

EXTRATORES DE SILÍCIO SOLÚVEL EM SOLOS: INFLUÊNCIA DO CALCÁRIO E FÓSFORO

SOLUBLE SILICON EXTRACTANTS IN SOILS: LIME AND PHOSPHORUS INFLUENCE

Monica Sartori de CAMARGO¹; Gaspar Henrique KORNDÖRFER²; Gilberto Fernandes CORRÊA²; Hamilton Seron PEREIRA³; Daniel Scalia BARBOSA⁴; Rogério Henrique RESENDE⁴

RESUMO: A utilização de calcário e fósforo em solos tropicais são práticas comuns, que poderiam interferir na determinação do silício solúvel, sendo importante o conhecimento dessa interação. O objetivo do trabalho foi quantificar o silício solúvel em solos tratados com calcário e fósforo utilizando extratores comumente utilizados em vários países. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo os tratamentos foram compostos de doses equivalentes a 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de calcário, 2 doses de fósforo (0 e 400 mg kg⁻¹ P), 6 amostras de solos do horizonte A e 4 repetições. As amostras dos solos sob vegetação nativa de cerrado foram coletadas, secas, passadas em peneira de 50 mesh, aplicados o calcário e fósforo e acondicionadas em potes (250 g) fechados. Após 90 dias de incubação mantidos a 80 % da capacidade de campo, amostras homogêneas de solo foram retiradas e feitas análises de pHCaCl₂ e Si solúvel em ácido acético 0,5 mol L⁻¹, CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e água. A concentração de Si extraída em ácido acético foi maior que em CaCl₂ e água. O aumento das doses de calcário proporcionou aumento no pH e nos teores de silício extraídos pelo cloreto de cálcio e água para solos arenosos e decréscimo em solos argilosos e muito argilosos. O ácido acético extraiu menores teores de silício solúvel nos solos argilosos no tratamento com fósforo. Os resultados preliminares desse trabalho indicam que o ácido acético pode não ser extrator recomendado para a determinação de silício solúvel em solos, mas ainda sejam necessários estudos com plantas.

UNITERMOS: Silício, Extratores, Calcário, Fósforo.

INTRODUÇÃO

O silício é um dos elementos de maior ocorrência na forma sólida do solo como silicatos, desempenhando papel semelhante ao carbono no reino vegetal. Inúmeros benefícios têm sido mostrados com a sua utilização tais como redução da toxicidade do Fe e Mn (HORST ; MARSCHNER, 1978), melhoria no posicionamento das folhas (YOSHIDA; ONISHI; KITAGISHI 1959), aumento do aproveitamento do P pelas plantas, principalmente em solos muito intemperizados (AYRES, 1966; VOLKWEISS; VAN RAIJ, 1977; ROTHBUHR; SCOTT, 1957;), além do aumento da produtividade em gramíneas, justificado pelo seu efeito corretivo e por conferir às plantas maior tolerância à incidência a pragas

e doenças (ADATIA; BESFORD, 1986; KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002 b).

As concentrações de silício na solução do solo são variáveis de menos de 1 até mais de 100 mg dm⁻³ em SiO₂, sendo a maior parte não dissociada e prontamente absorvida pelas plantas (RAVEN, 1983). Trabalhos da Austrália (BECKWITH; REEVE, 1963), Hawaii (FOX et al., 1967) e Brasil (FREITAS et al., 1977; VAN RAIJ ; CAMARGO, 1973) mostraram que a concentração de sílica solúvel varia entre os solos dependendo da sua mineralogia (BECKWITH; REEVE, 1963; MCKEAGUE; CLINE, 1963). A textura é um fator importante para o silício solúvel. Meyer e Keeping (2001), trabalhando com solos de diversas texturas da Flórida, obtiveram valores razoáveis (R=0,40) entre o silício

¹ Bolsista, Recém Doutor/CNPQ, Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, ICIAG. mscamarg@yahoo.com.br.

² Professor, Doutor, Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias.

³ Professor, Doutor, Universidade Federal de Goiás, campus Jataí, (GO).

⁴ Graduandos em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, ICIAG.

Received: 25/06/04 Accept: 06/04/05

solúvel pelo método Truog (extrator ácido). Van Raij e Camargo (1973) também observaram relação entre textura e silício solúvel em vários extratores como CaCl_2 (0,01 e 0,0025 mol L^{-1}) e água. Freitas et al. (1977) também afirmaram nos seus experimentos que parecia existir correlação entre silício solúvel e os teores de argila entre os horizontes de um mesmo perfil, observando acúmulo de Si solúvel nos horizontes superficiais. O teor de silício solúvel pode ser baixo em função da textura, mineralogia e/ou reduzida através dos cultivos consecutivos, obtendo-se resposta à sua fertilização (KORNDÖRFER; KORNDÖRFER; CARDOSO, 2002 a; KORNDÖRFER et al., 2002c; SILVEIRA et al., 2003) nesses solos. A determinação do silício solúvel nos solos é fundamental para adequada recomendação da adubação silicatada.

