um Latossolo Vermelho Distrófico típico⁽¹⁾ em sistema de plantio direto nos diferentes tratamentos.

Tratamento	COS ⁽²⁾	CE ⁽³⁾	pH	Al	Ca	Mg
	-- mg L ⁻¹ --	-- dS m ⁻¹ --				
Pousio	1,2	0,19	5,1	0,0076	0,90	0,14
Nabo forrageiro	5,2	0,62	6,4	0,0004	5,08	0,89
Ervilhaca	5,7	0,28	5,8	0,0004	2,07	0,32
Aveia preta	9,2	0,16	5,9	0,0061	3,38	0,54

⁽¹⁾ Amostra de solo pousio e cultivado com as culturas, composta por 10 subamostras; ⁽²⁾ COS: carbono orgânico solúvel; ⁽³⁾ CE: condutividade elétrica.

O valor do pH da solução do solo variou de 5,1, no tratamento pousio, até 6,4, na solução do solo cultivado com nabo forrageiro (Tabela 3). A intensidade dos efeitos dos resíduos vegetais no pH do solo tem sido relacionada às suas características e composição. Como os resíduos de leguminosas geralmente exercem um efeito mais pronunciado

do que os de gramíneas (MIYAZAWA et al., 1993), os aumentos no pH na região da rizosfera decorrem da maior absorção de cálcio, magnésio e potássio pelas raízes, que estão associados à liberação de ânions orgânicos e especialmente hidroxilas, para manter o potencial eletroquímico das células (HELYAR, 1991).

Os teores de alumínio na solução do solo de cada cultura antecessora foram muito baixos e o mesmo ocorreu com os de alumínio trocável no solo ($0,1 \text{ cmol}_c \text{ de Al}^{3+} \text{ kg}^{-1}$). Esses baixos valores decorrem do pH ser maior do que 5,5 (Tabela 1), onde ocorre precipitação desse alumínio na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$ e também pode ocorrer formação de complexos com ácidos orgânicos, de compostos orgânico solúvel (Tabela 3), reduzindo a atividade química do alumínio na solução (DELHAIZE & RYAN, 1995; KOCHIAN, 1995).

As plântulas de soja, que se desenvolveram nos tubos com a solução do solo extraída da parcela cultivada com nabo forrageiro, apresentaram comprimento de raízes similar ao das que se desenvolveram na solução CaCl_2 , porém, maior do que

aquelas da solução do solo dos demais tratamentos, e não foram afetadas pela adição de $0,15 \text{ mmol L}^{-1}$ de alumínio, mas decresceram com a adição de $0,3 \text{ mmol L}^{-1}$ (Figura 1a). Essa menor fitotoxidez do alumínio, pode resultar da sua complexação com os ácidos orgânicos presentes na solução do solo cultivado com nabo forrageiro (SALET et al., 1999; STROBEL et al., 1999) e pela proteção fisiológica do cálcio (DELHAIZE & RYAN, 1995; MENOSSO, 1994). O comprimento das raízes da soja que se desenvolveram nas soluções de solo extraídas das parcelas cultivadas com ervilhaca e aveia preta, não diferiu daquele da testemunha (pousio).

