

BRAGANTIA

Revista Científica do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo

Vol. 32

Campinas, julho de 1973

N.º 11

SÍLICA SOLÚVEL EM SOLOS (1)

BERNARDO VAN RAIJ e OTÁVIO ANTÔNIO DE CAMARGO (2), *Seção de Pedologia, Instituto Agrônômico*

SINOPSE

Determinou-se a sílica solúvel nos horizontes superficial e B₂ de 44 perfis de solos do Estado de São Paulo. A extração da sílica com solução 0,0025M de cloreto de cálcio evitou a dispersão dos solos e forneceu resultados em média apenas 8% menores do que a sílica solúvel em água.

Os resultados variaram de 2,2 a 92,2 ppm de SiO₂. Verificou-se que, para solos com teores semelhantes de argila, os teores de sílica solúvel foram maiores para solos com horizonte B textural, quando comparados com solos de horizonte B latossólico. Dentro dos agrupamentos de solos com horizonte B textural e horizonte B latossólico, os teores de sílica solúvel foram maiores para os solos mais argilosos. Não foi observada relação entre sílica solúvel e o pH dos solos.

1 — INTRODUÇÃO

O silício é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre. Ocorre em altos teores em solos, principalmente na forma de silicatos, e no quartzo. Os teores totais na fração argila diminuem, para os solos do Estado de São Paulo, com o grau de intemperismo, e são menores nos solos com horizonte B latossólico do que naqueles com horizonte B textural (10).

(1) Trabalho apresentado na XXIV Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Recebido para publicação em 27 de março de 1973.

(2) Com bolsas de suplementação do CNPq.

A sílica ⁽³⁾ solúvel em solos não tem sido estudada intensamente, principalmente por não ser o silício reconhecido como nutriente vegetal essencial. Contudo, em numerosos casos tem sido demonstrado o efeito benéfico de sua aplicação no aumento de produção de diversas culturas, tais como: cana-de-açúcar (1, 3), arroz (6) e outras gramíneas (1, 6). Nesses casos a ação da sílica tem sido associada a diversos efeitos indiretos (6), dentre os quais destacam-se: a resistência que confere às plantas no ataque de pragas e moléstias; a influência que exerce na absorção de outros elementos; e o efeito que tem na postura das folhas, que na planta ficam menos curvadas com maiores teores de SiO₂.

Na solução do solo a sílica encontra-se, provavelmente, na forma de ácido monossilícico, Si(OH)₄. O fato de essa forma ser desprovida de carga elétrica tem interessantes conseqüências no comportamento da sílica com relação aos vegetais. Assim, em diversos casos tem sido demonstrado que, para monocotiledôneas, a absorção de sílica é proporcional à concentração de ácido monossilícico na solução do solo (3, 5, 6). Portanto, o conhecimento da sílica solúvel em solos é relevante para a compreensão das diferenças de absorção do elemento por plantas que vegetam em diferentes solos.

A determinação da sílica solúvel nos solos tem interesse na compreensão de certos fenômenos pedogenéticos, considerando que um dos principais aspectos do intemperismo químico nos trópicos úmidos é a remoção de sílica do perfil do solo.

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre sílica solúvel em diferentes unidades de solos do Estado de São Paulo.

2 — MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras dos horizontes superficial e B₂ de 44 perfis, representando os solos de diversas unidades do Estado de São Paulo. A classificação, segundo a Comissão de Solos (10), os municípios de coletas dos perfis e os respectivos números de registro encontram-se relacionados no quadro 1.

(3) Mais comumente é feita referência à sílica, SiO₂, em vez de ao silício, Si.