Diferentes soluções extratoras têm sido utilizadas para avaliar a disponibilidade de silício às plantas, sendo a solução tampão de acetato a pH 4 (IMAZUMI; YOSHIDA, 1958) a mais comum no Japão (SUMIDA, 2002), o ácido acético 0,5 mol L^{-1} nos Estados Unidos (SNYDER, 2001) e no Brasil (KORNDÖRFER et al., 1999) e o CaCl_2 0,01 mol L^{-1} na Austrália (BERTHELSEN et al., 2002). Outros extratores podem ser utilizados como água, fosfato acidificado (KHALID; SILVA, 1980), NaCl , MgSO_4 (VAN RAIJ; CAMARGO, 1973). De modo geral, as mais eficientes são as ácidas que as soluções neutras e a dissolução aumenta com os agentes quelantes devido ao decréscimo da adsorção de silício resultantes da baixa concentração de Al e Fe (BERTHELSEN et al., 2002), podendo superestimar os resultados de silício solúvel (SUMIDA, 2002; XU et al., 2001).

Na determinação do silício solúvel, o pH da solução extratora é outro fator importante. Beckwith e Reeve (1963) encontraram que a concentração de silício em soluções ácidas excedeu os níveis inicialmente adicionados devido a uma liberação líquida em condições ácidas. Douglas, Allmaras e Roager (1984) encontraram valores maiores de silício em solos ácidos que alcalinos franco-siltosos, principalmente em menores profundidades. Essa relação inversa entre silício e pH na solução do solo é consistente com outros trabalhos (MC KEAGUE; CLINE, 1963; JONES; HANDRECK, 1965). Dessa forma, a concentração do silício na solução do solo é influenciada pelo pH, sendo que o uso do calcário ou do silicato em solos poderia afetar profundamente a química do silício e, conseqüentemente, os seus teores

determinados. Alguns trabalhos mostram que são obtidos valores altos de silício solúvel em ácido acético 0,5 Mol L^{-1} em solos em que foi utilizado calcário superficialmente sob palhada de cana na cultura da soja (DALTO, 2003) e em solos de diferentes texturas incubados com calcário por 90 dias (CAMARGO et al., 2003).

A aplicação de fósforo também é prática comum nos solos, ocorrendo grande interação entre o silício e o fósforo nos solos devido à competição pelos mesmos sítios de adsorção. O fósforo pode ocupar as superfícies adsorvedoras, com menor atração para o silício, ocorrendo sua liberação para a solução do solo (OLIVEIRA, 1984). Da mesma forma, a utilização de silicatos, além de aumentar o pH, aumentariam o fósforo às plantas pelo bloqueamento dos sítios de adsorção e deslocamento do P adsorvido para a solução com a adição de silicato (VAN RAIJ, 1981; VOLKWEISS; VAN RAIJ, 1977). A utilização de práticas comuns como a calagem e a adubação fosfatada poderiam alterar os teores de silício solúvel nos solos.

Considerando-se os benefícios do silício para as plantas e o aumento dos resultados de pesquisa positivos sobre esse elemento nos últimos anos, compreender a interação silício-fósforo influenciados por utilização de calcário em solos, é fundamental para maior eficiência da adubação silicatada. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do uso de doses de calcário (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹) e de fósforo (0 e 400 mg kg⁻¹ P) nos teores de silício solúvel em solos através de diversos extratores.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi estruturado com base no estudo desenvolvido por Melo et al. (2003) na região do Triângulo Mineiro. Foram selecionados seis solos distribuídos na em áreas sob vegetação nativa com o propósito de evitar influência de adubações e com características físicas, químicas contrastantes e materiais de origens diversos (Tabela 1). A caracterização física dos solos foi realizada de acordo com o método proposto pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (1979) e os teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO_2 totais dos solos foram obtidos pelo ataque sulfúrico (VETTORI, 1969) encontram-se na Tabela 2. As análises químicas do solo (Tabela 3) foram feitas segundo a metodologia das análises de rotina da Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais-CFSEMG (1999).

Tabela 1. Classificação, grupo e formação geológica e textura dos solos

Classificação	Sigla	Grupo Geológico	Formação	AG	SL	AR
Latossolo Vermelho Distrófico típico	LVd	Coberturas*	—————	82	7	12
Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico	NVef	São Bento	Serra Geral	77	16	7
Latossolo Vermelho Distroférico típico	LVdf	São Bento	—————	65	20	15
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico	PVAe	Araxá	—————	36	8	55
Latossolo Vermelho Distrófico típico	LVd	Bauru	Marília	17	1	82
Neossolo Quartzarênico Órtico típico	RQo	Bauru	Marília	12	0	88

* Coberturas Lateríticas Terciárias.

**AG=Argila; SL=silte; AR=areia

Os tratamentos foram compostos de seis amostras de solos do horizonte A, doses equivalentes a 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de calcário (0; 0,5 l e 1,5 g de calcário em 250 g de solo), duas doses de fósforo (0 e 400 mg kg⁻¹ P correspondente a 0 e 447,83 mg de CaH₂PO₄) e quatro repetições, sendo o experimento instalado inteiramente

casualizado. As amostras dos solos sob vegetação nativa de cerrado foram coletadas, secas, passadas em peneira de 50 mesh, aplicados o calcário e fósforo e acondicionadas em potes (250 g), fechados segundo a metodologia descrita por Medina-González, Fox e Bosshart (1988).