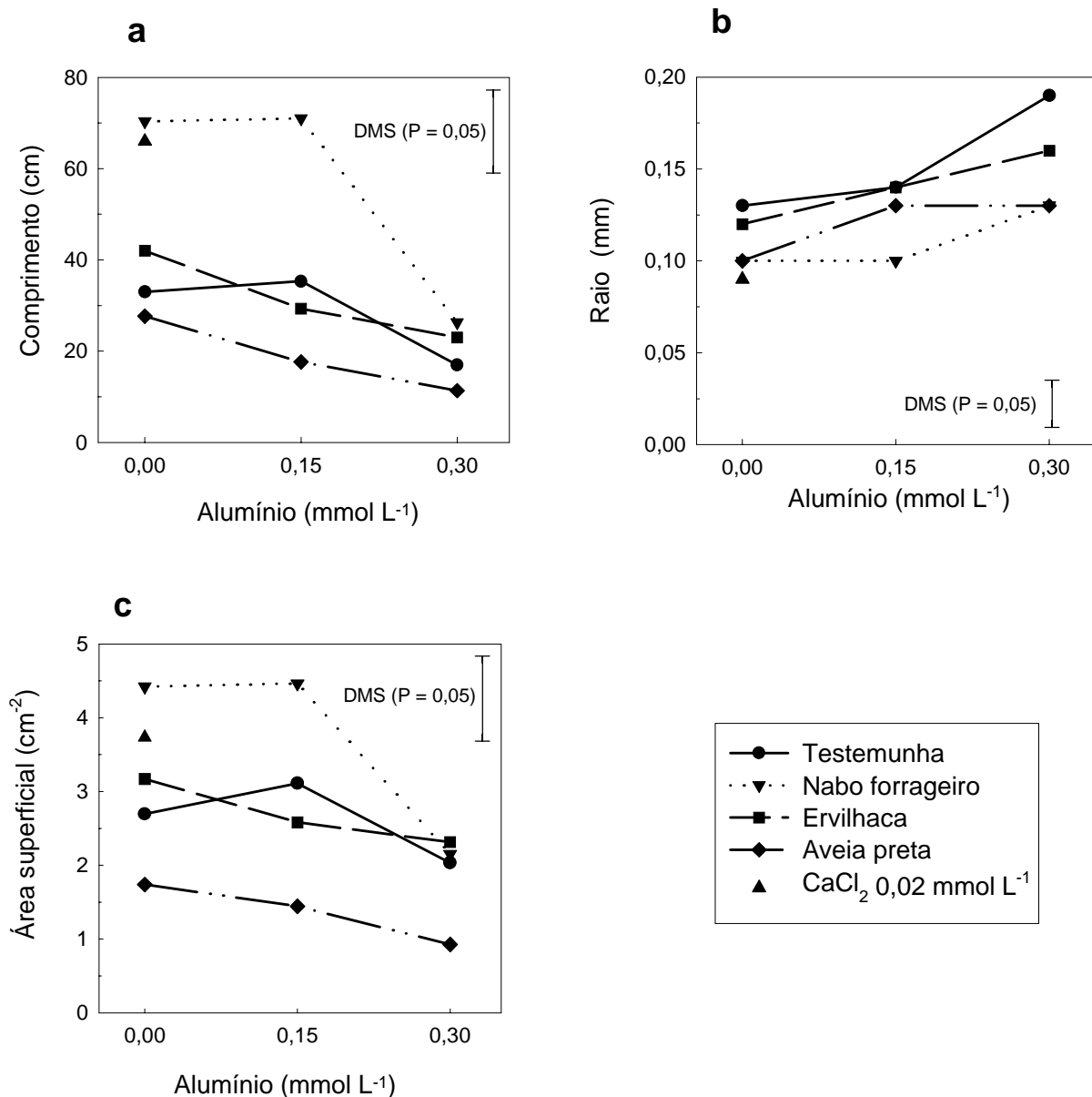


Figura 1 - Morfologia de raízes de soja em função do teor de alumínio adicionado à solução do Latossolo Vermelho Distrófico típico. a) Comprimento total, b) Raio, c) Área superficial. DMS: diferença mínima significativa, Tukey ($P = 0,05$).

É importante observar, também, o menor crescimento de raízes da soja na solução do solo de pousio, de ervilhaca e de aveia preta quando não houve adição de alumínio, e a aparente ineficiência

dos compostos orgânicos exsudados pela aveia preta e ervilhaca em neutralizar o efeito do alumínio adicionado à solução do solo (Figura 1a).

O raio médio das raízes das plântulas de soja também foi menor na solução coletada do solo cultivado com nabo forrageiro (Figura 1b), caracterizando raízes mais finas e maior área superficial (Figura 1c), o que é desejável para aporte de água e nutrientes, e não foi afetado pelas concentrações de alumínio até 0,15 mmol L⁻¹. O aumento da concentração de alumínio na solução para 0,30 mmol L⁻¹, provocou engrossamento das raízes e diminuição da área superficial em todos os tratamentos.

A solução do solo cultivado com aveia preta propiciou pequeno crescimento das raízes da soja, especialmente a superfície radicular, mesmo com baixo alumínio (Figura 1c), do que se conclui pela aparente ineficiência dos compostos orgânicos exsudados por essa cultura (maior valor, Tabela 3) em neutralizar os efeitos nocivos do alumínio. É possível que esses compostos orgânicos apresentem algum efeito alelopático prejudicial às raízes das plantas (RUEDELL, 1995).

Concluiu-se que o nabo forrageiro apresentou maior capacidade de reduzir a toxidez de alumínio às raízes da soja, por acumular cátions básicos e exsudatos orgânicos na região da rizosfera.