QUADRO 1. — Perfis utilizados na determinação de sílica solúvel em solos do Estado de São Paulo

Classificação	Legenda	Município	Número dos perfis
Terra Roxa Estruturada	TE	Avaré	893
		Pantura	891
		Itapura	948, 950
		Cordeirópolis	1069
		Ribeirão Preto	1103
Podzólico Vermelho-Amarelo orto	PV	Taubaté	887
		Pindamonhangaba	896
		Monte Alegre do Sul	1016
		Cruzeiro	1043
		Atibaia	1054
Podzolizado com cascalhos	Pc	Campinas	943
		Atibaia	1039
Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba	PVp	Rio Claro	1093
Podzolizado de Lins e Marília variação Marília	Pml	Pindorama	849, 902, 1095
		Sud Mennucci	955, 960
		Andradina	967
		Presidente Prudente	1079
		Inúbia Paulista	1088

(continua)

Quadro 1. — (continuação)

Classificação	Legenda	Município	Número dos perfis
Podzolizado de Lins e Marília variação Lins	Pln	Rubinéia	1001
		Martinópolis	1005
Latossolo Roxo	LR	Campinas	866, 868
		Ribeirão Preto	1057, 1060, 1102, 1105
		Guará	1065
Latossolo Vermelho-Escuro orto	LE	Itapetininga	973
		Rio Claro	1091
Latossolo Vermelho-Amarelo orto	LV	Pindamonhangaba	890
Latossolo Vermelho-Amarelo fase rasa	LVR	Cruzeiro	803
		Atibaia	1032
Latossolo Vermelho-Amarelo fase terraço	LVT	Cachoeira Paulista	1075
Latossolo Vermelho-Amarelo húmico	LH	Campinas	1097
Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa ..	LEa	Matão	850
		Itapura	953, 954
		Sud Menucci	964, 965
		Andradina	956

A extração da sílica foi feita com solução de cloreto de cálcio 0,0025M. Agitaram-se 10 g de terra por 5 minutos com 100 ml dessa solução. No dia seguinte, filtraram-se as suspensões e determinou-se a sílica por método colorimétrico em alíquotas de 50 ml.

O método utilizado para a determinação da sílica foi o descrito por Kilmer (7), substituindo-se apenas o ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfônico, usado como redutor, pelo ácido ascórbico. As seguintes soluções foram empregadas:

a) — *solução de ácido tartárico a 20%*;

b) — *solução-padrão de sílica*: fundiram-se 100 mg de quartzo puro finamente pulverizado com carbonato de sódio, em cadinho de platina, e dissolveu-se a pastilha resultante em água, completando-se o volume a 1 litro.

c) — *solução sulfo-molibdica*: dissolveram-se 7,5 g de molibdato de amônio, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, em 75 ml de água. Adicionaram-se 10 ml de H_2SO_4 18N, e a solução foi diluída a 100 ml.

A dosagem da sílica foi feita da seguinte forma: à alíquota de 50 ml, colocada em balão de 100 ml, adicionou-se 1 ml da solução sulfo-molibdica. A solução foi homogenizada, e após 10 minutos foram acrescentados 2 ml da solução de ácido tartárico a 20%, e, após 5 minutos, uma pilada (aproximadamente 30 mg) de ácido ascórbico. O volume foi completado a 100 ml e após 1 hora foi feita a leitura em colorímetro provido de filtro de 660 m μ . Os cálculos foram feitos com auxílio de uma curva-padrão preparada com alíquotas de 0 a 5 ml da solução-padrão de sílica adicionadas a alíquotas de 50 ml da solução de CaCl_2 0,0025M. Neste caso colocou-se a solução sulfo-molibdica antes da solução-padrão de sílica, por ser esta última bastante alcalina, evitando assim que ocorresse uma possível dissolução do vidro do balão.

3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 — DETALHES EXPERIMENTAIS DO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA SÍLICA SOLÚVEL

O teor de sílica solúvel extraída dos solos varia bastante com os detalhes do método de análise, sendo importantes os fatores tempo de contato e relação do volume de solução extratora para peso de solo, bem como o tipo de solução utilizada. Um estudo detalhado dos fatores que afetam os valores de sílica solúvel foi feito por McKeague e Cline (8). Os autores determinaram a sílica em água, separando os extratos por centrifugação a 1000 G e, quando necessário, a 20000 G. Verificaram que a dissolução da

sílica era rápida nos primeiros minutos, sendo que em cinco minutos cerca da metade da sílica que era obtida com 10 dias de contato já estava em solução e que o aumento do teor de sílica após 1 ou 2 dias de contato era pequeno. A técnica de agitação prolongada mostrou-se inadequada para solos com textura grosseira, já que o teor de sílica nos extratos aumentava com o tempo de agitação, o que foi explicado como sendo consequência da abração de partículas de areia colidindo umas com as outras. Outra observação interessante foi feita com relação ao efeito de diferentes sais na extração da sílica solúvel. Extração com soluções 0,01M de NaCl, CaCl₂ e MgSO₄ levou a resultados idênticos ou ligeiramente inferiores aos resultados determinados em água.