Tabela 2. Teores de SiO₂, Al₂O₃, FeO₃, MnO₂, TiO₂, Ki, Kr dos solos

Solo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	Ki	Kr
	————— % —————						
LVd	18,1	31,4	9,5	1,3	0,02	0,98	0,82
LVdf	10,4	25,9	20,9	4,04	0,10	0,68	0,45
LVd	7,2	6,9	5,4	1,5	0,05	1,34	0,94
RQo	11,2	4,5	2,3	0,7	0,02	4,2	3,2

Tabela 3. Análise química dos solos estudados sob vegetação nativa de cerrado

Solo	pH _{H2O}	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	m	V
		%	————— cmol _c kg ⁻¹ —————								
										%	%
LVdf	6,2	3,89	1,57	0,12	1,42	0,46	7,49	0,25	9,5	11,1	21,0
NVef	6,3	2,9	14,2	2,1	15,95	1,83	5,69	0,00	25,6	0	77,8
LVd	5,3	4,2	0,51	0,09	0,04	0,03	6,66	0,85	6,8	84,1	2,3
PVAe	6,2	5,77	1,50	0,22	5,39	0,55	4,58	0,05	10,7	0,8	57,4
LVd	4,8	3,6	2,27	0,07	0,01	0,02	4,30	1,05	4,4	91,9	2,3
RQo	4,6	0,99	0,37	0,04	0,05	0,03	2,64	0,60	2,8	83,3	4,3

A umidade do solo de cada pote foi mantida a 80 % da capacidade de campo, utilizando-se água destilada (sem silício). Para saber qual a quantidade de água a ser aplicada, a capacidade de campo de cada solo foi determinada, utilizando-se cinco amostras de 1 kg para cada solo. Ela foi determinada com base no consumo médio de água para atingir o ponto de friabilidade do solo, descrito no trabalho de Korndörfer et al. (1999). Após a aplicação do calcário e/ou fósforo em cada pote com solo, foi utilizada água em quantidade conhecida para atingir 80 % da capacidade de campo e feita a pesagem. Os potes permaneciam fechados com tampa plástica e a cada 2 dias eram pesados e completados com água para manterem a umidade pré-estabelecida durante a incubação.

Após 90 dias de incubação, amostras homogêneas de solo foram retiradas e feitas análises de pH CaCl_2 e Si solúvel em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ (KORNDÖRFER et al., 1999), CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e água (VAN RAIJ ; CAMARGO, 1973). Para a determinação dos teores de silício solúvel para cada solução extrator foram utilizados dez gramas de solo em 100 mL dessas soluções em recipientes plásticos, agitando-se por 1 hora. Após esse tempo, esperou-se decantar por 15 minutos, filtrou-se o extrato, deixando em repouso por mais de 12 horas. A determinação do silício no sobrenadante para cada uma das soluções extratoras foi feita no foto-colorímetro, utilizando o comprimento de onda 660nm.

A análise estatística das variáveis analisadas (pH CaCl_2 e Si solúvel em ácido acético 0,5 mol L⁻¹, CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e água) foi feita com o auxílio do programa SAS (Statistical Analysis System).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Silício solúvel

Para todos os extratores utilizados, os teores de silício solúvel foram maiores nos solos muito argilosos (NVef, LVdf, LVd) e no solo argiloso (PVAe) seguidos daqueles de textura média (LVd) e arenoso (RQo) (Tabela 3). Isso concorda com os resultados obtidos por Freitas et al. (1977) que mostraram teores de silício solúvel em água decrescendo na seqüência solos podzolizados, NVef, LV fase arenosa e regossolo. A correlação positiva entre o silício solúvel pelo método de Truog (MEYER ; KEEPING, 2001), silício solúvel em água (FREITAS et

al., 1977) e solúvel em CaCl₂ (VAN RAIJ ; CAMARGO, 1973). A maior concentração de silício em solos argilosos pode ser devido à fração de silício extraída com ácido acético ser proveniente da fração argila.

Os teores de silício solúvel devem ser associados ao tipo de solo e não somente ao teor de argila devido à diferença mineralógica, podendo disponibilizar concentrações do elemento não explicadas apenas pelo teor de argila do solo. Por exemplo, no grupo dos solos muito argilosos, os teores de silício em todos os extratores foram maiores para o NVef seguido de LVdf, LVd (Tabela 3). O NVef apresentou maior concentração de silício solúvel, mas não é aquele com maior teor de argila e sim mais jovem, conforme Melo et al. (2003) e mineralogia mais rica em bases e minerais 1:1 como caulinita que podem liberar silício para a solução do solo.

Ao contrário disso, o LVdf é mais intemperizado, com maior teor de óxidos de ferro e alumínio (Tabela 2), menor reserva de silício e, conseqüentemente, menor concentração extraída desse elemento (Tabela 3), mas apresenta maior concentração que o LVd. Apesar de ser um solo mais jovem que os anteriores, especialmente que o NVef (MELO et al., 2003) e possuir mineralogia mais rica em silício, os teores de argila são menores o que podem explicar menores concentrações de silício solúvel extraídas.

Calcário e fósforo na determinação de silício solúvel

Os teores de silício extraídos em ácido acético 0,5 mol L⁻¹, CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, água e pH CaCl_2 foram influenciados pelas doses de calcário e fósforo em todos os solos (Tabela 3, Figuras 1 e 2).

Os teores de silício em ácido acético foram crescentes com as doses de calcário, sendo maiores que aqueles obtidos em água e cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ (Figuras 1 e 2). Isso pode ser devido ao pH do ácido acético ser muito baixo (1,0 a 2,0) para a formação do complexo silico-molibdico (Korndörfer et al., 1999). Xu et al. (2001), utilizando extratores ácido (acetato tampão pH 4,0) em solos calcáreos também observaram valores altos de silício solúvel que atribuíram à dissolução de silicato de cálcio, mas que não apresentaram boa correlação com o silício absorvido pelas plantas. Os valores de pH CaCl_2 dos tratamentos também seguiram a mesma tendência (Tabela 3).

