

## AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997; (impresso): 1981-1160

v.5, n.4, p.491-496, out.-dez., 2010

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI: 10.5239/agraria.v5i4.852

Protocolo 852 – 09/03/2010 \*Aprovado em 23/08/2010

Vanderlise Giongo<sup>1</sup>

Humberto Bohnen<sup>2</sup>

# Caracterização química superficial de Latossolo cultivado sob sistema convencional e plantio direto no Rio Grande do Sul

## RESUMO

No sistema plantio direto (SPD), o não revolvimento do solo, o acúmulo de resíduos na superfície e a rotação de culturas com leguminosas e/ou gramíneas, podem alterar a dinâmica dos nutrientes no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as principais alterações de algumas características químicas do solo e da planta, com ênfase nos teores de Al, Ca, P e Si, da solução de solo do ambiente radicular e do tecido vegetal da cultura do milho sob SPD e sistema de preparo convencional (SPC). Neste estudo foram realizadas análises químicas da solução do solo, em dois experimentos (1 e 2), e, em um deles, foi realizada também a análise química de tecido vegetal da cultura do milho. No experimento 1 não houve diferença entre os sistemas de manejo para os teores de Al e P, enquanto no SPD foram encontrados maiores teores de Ca, Mg e K e menores de Si na solução de solo, quando comparado ao SPC. No experimento 2, menores teores de Al e K e maiores de Si na solução do solo foram observados no SPD em comparação ao SPC. A quantidade de Si, N, P, K, Ca e Mg acumulada na parte aérea das plantas de milho foi maior no SPD que no SPC. O SPD propicia mudanças nos teores de Si, Ca e Al na solução de solo em comparação ao SPC.

**Palavras-chave:** Alumínio, cálcio, composição química da planta, fósforo, silício

## Superficial chemical characterization of Latosol cultivated under conventional tillage and zero tillage in Rio Grande do Sul, Brazil

## ABSTRACT

In zero tillage systems, the accumulation of residues in the soil surface and the use of crop rotation with leguminous plants and/or grasses can change soil nutrient dynamics. The objective of this work was to verify the main alterations of some chemical characteristics of soil and plant, with emphasis in the concentration of aluminum, calcium, phosphorus and silicon in the soil solution of the root system environment and in the leaves of the maize crop under zero tillage system in relation to conventional tillage system. The chemical characterization of the soil solution was carried out in two experiments (1 and 2). In experiment 1 no differences were observed between the systems for aluminum and phosphorus concentration in the soil solution. However, the soils under the zero tilling system presented greater amounts of calcium, magnesium and potassium and lower silicon concentrations in the soil solution, when compared with the other system. In experiment 2, soil solution of the zero tillage system showed smaller concentration of aluminum and phosphorus and greater concentration of silicon when compared with the other system. The total amount of silicon and macronutrients accumulated was greater in the soil under the zero tillage system. The zero tillage system promotes changes in the concentrations of Si, Ca and Al in the soil solution in comparison with the conventional tillage system.

**Key words:** Aluminum, calcium, plant chemical composition, phosphorus, silicon

<sup>1</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rodovia BR 428, Km 152, Zona Rural, CEP 56300-970, Petrolina-PE, Brasil. Caixa-Postal: 23. Fone: (81) 3862-1711 Ramal: 277. E-mail:

<sup>2</sup> Engenheiro-Agrônomo, PhD., Consultor do Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA Estação Experimental do Arroz. CEP 94930-030, Cachoeirinha-RS, Brasil. Fone: (51) 3470-0617. E-mail: humbertobohnen@uol.com.br

## INTRODUÇÃO

A adoção do sistema de plantio direto (SPD) reduz o revolvimento do solo, favorecendo a recuperação das propriedades físicas e químicas comumente deterioradas pelo sistema de cultivo intensivo ou convencional (Lima et al., 2007). Esse tipo de manejo vem se afirmando como uma estratégia essencial para a manutenção da sustentabilidade na utilização agrícola dos solos (Soratto & Crusciol, 2008).