Para este trabalho optou-se por um extrator não tamponado para sílica que desse resultados comparáveis aos obtidos com água. O inconveniente do uso da água destilada como extrator da sílica está na dispersão que provoca nas partículas de argila, exigindo centrifugação a altíssimas velocidades para a separação dos extratos ou floculação e separação da argila antes de determinação da sílica.

Foi feito um estudo comparativo dos extratores água e soluções de CaCl₂ 0,0025M e 0,01M, cujos resultados são apresentados no quadro 2. Nos casos de extração com água, em que ocorria a dispersão da amostra, a argila que passava no papel de filtro era floculada com algumas gotas de solução de CaCl₂. Uma solução de CaCl₂ 0,001M foi também testada, mas o seu uso foi abandonado, já que não conseguiu evitar a dispersão dos solos.

Os resultados do quadro 2 mostram que a quantidade de sílica extraída dos solos diminui um pouco com o aumento da concentração de CaCl₂ da solução extratora. Em média, os resultados mantêm a relação 100:92:86, respectivamente para sílica extraída em água destilada, solução de CaCl₂ 0,0025M e solução de CaCl₂ 0,01M. Optou-se, para as determinações subseqüentes, pela solução de CaCl₂ 0,0025M para a extração da sílica solúvel. Esta solução conseguiu evitar a dispersão da argila nos solos analisados e extraiu em média apenas 8% de sílica menos do que a água. Além do mais pode-se argumentar, em favor do extrator escolhido, que a solução do solo aproxima-se mais de uma solução diluída de cálcio do que de água.

QUADRO 2. — Influência de alguns extratores na quantidade de SiO_2 solúvel extraído de solos (relação solução:solo igual a 10:1)

Número da amostra	SiO_2 extraído por diversos extratores		
	Água destilada	CaCl_2 0,0025M	CaCl_2 0,01M
	ppm	ppm	ppm
890a	22,7	20,5	18,3
973a	25,3	22,9	19,8
1001a	14,6	13,2	12,4
1043a	22,0	20,5	17,6
1065a	19,8	17,9	16,5
1069a	34,0	32,8	32,2
1081a	12,8	11,0	9,5
1097a	10,2	9,5	7,7
Média	20,1	18,5	16,7

Foi feito, também, um estudo da influência da relação entre o volume da solução extratora e o peso da amostra de solo nos teores de sílica solúvel. Os resultados são apresentados no quadro 3.

QUADRO 3. — Influência da relação volume de CaCl_2 0,0025M para peso de solo na quantidade de sílica extraída de solos

Número da amostra	Sílica na solução extratora			Sílica extraída do solo		
	Rel. 2,5:1	Rel. 5:1	Rel. 10:1	Rel. 2,5:1	Rel. 5:1	Rel. 10:1
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
830a	6,7	3,8	2,0	16,7	18,9	20,5
973a	6,7	4,1	2,3	16,7	20,7	22,9
1001a	4,3	2,6	1,4	10,8	12,8	13,2
1043a	7,0	3,7	2,0	17,4	18,7	20,5
1065a	5,1	3,2	1,8	12,8	15,9	16,5
1069a	9,5	5,7	3,1	23,8	28,4	32,8
1081a	3,5	2,1	1,1	8,7	10,3	11,0
1097a	2,6	1,7	1,0	6,4	8,6	9,5