Tabela 3. Silício solúvel em ácido acético 0,5 MOL L⁻¹, cloreto de cálcio (CaCl₂) 0,01 MOL L⁻¹ e água e pH CaCl₂ em solos incubados com calcário e/ou fósforo

Tratamentos	Extrator	LVdf	NVec	mg kg ⁻¹			
				LVd	PVAe	LVd	RQo
Testemunha	Ac.Acético*	28,2	20,3	14,2	20,6	1,6	2,3
	CaCl ₂ **	9,2	30,2	4,2	7,7	2,8	1,1
	Água***	9,6	30,2	4,1	7,1	2,6	1,1
	pHCaCl ₂ ****	4,8	5,7	4,3	4,9	5,7	3,8
P	Acético*	22,5	217,3	11,1	26,3	4,2	3,1
	CaCl ₂ **	10,1	43,3	4,5	11,6	4,8	3,2
	Água***	11,6	44,7	5,3	12,0	5,3	3,7
	pHCaCl ₂ ****	4,8	5,6	4,9	4,9	4,2	4,4
Calcário (2 t ha ⁻¹)	Acético*	31,3	243,3	18,3	33,5	5,2	3,2
	CaCl ₂ **	8,4	23,9	3,0	9,6	2,2	1,4
	Água***	9,1	26,9	3,6	8,3	2,5	1,5
	pHCaCl ₂ ****	5,1	6,2	5,5	5,5	4,5	5,3
Calcário (2 t ha ⁻¹) + P	Acético*	27,7	249,0	22,8	30,1	7,5	3,5
	CaCl ₂ **	9,6	38,5	3,8	11,7	4,3	3,2
	Água***	10,8	42,8	5,5	11,2	5,3	3,7
	pHCaCl ₂ ****	5,2	6,0	5,6	5,3	4,7	5,0
Calcário (4 t ha ⁻¹)	Acético*	34,8	281,7	31,3	52,6	15,3	12,8
	CaCl ₂ **	7,8	19,8	1,7	12,0	4,0	2,9
	Água***	8,1	24,2	2,5	9,5	4,8	2,9
	pHCaCl ₂ ****	5,6	6,5	6,6	6,1	5,8	7,0
Calcário (4 t ha ⁻¹) + P	Acético*	32,6	263,2	29,4	37,5	9,8	4,2
	CaCl ₂ **	9,4	33,1	3,7	15,0	4,7	3,2
	Água***	10,5	37,1	5,2	10,7	5,3	3,5
	pHCaCl ₂ ****	5,5	6,3	6,3	5,7	5,4	5,7
Calcário (6 t ha ⁻¹)	Acético*	36,9	302,6	36,3	72,9	36,6	18,0
	CaCl ₂ **	7,1	16,6	2,5	12,4	4,9	3,4
	Água***	7,3	21,5	1,8	9,2	6,5	3,6
	pHCaCl ₂ ****	5,9	6,8	7,2	6,8	7,1	7,3
Calcário (6 t ha ⁻¹) + P	Acético*	35,2	294,5	29,5	41,6	14,9	3,5
	CaCl ₂ **	9,5	28,5	3,6	16,9	5,4	3,1
	Água***	10,0	34,0	4,3	11,0	5,9	3,7
	pHCaCl ₂ ****	5,8	6,6	6,9	6,0	5,8	5,9

* 0,5 mol L⁻¹

** 0,01 mol L⁻¹

*** 10 g : 100 mL (solo: água)

**** pH CaCl₂= valores adimensionais.

O acréscimo de P, no entanto, proporcionou menor extração de silício em ácido acético que o tratamento sem adição de fósforo para todos os solos (Figuras 1 e 2). Esses resultados são contraditórios aos diversos trabalhos que mostram que a aplicação de P pode proporcionar um aumento no silício solúvel (LOPES, 1977; OLIVEIRA, 1984; CARVALHO *et al.*, 2000; LEITE, 1997). De acordo com Oliveira (1984), a interferência de P na metodologia de determinação de silício solúvel tem sido eliminada com a adição de ácidos orgânicos como o ácido tartárico, usado no experimento, além de ácido cítrico e oxálico. O fósforo e o silício formam compostos análogos, fosfomolibdato e silicomolibdato, que são lidos no mesmo comprimento de onda e, se não retirada essa influência, os teores de silício resultantes seriam maiores devido à soma dos dois compostos lidos. No presente experimento, ocorreu o contrário: no tratamento sem adição de fósforo, os teores de silício solúvel foram maiores que no tratamento com fósforo. Pode ter ocorrido a formação de compostos de P-Ca e Si-Ca nos diversos tratamentos, sendo que é possível que parte do ácido acético tenha sido gasto para solubilizar o Si-Ca e Si-P. No tratamento sem fósforo, os teores de silício solúvel são maiores que no tratamento com fósforo, possivelmente, devido a restar menor quantidade de ácido acético para quebrar a ligação P-Si ou Si-Ca, ou seja, resultando em valores menores que no tratamento sem adição de fósforo.