Os restos vegetais deixados na superfície do solo em SPD podem resultar em incrementos potenciais de matéria orgânica e nutrientes no solo, que são disponibilizados às plantas após sua mineralização. As melhorias causadas pelo SPD nas propriedades químicas do solo, em curto prazo, ocorrem nas camadas superficiais e ao longo do tempo deslocam-se em profundidade (Costa et al., 2006). O grau destas melhorias é afetado principalmente pelo tipo de sistema de cultura adotado, devido à quantidade e à qualidade dos resíduos adicionados, bem como à variabilidade de toda atividade metabólica de diferentes espécies de plantas cultivadas (Burle, 1995).

Dentre as mudanças ocasionadas pelo SPD nas características químicas do solo, as alterações nas concentrações de íons, como Al, Ca, Mg, P e Si, são significativas. Com relação ao Si, estudos demonstraram uma forte correlação deste elemento com a matéria orgânica do solo, evidenciando a origem biogênica deste elemento nas camadas superficiais do solo (Saccone et al., 2008). Com isso, o aumento do teor de matéria orgânica no solo, por meio da adoção do SPD, pode manter teores mais elevados de Si na solução de solo. Esse incremento é ocasionado pela presença de compostos orgânicos que podem impedir a precipitação do Si e pelo aumento da taxa de dissolução de silicatos com o aumento do pH (Ma, 2000, Piñeros et al., 2002). A presença de gramíneas no sistema de rotação de culturas também pode favorecer o acúmulo de Si na camada superficial do solo (Camargo et al., 2007).

Os resultados benéficos do Si, aumentando a tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos, têm sido amplamente descritos na literatura científica (Fauteaux et al., 2005, Reis et al., 2008, Tuna et al., 2008, Savvas et al., 2009). Em relação ao estresse provocado pela presença de Al, o Si pode diminuir os sintomas de toxidez nas plantas (Ryder et al., 2003). Os mecanismos envolvidos neste processo podem ocorrer tanto no solo quanto na planta, e alterações nas concentrações de alumínio, Ca e P na solução do solo podem afetar direta ou indiretamente o efeito do Si sobre as plantas em relação à toxidez de Al.

No SPD, o não revolvimento do solo, o acúmulo de resíduos na superfície e a utilização de rotação de culturas, incluindo leguminosas e/ou gramíneas, podem promover aumento nos teores de Ca, P e Si e alterações nas concentrações de Al na solução de solo, em relação ao SPC. Buscando quantificar estas alterações, o objetivo deste trabalho foi verificar as mudanças de algumas características químicas, com ênfase nos teores de Al, Ca, P e Si na solução de solo do ambiente radicular das plantas cultivadas em SPD, em relação àquelas cultivadas em SPC.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras superficiais de um Latossolo Vermelho Distrófico típico foram coletadas, no ano de 1999, em dois locais, um localizado no Centro de Experimentação e Pesquisa FUNDACEP FECOTRIGO, no município de Cruz Alta (RS) (experimento 1); e outro localizado em Três Capões, a 60 km do município de Cruz Alta (RS) (experimento 2).

O experimento 1 foi instalado em 1985 em uma área de lavoura que estava sendo cultivada há aproximadamente 30 anos sob sistema de preparo convencional, principalmente com a cultura do trigo, e posteriormente com a sucessão trigo/soja. Antes de sua implantação, foi realizada a correção da acidez de acordo com a necessidade de calagem pelo índice SMP, para elevar o pH do solo a 6,5; para isso foram aplicadas 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. O experimento 2 foi instalado em 1993 em uma área de campo nativo. Não foi aplicado corretivo de acidez em nenhum momento da condução do experimento. As adubações, em ambos os experimentos, foram realizadas de acordo com a necessidade das culturas (Comissão, 1994).

Na época de amostragem do solo, em ambos os locais, as áreas estavam cultivadas com milho sob os dois sistemas de preparo do solo em estudo: sistema de preparo convencional (SPC) com uso de grade pesada mais duas grades leves, e sistema de plantio direto (SPD), sem revolvimento e tendo a soja como cultura de cobertura, que foi dessecada e deixada na superfície. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,0-5,0 cm, amostrando-se três blocos dentro de cada área. Cada bloco correspondeu a uma área de 1 m<sup>2</sup>. Para a caracterização do solo, em cada bloco foram feitas três amostragens simples para composição da amostra composta e nestas foi quantificado o pH em H<sub>2</sub>O e os teores de matéria orgânica (MO), Ca, Mg, K, Al de acordo com as metodologias da Embrapa (1997), e P de acordo com a metodologia de Murphy & Riley (1962).