AGRADECIMENTOS

À FUNDACEP-FECOTRIGO, em especial ao Eng. Agr. MSc. Ciro Petre, pelas informações referentes ao experimento e por disponibilizar as amostras de solo.

ABSTRACT

Plant roots can exudate organic compounds to alleviate aluminum phytotoxicity under acidic conditions. This study was carried out to evaluate the capacity of winter cover-crops exudates, to reduce aluminum phytotoxicity to soybean plants in no-tillage system. Soybean seedlings were grown in soil solutions extracted from field plots of an Oxisol that had been under fallow during the winter and cultivated with winter radish, common vetch and black oat, in which were added aluminum at three different concentrations in solution (0.0, 0.15 and 0.30 mmol L⁻¹). Soybean grown in soil solution from radish plots showed larger root growth and surface area up to the rate of 0.15 mmol L⁻¹ of added aluminum, compared to the other treatments. In the highest rate of added aluminum, 0.30 mmol L⁻¹, root growth was small, for all treatments. Radish crop presented higher capacity to reduce aluminum phytotoxicity in soybean, possibly due to increase of calcium and magnesium concentration in rhizosphere solution and production of organic compounds able to complex aluminum in solution.

Key words: soil solution, organics exude, root morphology.

REFERÊNCIAS

ADAMS, F. Soil solution. In: CARSON, E.W., ed. **The plant root and its environment**. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974 p.441-485.
 BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability – a mechanistic approach**. 2.ed. New York, 1995. 414p.
 CLARK, R.B. Efect of aluminium on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. **Soil Plant**, v. 47, p. 653-662, 1977.
 DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminium toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, v. 107, p. 315-321, 1995.

DYNES, J.J.; HUANG, P.M. Influence of organic acids on selenite sorption by poorly ordered aluminium hydroxides, **Soil Science Society of American Journal**, v. 61, p. 772-783, 1997.

HELYAR, K.R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; MURRÁN, R.P. **Plant-soil interaction at low pH**. Dordrecht, Kluwer Academic, 1991. p.365-382.

HORST, W.J.; WAGNER, A.; MARSCHNER, H. Mucilage protects root meristems from aluminium. **Z. Pflanzenphysiol**, v. 105, p. 435-444, 1982.

HORST, W.J.; KLOTZ, F.; SZULKIEWICZ, P. Mechanical impedance increases aluminium tolerance of soybean (*Glycine max*) roots. **Plant Soil**, v. 124, p. 227-231, 1990.

HUE, N.V.; CRADDOCK, G.R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. **Soil Science Society of American Journal**, v 50, p.28-34, 1986.

JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. **Plant Soil**, v. 205, p. 25-44, 1998.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plant. **Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 46, p. 237-260, 1995.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. New York, Academic Press, 1995. 889p.

MENOSSO, O.G. **Alumínio tóxico em soja: tolerância de genótipos e seus mecanismos**. Porto Alegre, 1994. 182 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G.O.; PAVAN, M.A. Amenização da toxidez de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 209-215, 1992.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito do material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p. 411-416, 1993.

MOORE, T.R. The spectrophotometric determination of dissolved organic carbon in peat waters. **Soil Science Society of American Journal**, v. 49, p. 1590-1592, 1985

OHWAKI, y.; HIRATA, H. Diferences in carboxylic acid exudation among p-starved leguminous crops in relation to carboxylic acid contents in plant tissues and phospholipid level in roots. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 38, p. 235-243, 1992.

RHEINHEIMER, D. dos S.; SANTOS, E.J. da S.; KAMINSKY, J. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso, **Ciência Rural**, v. 30, p. 263-268, 2000.

RUEDELL, J. Dessecação de plantas infectantes no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo, **Resumos...**, Passo Fundo: Embrapa Trigo, v1. p.21-27.

SALET, L.R.; ANGHINONI, I.; KOCHIANN, R.A. Atividade do alumínio na solução do solo do sistema plantio direto, **Revista Científica da UNICRUZ**, v. 1, p. 1-5, 1999.

STROBEL, B.J.; BERNHOLF, I.; BORGGAARD, O.K. Low-molecular-weight aliphatic acids in soil solution under different vegetations determined by capillary zone electrophoresis. **Plant Soil**, v. 212, p. 115-121, 1999.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1995. 147p. (Boletim Técnico, n.5)