Ao contrário disso, teores de silício em CaCl_2 0,01 Mol L^{-1} e água (10 g solo : 100 mL água) para os solos muito argilosos (Nvef, LVd, LVdf) foram decrescentes com o aumento das doses de calcário (Figura 1), diferente do ocorrido com o solo argiloso (PVAe), textura média (LVd) e arenoso (RQo). A hipótese que poderia explicar os resultados é a sugerida por Lopes (1977) que observou uma diminuição do teor de silício em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} em vários tipos de solos, provocada pelo aumento do pH, o que poderia estar relacionado qualitativamente à formação de caulinita a partir do ácido silícico e de polímeros de Al parcialmente hidroxilados. Para os seus dados, devido ao pouco tempo de reação (1 semana), sugeriu que o fato mais provável seria a formação de aluminossilicato amorfo de composição semelhante à caulinita que não poderia ser extraído pelo CaCl_2 0,01 mol L^{-1} .

Para os solos arenoso e textura média (RQo e LVAd) que apresentaram teores de silício solúvel crescente com o aumento das doses de calcário isso poderia ser explicado por outros trabalhos que obtiveram os mesmos resultados com soluções extratoras não ácidas e sugerem que isso pode ocorrer devido ao efeito direto na solubilidade dos compostos contendo silício (BROWN;

MAHLHER, 1987a) e adsorção da superfície e os compostos de silício aumentaram com o aumento do pH (BROWN; MAHLHER, 1987b). Quanto maior o teor de argila, maior a adsorção e conseqüentemente, menor teor de silício solúvel extraído por soluções.

Essa influência da mineralogia e da argila na capacidade de adsorção de silício pelo solo também já foi verificada por Lopes (1977). No seu trabalho, o PVA apresentou baixa capacidade de adsorver silício, liberando, assim, maior teor de silício para a solução extratora, provavelmente, devido ao tipo de argila (2:1) predominante. Além disso, o silício apresenta menor adsorção comparado ao fósforo nesse tipo de solo devido à sua menor especificidade pelos sítios de adsorção.

Nos tratamentos sem fósforo foram obtidos maiores teores de silício solúvel em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} e água comparado aos tratamentos com sua aplicação. Isso está coerente com os trabalhos de Lopes (1977) e Oliveira (1984). É postulado, pelo princípio de sorção recíproca que, ao acrescentar um diferencial de fósforo ao complexo sortivo, ou seja, uma maior concentração de P, menor seria o teor de silício capaz de ser retida por ocuparem os mesmos sítios de adsorção e pelo fato do P deslocar mais facilmente o Si (OLIVEIRA, 1984).

Pelos dados apresentados, o extrator ácido acético 0,5 Mol L^{-1} , que é o extrator usado no Brasil e nos Estados Unidos para avaliar a disponibilidade de silício em solos, parece não ser adequado devido aos teores serem altamente influenciados pelas variações de pH. Isso pode não ser importante para solos orgânicos com alto poder tampão, como é o caso das áreas com utilização de silício na Flórida. No Brasil, entretanto, onde os solos são altamente dependentes da correção de acidez, esse extrator não deveria ser utilizado por estar superestimando os teores de silício solúvel que não correspondem àqueles disponíveis para as plantas, conforme já se suspeitava no trabalho de Dalto (2003).

No trabalho inicial que tratou da disponibilidade de silício para solos tropicais, Korndörfer *et al.* (1999) mostraram que o ácido acético foi o extrator com melhor correlação com plantas comparado ao CaCl_2 0,0025 mol L^{-1} e água. Em trabalhos posteriores (PEREIRA *et al.*, 2004, QUEIROZ, 2003) verificou-se que quando são utilizadas outras fontes de silício que não sejam a Wollastonita, o ácido acético 0,5 mol L^{-1} é capaz de solubilizar silício da fonte e não disponível às plantas. Além disso, Pereira *et al.* (2004), ao estudar várias fontes de silício aplicadas em RQo para a cultura do arroz observou maior correlação entre o silício absorvido pela planta e o extrator CaCl_2 0,025 mol L^{-1} comparado ao ácido acético 0,5 mol L^{-1} .