A extração da solução do solo foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Petrere (2002), a qual foi feita da seguinte forma: uma precipitação de 40 mm foi aplicada em cada bloco, sendo posteriormente cobertos por uma lona plástica preta por 24 horas para estabelecimento do equilíbrio solo-solução. Após esse período, os blocos foram divididos em quatro quadrantes para compor quatro repetições. Foram coletadas amostras indeformadas com um calador de aço inox de 25 mm de diâmetro por 100 mm de altura. As amostras de solo foram retiradas em número de 20 subamostras por quadrante, compondo uma repetição. Cada amostra retirada foi colocada diretamente em tubos de PVC de 25 mm de diâmetro por 70 mm de altura com o fundo de papel filtro analítico. Os tubos foram levados imediatamente para o laboratório de Química do Solo para a extração da solução do solo. A extração da solução do solo foi realizada por centrifugação a 4.000 rpm durante 30 minutos. A solução extraída foi colocada em tubos de ensaio para a realização das análises químicas.

Na solução do solo, foram determinados o pH em H<sub>2</sub>O, condutividade elétrica (CE), teores de Ca, Mg, K e Na

(Embrapa, 1997), P de acordo com a metodologia de Murphy & Riley (1962), carbono orgânico solúvel por colorimetria, segundo metodologia descrita por Mendonça & Matos (2005) adaptado de Bartlett & Ross (1988), Al no espectrofotômetro de absorção atômica e o Si pelo método de Hallmark et al. (1982).

A caracterização química do solo no ano de instalação dos sistemas de preparo e de amostragem de cada experimento está descrita na Tabela 1.

Amostras de tecido vegetal da cultura de milho foram coletadas no experimento 2, constituídas de cinco plantas por repetição, no estágio de pleno florescimento, com três repetições para cada sistema de manejo de solo. Foram determinados os teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido das

folhas índice (primeira folha abaixo da espiga) e das plantas inteiras segundo Tedesco et al. (1995). Os teores de Si foram determinados por absorção atômica, após digestão do tecido com uma mistura de HF, HNO<sub>3</sub> e de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em recipiente de teflon hermeticamente fechado e uso de microondas DET 100 (Provecto, s/d).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com doze repetições para os resultados de análises da solução do solo, e três repetições para os resultados de análises de tecido foliar. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância, por meio do programa estatístico SANEST (Zonta & Machado, 1984).

**Tabela 1.** Caracterização química, na profundidade de 0,0 – 5,0 cm, de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, sob dois sistemas de manejo. Experimento 1, localizado na FUNDACEP e experimento 2, localizado em Três Capões, Cruz Alta, RS

**Table 1.** Chemical characterization, in the depths 0.0-5.0 cm, of a typical Red Dystrophic Latosol under two management systems. Experiment 1 located in FUNDACEP and experiment 2 in Três Capões, Cruz Alta, RS, Brazil

Sistema de manejo*	pH (H <sub>2</sub> O)	MO (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	K	Al	P (mg kg <sup>-1</sup> )
Experimento 1							
Instalação - 1985	4,5	3,2	2,7	1,5	0,20	1,2	19,0
SPC - 2000	5,4	4,1	5,9	1,7	0,90	0,1	31,0
SPD - 2000	5,8	4,6	7,9	2,6	1,30	0,01	41,3
Experimento 2							
Instalação - 1993	4,7	3,2	2,8	1,5	0,08	1,0	5,2
SPC - 2000	4,9	2,6	2,2	0,7	0,30	1,3	1,3
SPD - 2000	4,7	2,7	2,6	0,8	0,30	0,9	0,9

\*SPC - sistema plantio convencional. SPD - sistema plantio direto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mudança no sistema de manejo proporcionou alterações nos teores de Ca, Mg, K e Si no experimento 1 e no pH, condutividade elétrica e nos teores de K, S, P, Si e Al no experimento 2 na solução do solo (Tabela 2).