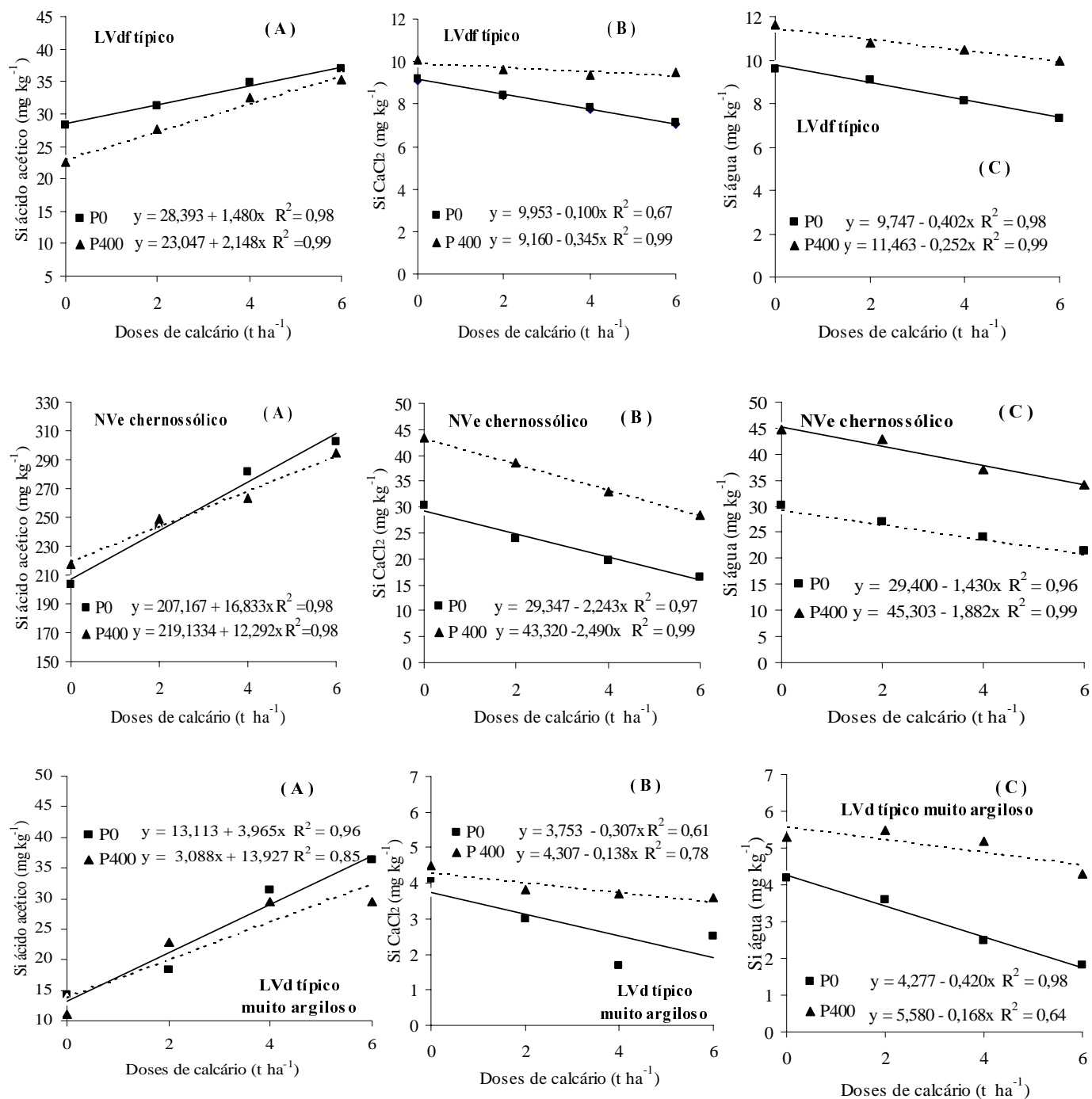


Figura 1. Teores de silício em ácido acético 0,5 mol L⁻¹(A), CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (B) e água (C) em solos muito argilosos em função de doses de calcário.

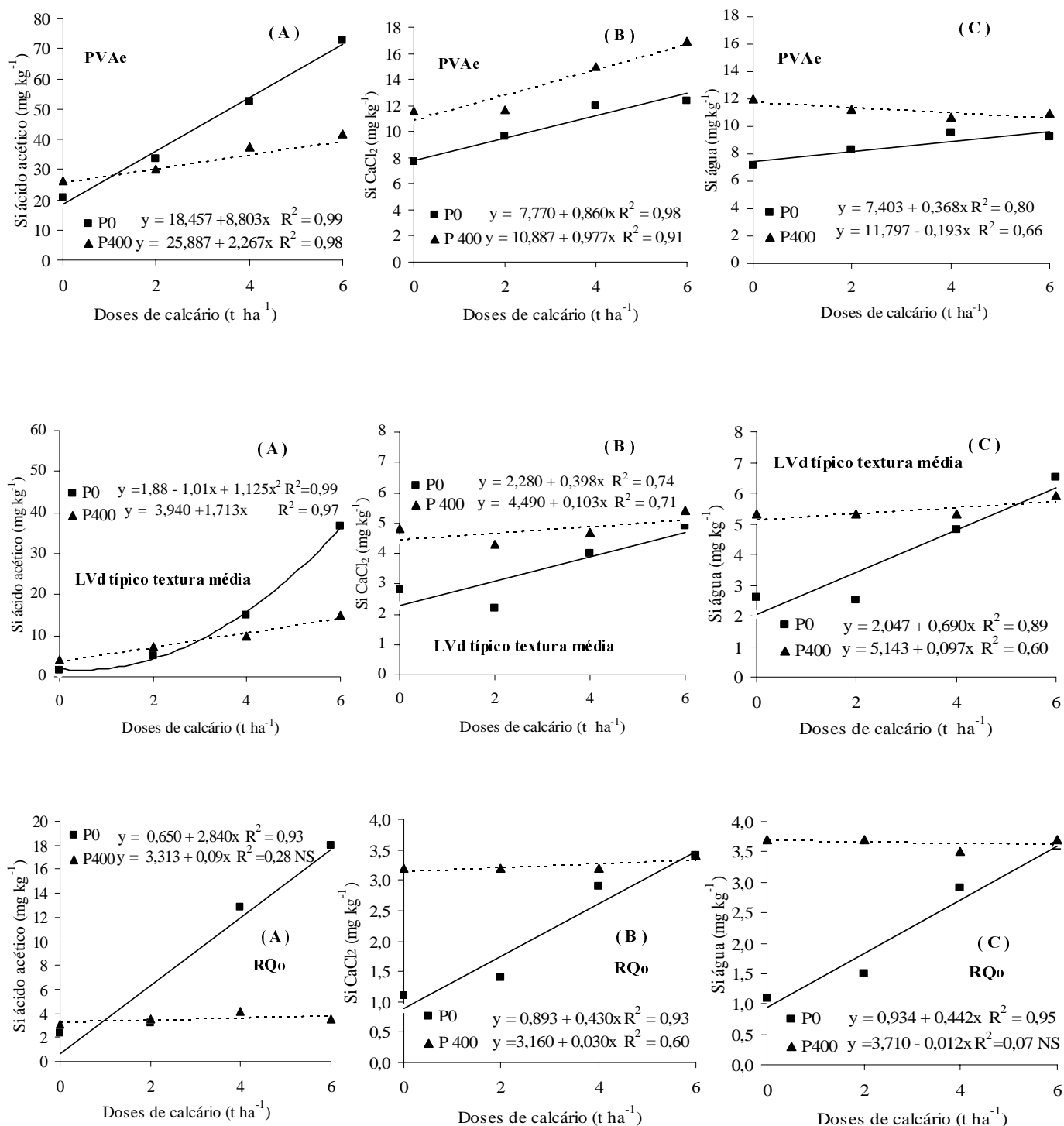


Figura 2. Teores de silício em ácido acético 0,5 mol L⁻¹(A), CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (B) e água (C) em solos de textura média e arenoso em função de doses de calcário.

Assim, o presente trabalho mostrou que o extrator ácido acético 0,5 Mol L⁻¹ enquanto extrator de silício solúvel deve ser substituído pelo CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ após

estudos em casa-de-vegetação para corroborar tais resultados encontrados.

CONCLUSÕES

O aumento das doses de calcário nos solos proporcionou aumento no pH e nos teores de silício em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ e água (10 g solo : 100 mL água) para

solos arenosos e decréscimo em solos argilosos e muito argilosos. O ácido acético 0,5 mol L⁻¹ não é um bom extrator de silício para solos pois interagiu negativamente com o fósforo aplicado e proporciona seus altos valores, mas ainda são necessários estudos com plantas.

ABSTRACT: Evaluation of silicon availability at different extractants under different acid conditions and phosphorus fertilization are important to adequate silicon recommendations. Lime and phosphorus utilization in tropical soils are common practices that they could change the results of soluble silicon. The objective was evaluate the content of soluble silicon in soils fertilized with lime and phosphorus by extractants commonly used in different countries. The experiment was designed in completed randomized and treatments used were rates equivalents of 0, 2, 4 and 6 t ha⁻¹ of lime, 6 soil samples (A horizon), 2 rates of P (0 and 400 mg kg⁻¹ P) and 4 repetitions. The soil samples were collected under cerrado vegetation, dried and passed through by sieve (50 mesh), placed in pots (250 g) and closed. After 90 days of incubation of soil samples maintained to 80 % of holding capacity moisture, homogeneous samples are removed and the analyses of pH CaCl_2 and soluble silicon in soil (0,5 mol L⁻¹ acetic acid, 0,01 mol L⁻¹ CaCl_2 and water) were done. The levels of silicon in 0,5 mol L⁻¹ acetic acid were bigger than 0,01 mol L⁻¹ CaCl_2 and water. The rates of lime increased pH and soluble silicon extracted by 0,5 mol L⁻¹ acetic acid at all soils and soluble silicon extracted by calcium chloride and water in sand soils. Otherwise, silicon extracted by calcium chloride and water decreased with increased rates of lime in clay soils. The phosphorus treatment reduced soluble silicon in acetic acid at clay soils. More studies about silicon absorption by plants related with soluble silicon by extractants must be done.

UNITERMS: Silicon, Extractants, Lime, Phosphorus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADATIA, M. H.; BESFORD, A. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.*, Oxford, v. 58, n. 3, p. 343-351, 1986.
- AYRES, A. S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. *Soil Sci.*, New Brunswick, v. 101, n. 3, p. 216-227, march, 1966.
- BECKWITH, R. S.; REEVE, R. Studies on soluble silica in soils. 1-The sorption of silicon acid by soils and minerals. *Australian J. Soil Res.*, Melbourne, v. 1, p. 157-168, jan, 1963.
- BERTHELSEN, S.; NOBLE, A.; KINGSTON, G.; HURNEY, A.; RUDD, A. Effect of Ca-silicate amendments on soil chemical properties under a sugarcane cropping system. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2002, Tsuruoka. *Proceedings...* Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002. p. 57.
- BROWN, T. H.; MAHLER, R. L. Effects of P and acidity on levels of silica extracted from a Palouse silt loam, *Soil Sc. Soc. Am. J.*, Madison, v. 51, n.1, p. 74-77, jan., 1987a.
- BROWN, T. H.; MAHLER, R. L. Sorption of silica in a northern Idaho Palouse silt loam. *Soil Sci.* New Brunswick, v. 144, n. 3, p. 181-189, march, 1987 b.
- CAMARGO, M. S. de; BARBOSA, D. S.; RESENDE, R. H.; RAMOS, L. A.; VIDAL, A A; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CORRÊA, G. F. Disponibilidade de silício em solos: efeito do pH, Si e extratores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

CARVALHO, R. **Interações silício-fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro e Cambissolo cultivados com mudas de eucalipto.** 1999. 89 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS –CFSEMG **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais-5ª aproximação.** Viçosa: UFV, 1999. 359 p.