O pH da solução de solo diferiu entre os sistemas apenas no experimento 2 (Tabela 2). Na fase trocável, há uma grande atividade de hidrogênio que permanece na nuvem eletrônica da dupla camada difusa e que é detectado quando o pH da solução de solo é medido; porém, a atividade do hidrogênio na solução do solo é muito menor e isso ocorre por conta da grande interação entre os íons e moléculas na solução do solo (Meurer & Anghinoni, 2004). Quanto maior a quantidade de hidrogênio na solução do solo menor será o seu potencial químico.

A condutividade elétrica na solução do solo foi maior no sistema de plantio direto em relação ao convencional para ambos os experimentos (Tabela 2). Isto decorre do maior teor de íons na camada superficial do solo no SPD. O maior teor de íons na camada superficial ocorre devido as adubações e

a deposição de resíduos se realizarem na superfície, que através da mineralização promove a ciclagem e o acúmulo dos íons nos primeiros centímetros do solo, enquanto que no SPC, as operações de aração e gradagem promovem a redistribuição dos íons no perfil.

Os teores de Ca, Mg e K na solução do solo, no experimento 1, foram maiores (P<0,05) no SPD em comparação ao SPC, com aumentos de 44, 40 e 36%, respectivamente. Os maiores teores de cátions na solução de solo no SPD, na área amostrada de 0,0-5,0 cm, ocorrem provavelmente devido às aplicações superficiais de adubos e corretivos de acidez, juntamente com o maior aporte de matéria orgânica ao solo com conseqüente liberação de nutrientes pela mineralização e do maior tempo de adoção do SPD no experimento 1. No experimento 2, o SPD apresentou menor teor de K na solução do solo em relação ao SPC (Tabela 2). Esta diferença provavelmente decorre do período de coleta das amostras de solo no sistema SPD, pois estava instalada a cultura de milho (estádio de cinco a sete folhas) com estande uniforme de plantas mais verdes e maiores, que provavelmente estavam absorvendo o K da solução de solo, provocando uma

**Tabela 2.** Caracterização química da solução de solo, na profundidade de 0,0 – 5,0 cm, de um Latossolo Vermelho Distrófico típico cultivado sob dois sistemas de manejo. Experimento 1, localizado na FUNDACEP. Experimento 2, localizado em Três Capões, Cruz Alta, RS

**Table 2.** Chemical characterization of the soil solution, in depths 0.0-5.0 cm, of a typical Red Dystrophic Latosol cultivated under two management systems. Experiment 1 located in FUNDACEP and experiment 2 in Três Capões, Cruz Alta, RS, Brazil

Sistema de manejo*	pH (H <sub>2</sub> O)	C.E (ds m <sup>-1</sup> )	COS (mg L <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	S (mmol dm <sup>-3</sup> )	P	Si	Al
EXPERIMENTO 1											
SPC	6,5 a <sup>#</sup>	0,68 b	46,7 a	1,46 b	0,99 b	0,89 b	0,47 a	0,81 a	0,001 a	0,25 a	0,01 a
SPD	6,6 a	0,94 a	46,2 a	2,11 a	1,39 a	1,21 a	0,41 a	0,88 a	0,001 a	0,15 b	0,01 a
EXPERIMENTO 2											
SPC	4,4 b	0,70 b	32,4 a	1,03 a	0,46 a	0,76 a	0,37 a	0,21 b	0,001 a	0,14 b	0,09 a
SPD	4,7 a	0,94 a	35,8 a	1,18 a	0,52 a	0,51 b	0,41 a	0,26 a	0,002 a	0,34 a	0,05 b

\* SPC – sistema plantio convencional. SPD – sistema plantio direto. COS – carbono orgânico solúvel

# Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey

depleção em seu teor em relação ao SPC. As quantidades acumuladas de K (Tabela 3) corroboram esta suposição, pois no SPD as plantas de milho acumularam o dobro de K em relação às do SPC.

A presença de baixos teores de P na solução do solo em ambos os experimentos são, provavelmente, devidos à sua baixa mobilidade e à formação de precipitados de Fe e Al em meio ácido (Novais & Smith, 1999), além das interações entre alumínio, Si e carbono orgânico solúvel, pois os ácidos orgânicos, assim como o Si, na forma de ácido monossilícico podem estar competindo com o P pelos sítios de adsorção nos óxidos de Fe e Al, liberando o P para a solução de solo (Guppy et al., 2005; Korndörfer, 2006). Nolla & Anghinoni (2006) verificaram que a aplicação de P diminuiu a atividade

do Al na solução e que esse efeito foi maior na condição de maior acidez.