DALTO, G. **Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar.** 90 f. Dissertação (Mestrado em Solos)- Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

DOUGLAS, C. L. Junior; ALLMARAS, R. R.; ROAGER, W. C. Junior Silicic acid and oxidizable C movement in a Walla Silt Loam as related to long-term management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 48, n. 1, p. 156-158, jan., 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. 122 p.

FOX, R. L. ; LEVA, J. A. ; YOUNG, O. P. ; PLUNCKNETT, U. L. ; HERMAW, G. D. Soil and plant silicon and silicate response by sugarcane. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, An Arbor, v. 31, n.6, p. 775-779, 1967.

FREITAS, L. C. ; COSTA FILHO, J. F. da; ALOISI, R. R. ; MELO, W. J. Contribuição ao estudo da sílica solúvel em alguns perfis de solos. **Cient.**, Jaboticabal, v. 5, n. 2, p. 296-305, 1977.

HORST, W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.), **Plant Soil**, Dordrecht, v. 50, n. 2, p. 287-303, feb, 1978.

IMAIZUMI, K. ; YOSHIDA, S. Edaphological studies on silicon supplying power of paddy soils. **Bull. Nat. Inst. Agric. Sci.**, Tokyo, v. 8, p. 261-304, oct., 1958.

JONES, J. H.; HANDRECK, K. A. Studies of silica in the oat plant. III-Uptake of silica from soils by the plant. **Plant Soil**, Dordrecht, v.23, n. 2, p.79-96, mar., 1965.

KHALID, R. A.; SILVA, J. A. Residual effect of calcium silicate on pH, phosphorus and aluminium in a tropical soil profile. **Soil Sci. Plant Nutr.**, Tokyo, v.26, n.1, p.87-98, jan., 1980.

KORNDÖRFER, C. M.; KORNDÖRFER, G. H.; CARDOSO, K. The silicon role on *Brachiaria decumbens* degraded pasture. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2002, Tsuruoka. **Proceedings...** Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002 a. p. 56.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **R. Bras.Ci. Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2 p.101-106, mar., 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. Silicatos de cálcio e magnésio. 2. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002b. 23 p. (Boletim Técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S.; SILVA, M. F. Evaluation of silicon sources by biological and incubation test In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2002, Tsuruoka. **Proceedings...** Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002 c. p. 53.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado em casa-de-vegetação.** 1997. 87 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

LOPES, M. S. **Relações entre pH e adsorção de P e Si em solos.** 1977. 117 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.

- MC KEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soils. **Adv. Agron.**, San Diego, v. 15, p. 339-397, dec., 1963.
- MEDINA-GONZALES, O. A.; FOX, R. L.; BOSSHART, R. P. Solubility and availability to sugarcane (*Saccharum* spp.) of two silicate materials. **Fert. Res.**, San Diego, v.16, n.1, p.3-13, 1988.
- MELO, V. F.; CORRÊA, G. F.; RIBEIRO, A. N.; MASCHIO, P. A.; LIMA, V. C. Importância das espécies minerais no K total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro, **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.27, n.5, out., 2003.
- MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Past, present and future research of the role silicon for sugarcane in southern Africa. IN: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.257-274.
- OLIVEIRA, M. G. A. **Determinação, adsorção e deslocamento recíproco de silício e fósforo em latossolos do Triângulo Mineiro**. 1984. 88 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.
- PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, AA; CAMARGO, M.S. Silicon sources for the rice plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, out., 2004 .
- QUEIROZ, A.A. **Reações de fontes de silício em quatro solos de cerrado**. 43 f. Monografia (conclusão do curso de graduação em Ciências Agrárias)- Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biol. Rev. of Cambridge Philosop. Soc.**, London, v.58, n.2, p.179-207, apr., 1983.
- ROTHBUHR, L.; SCOTT, F. A study of the uptake of silicon and phosphorus by wheat plants with radio chemical methods. **Bioch. J.**, London, v. 65, n. 12, p. 641-645, dec., 1957.
- SILVEIRA Júnior, E. G.; PENATTI, C.; KORNDÖRFER, G. H.; CAMARGO, M. S. de Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar-Usina Catanduva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto:UNESP, 2003. 1 CD-ROM.
- SNYDER, G. H. Methods for silicon analysis in plants, soils and fertilizers. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.185-196.
- SUMIDA, H. Plant available silicon in paddy soils. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2002, Tsuruoka. **Proceedings...** Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002, p. 43-49.
- VAN RAIJ, B **Avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1981, 200 p.
- VAN RAIJ, B. CAMARGO, O. A. **Sílica solúvel em solos**. **Bragantia**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 223-231, jun., 1973.
- VETTORI, L. **Métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).
- VOLKWEISS, S.; VAN RAIJ, B. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., Brasília, 1976. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1977. p. 317-332.
- XU, G.; ZHAN, X.; CHUNHUA, L.; BAO, S.; LIU, X.; CHU, T. Assessing methods of available silicon in calcareous soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 32, n. 3, p. 787-801, 2001.
- YOSHIDA, S.; ONISHI, Y.; KITAGISHI, K. The chemical nature of silicon in rice plant. **Soil Plant Food**, Tokyo, v. 5, n. 1, p. 23-27, may, 1959.