Os teores de Si na solução de solo foram de 0,25 e 0,15 mmol dm<sup>-3</sup> no SPC e SPD do experimento 1, respectivamente, e de 0,14 e 0,34 mmol dm<sup>-3</sup> no SPC e SPD do experimento 2, respectivamente (Tabela 2). Estes teores estão na faixa de valores encontrados na literatura, pois segundo Epstein (1994), os valores de Si na solução de solo podem variar de 0,1 a 0,6 mmol dm<sup>-3</sup>. O teor de Si na solução de solo no experimento 1 foi maior no SPC do que no SPD, enquanto que no experimento 2, o resultado foi contrário. Estas diferenças encontradas nos experimentos 1 e 2 podem ser justificadas por meio dos principais processos que influenciam a concentração de Si na solução de solo. Savant et al. (1997) demonstraram que uma das entradas que regulam o teor de Si na solução de solo é a decomposição dos resíduos vegetais, e uma das saídas é a absorção de Si pelas plantas. No experimento 1, a quantidade de resíduos adicionada à superfície após o cultivo da cultura de aveia foi de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> no SPD e de 1,8 Mg ha<sup>-1</sup> no SPC. No SPD, a mineralização dos resíduos é mais lenta; com isso, grande parte do Si absorvido durante o ciclo da cultura anterior continua em superfície como constituinte dos resíduos. No SPC, como os resíduos já foram mineralizados devido ao efeito da incorporação, constatou-se maior teor de Si na solução de solo.

No experimento 2, quando foi realizada a coleta das amostras de solo, o SPC e o SPD apresentavam pouca quantidade de resíduos em superfície. Toda a ciclagem de Si realizada pelas culturas anteriores teve seu efeito concentrado na superfície do solo no SPD. A incorporação dos resíduos através de arações e gradagens distribui o Si em profundidade; por isso, o SPC apresentou menor teor de Si na solução de solo. Deve-se considerar que o teor de Si no solo é função do seu ciclo biogeoquímico, que depende das velocidades das reações de entrada e saída de Si no sistema. O sistema de manejo é um dos fatores que influencia a concentração de Si, em função das adições e decomposições dos resíduos. A

**Tabela 3.** Teores (%) de Si e macronutrientes no tecido vegetal de milho cultivado sob dois sistemas de manejo de solo no experimento de Três Capões – Cruz Alta, RS

**Table 3.** Silicon and macronutrients content (%) on maize vegetal tissue cultivated under two soil management systems in the experiment held in Três Capões – Cruz Alta, RS, Brazil

Sistema de manejo*	Si	N	P	K	Ca	Mg
(%)						
Folha índice						
SPC	0,78 a <sup>#</sup>	3,06 a	0,20 a	2,00 a	0,31 a	0,21 a
SPD	0,49 b	2,74 b	0,19 a	1,94 a	0,25 a	0,16 a
Planta						
SPC	0,63 a	2,26 a	0,18 a	1,81 a	0,25 a	0,28 a
SPD	0,49 b	2,25 a	0,19 a	1,83 a	0,31 a	0,22 a

\* SPC – sistema plantio convencional. SPD – sistema plantio direto.

# Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Peso de matéria seca: SPC=3,25 Mg ha<sup>-1</sup> e SPD=7,48 Mg ha<sup>-1</sup>

**Tabela 4.** Quantidades acumuladas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de Si e macronutrientes no tecido vegetal de milho cultivado sob dois sistemas de manejo de solo no experimento de Três Capões – Cruz Alta, RS

**Table 4.** Accumulated quantities ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) of Si and macronutrients in the maize vegetal tissue cultivated under two soil management systems in the experiment held in Três Capões – Cruz Alta, RS, Brazil

Sistema de manejo <sup>†</sup>	Si	N	P	K	Ca	Mg
(kg ha <sup>-1</sup> )						
Folha índice						
SPC	25 b <sup>#</sup>	99 b	6 b	65 b	10 b	7 b
SPD	37 a	204 a	14 a	145 a	19 a	12 a
Planta						
SPC	18 b	73 b	6 b	59 b	8 b	9 B
SPD	37 a	168 a	14 a	137 a	23 a	17 A

<sup>†</sup> SPC – sistema plantio convencional. SPD – sistema plantio direto.

<sup>#</sup> Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Peso de matéria seca: SPC=3,25 Mg ha<sup>-1</sup> e SPD=7,48 Mg ha<sup>-1</sup>

ciclagem do Si de restos culturais em solos intemperizados é provavelmente a principal fonte deste elemento para as plantas principalmente na forma de opala biogênica (Desplanques et al., 2006).

Para verificar a absorção de Si pelas plantas, foram determinados os teores deste elemento na cultura de milho no experimento 2. Os teores de Si encontrados nos tecidos da cultura de milho (Tabela 3) foram baixos em relação aos encontrados na literatura para culturas como o arroz e a cana-de-açúcar, mas foram superiores à porcentagem de Si encontrada em teosinto (*Euchlaena mexicana*), espécie silvestre de milho mexicano, que acumulou em torno de 0,19% a 0,22% (Barceló et al., 1993). O SPC resultou em maiores teores de Si na folha índice e na planta do que o SPD. Porém, o SPC reciclou menor quantidade de Si por hectare (Tabela 4).

Estas diferenças ocorrem devido às interações bióticas e abióticas que os sistemas de manejo provocam. Como exemplo destas interações, pode-se correlacionar a menor quantidade de palha no SPC, com o aumento da temperatura de solo e a diminuição da quantidade de água disponível para a planta, que pode entrar em estresse. Além destes fatores, pode haver o aumento da taxa de transpiração e, por conseguinte, aumento do acúmulo de Si nas células (Korndörfer, 2006). Por outro lado pode ocorrer o acúmulo de Si para evitar perdas de água. Como o processo de crescimento e desenvolvimento é prejudicado, ocorre o acúmulo de Si nos tecidos.

Em relação aos macronutrientes, houve diferença significativa no teor de N na folha índice nos diferentes sistemas de manejo. O N pode alterar o grau de expressão do efeito de Si (Takahashi, 1995), e o Si pode promover alterações na arquitetura foliar que influenciam indiretamente a resposta ao N. As porcentagens de P, K, Ca e Mg, tanto na folha índice quanto na planta, não diferiram significativamente entre os sistemas de manejo (Tabela 3). Porém para todos os macronutrientes houve maior acúmulo por hectare no SPD,

pois o milho produziu maior quantidade de matéria seca ( $7,48 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) quando comparado ao SPC ( $3,25 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), aportando maior quantidade de nutrientes ao solo. A quantidade maior de nutrientes por hectare sob plantio direto se deve, além da maior produtividade, a maior liberação de nutrientes decorrentes da mineralização da matéria orgânica aportada pelo sistema.

## CONCLUSÕES

A cultura do milho sob SPD acumula maior quantidade de Si e macronutrientes.

As mudanças nos teores de Si na solução de solo diferem em função das características do sistema de manejo.

## LITERATURA CITADA

- Barceló, J.; Guevara, P.; Poschenrieder, Ch. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. *mexicana*). *Plant Soil*, v.154, n.2, p.249-255, 1993.
- Bartlett, R.J.; Ross, D.N. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Science Society America Journal*, v.52, n.2, p.1191-1192, 1988.
- Burle, M.L. Efeito de sistemas de cultura em características químicas do solo. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 104p. Dissertação Mestrado.
- Camargo, M.S.; Pereira, H.S.; Korndörfer, G.H.; Queiroz, A.A.; Reis, C.B. dos. Soil reaction and absorption of silicon by rice. *Scientia Agrícola*, v.64, n.1, p.176-180, 2007.
- Comissão de Fertilidade do Solo-RS/SC. Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.
- Costa, E.A.; Goedert, W.J.; Sousa, M.G. Qualidade do solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n.7, p.1185-1191, 2006.
- Desplanques, V.; Cary, L.; Mouret, J.C.; Trolard, F.; Bourrié, G.; Grauby, O.; Meunier, J.D. Silicon transfers in a rice in Camargue (France). *Journal of Geochemical Exploration*, v.88, n.1-3, p.190-193, 2006.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997, 212p.
- Epstein, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, v.91, n.1, p.11-17, 1994.
- Fauteaux, F.; Rémus-Borel, W.; Menzies, J.G.; Bélanger, R.R. Silicon and plants disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, v.249, n.1, p.1-6, 2005.
- Guppy, C.N.; Menzies, N.W.; Moody, P.W.; Blamey, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Australian Journal of Soil Research*, v.43, n.2, p.189-202, 2005.

- Hallmark, C.T.; Wilding, L.P.; Smeck, N.E. Silicon. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keener, D.R. (Eds.). *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, 1982. p.263-273.
- Korndörfer, G.H. Elementos benéficos. In: Fernandes, M.S. (Ed.) *Nutrição mineral de plantas*. 1.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.355-374.
- Lima, H.V.; Oliveira, T.S.de; Oliveira, M.M.de; Mendonça, E.deS.; Lima, P.J.B.F. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.5, p.1085-1098, 2007.
- Ma, J.F. Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants. *Plant and Cell Physiology*, v.41, n.4, p.383-390, 2000.
- Mendonça, E.S.; Matos, E.S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa, MG: D&M Gráfica e Editora Ltda, 2005. 107p.
- Meurer, E.J.; Anghinoni, I. A solução do solo. In: Meurer, E.J. (Ed). *Fundamentos de química do solo*. 2.ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.101-130.
- Murphy, J.; Riley, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphato in natural waters. *Analytical Chemistry Acta*, v.27, n.1, p.31-36, 1962.
- Nolla, A.; Anghinoni, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em Latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.6, p. 955-963, 2006.
- Novais, R.F.; Smith, T.J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399p.
- Petrere, V.G. *Caracterização química da solução de solo no SPD e relação entre Al e Si em genótipos de milho*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 98p. Tese Doutorado.
- Piñeros, M.A.; Magalhães, J.V.; Alves, V.M.C.; Kochian, L.V. The physiology and biophysics of aluminum tolerance mechanism based on root citrate exudation in maize. *Plant Physiology*, v. 129, n.3, p.1194-1206, 2002.
- Provecto. *Métodos para digestão de amostras*. Provecto. Sistemas Analíticos, s.d. 220p.
- Reis, M.A.; Arf, O.; Silva, M.G.; Sá, M.E.; Buzetti, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. *Acta Science Agronomum*, v.30, n.1, p.37-43, 2008.
- Ryder, M.; Gérard, F.; Evans, D.E.; Hodson, M.J. The use of root growth and modelling data to investigate amelioration of aluminium toxicity by silicon in *Picea abies* seedlings. *Journal of Inorganic Biochemistry*, v.97, n.1, p.52-58, 2003.
- Saccone, L.; Conley, D.J.; Likens, G.E.; Buso, D.C.; Johnson, C.E. Factors that Control the Range and Variability of Amorphous Silica in Soils in the Hubbard Brook Experimental Forest. *Soil Science Society America Journal*, v.72, n.6, p.1637-1644, 2008.
- Savant, N.K.; Snyder, G.H.; Hodson, M.J. Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy*, v.58, n.1, p.151-159, 1997.
- Savvas, D.; Giotis, D.; Chatzieustratiou, E.; Bakea, M.; Patakioutas, G. Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany*, v.65, n.1, p.11-17, 2009.
- Soratto, R.P.; Crusciol, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em SPD recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.2, p.675-688, 2008.
- Takahashi, E. Uptake mode and physiological functions of sílica. In: Matsuo, T.; Kumazawa, K.; Ishii, R.; Ishihara, K.; Hirata, H. (Eds.). *Science of the rice plant: physiology*. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p.420-433.
- Tedesco, M.J.; Volkweiss, S.J.; Bohmen, H. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Departamento de Solos (UFRGS), 1995. 176p.
- Tuna, A.L.; Kaya, C.; Higgs, D.; Murillo-Amador, B.; Aydemir, S.; Girgin, A.R. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environment Experimental of Botany*, v.62, n.1, p.10-16, 2008.
- Zonta, E.P.; Machado, A.A. *SANEST - Sistema de análise estatística para microcomputadores*. Pelotas: UFPel, 1984. 138p.