Os teores de sílica solúvel nos extratos de solos são dados na segunda, na terceira e na quarta coluna do quadro 3. Os valores são bastante baixos comparados com a solubilidade do ácido silícico na faixa de pH de 2 a 9, que é da ordem de 120 a 140 ppm (5). Embora a fonte provável de sílica em extratos aquosos de solos seja o ácido monossilícico sólido (4), o fato de a solubilidade máxima não ser atingida é facilmente explicável. O ácido monossilícico é adsorvido por solos, principalmente pelos óxidos hidratados de ferro e de alumínio (5, 9). Então, a concentração de sílica nos extratos aquosos ou em soluções diluídas de cloreto de cálcio é a resultante de dois fatores que atuam em sentido inverso: a solubilização do ácido monossilícico e a adsorção da sílica na superfície de partículas de solo. O mecanismo pelo qual a sílica é adsorvida pelos solos é obscuro, sendo que uma das melhores explicações postula a formação de uma ligação hidrogeniônica entre o ácido monossilícico e um átomo de oxigênio que forma ponte entre dois átomos de ferro ou de alumínio (9).

Examinando a influência do volume da solução extratora utilizada para um determinado peso de solo, pelos dados do quadro 3 nota-se que a quantidade de sílica solúvel é realmente dependente da relação solução:solo. Tal fato é consequência de a sílica solúvel não ser totalmente removida do solo em uma ou mesmo várias extrações, pois os solos apresentam uma capacidade grande de restituir às soluções extratoras a sílica que é removida por extrações sucessivas (4, 5).

Nas determinações descritas adiante passar-se-á a usar a relação de solução para solo de 10:1, mais por razões de conveniência, já que a escolha é arbitrária. A solução extratora, CaCl_2 0,0025M, extrai bem menos sílica do que outros extratores comumente empregados para sílica, tais como soluções de acetato de sódio, ácido sulfúrico e fosfatos (3), devendo-se levar em conta esse fato na avaliação dos resultados.

3.2 — SÍLICA SOLÚVEL EM DIVERSOS SOLOS

Resultados de sílica solúvel e o pH de amostras dos horizontes superficial e B₂ de diversos solos são apresentados no quadro 4. Valores extremos e médios e os teores de argila para diversos agrupamentos de solos são apresentados no quadro 5.

QUADRO 4. — pH e sílica solúvel em solos, extraída com solução de CaCl_2 0,0025M

Número do perfil	Horizonte Superficial		Horizonte B ₂	
	pH	SiO ₂	pH	SiO ₂
		ppm		ppm
TERRA ROXA ESTRUTURADA				
893	5,7	43,9	6,0	19,0
894	6,4	69,2	5,6	42,8
948	7,4	91,5	6,4	40,3
950	6,0	28,5	5,0	22,7
1069	5,1	32,8	5,6	28,5
1103	5,5	92,2	6,1	38,8
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ORTO				
887	6,5	18,3	5,4	25,6
896	5,5	22,3	5,9	31,8
1016	5,4	13,5	5,3	11,3
1043	4,8	20,5	5,5	24,5
1054	6,1	32,6	5,8	32,6
PODZOLIZADO COM CASCALHOS				
943	5,3	17,2	4,9	35,1
1039	5,7	15,7	6,4	7,7
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO — VARIAÇÃO PIRACICABA				
1093	5,5	45,8	5,7	19,0
PODZOLIZADO DE LINS E MARÍLIA — VARIAÇÃO MARÍLIA				
849	7,3	28,5	8,1	9,5
902	5,8	5,1	5,9	30,0
955	6,4	24,9	6,9	13,2
960	6,3	24,2	6,1	29,3
967	6,1	14,6	4,7	30,7
1079	5,6	18,3	5,4	13,2
1088	6,1	15,4	6,5	17,9
1095	5,3	9,5	5,4	32,9

(Continua)

QUADRO 4. — (continuação)

Número do perfil	Horizonte Superficial		Horizonte B ₂	
	pH	SiO ₂	pH	SiO ₂
		<i>ppm</i>		<i>ppm</i>
PODZOLIZADO DE LINS E MARÍLIA — VARIAÇÃO LENS				
1001	4,6	13,2	6,0	11,3
1005	7,0	30,4	5,1	14,6
LATOSSOLO ROXO				
866	5,7	26,0	6,2	8,8
868	5,1	13,2	5,4	11,7
1057	5,4	12,8	5,6	23,8
1060	6,4	34,0	6,8	8,8
1065	5,0	16,5	5,7	14,6
1102	6,0	35,1	5,6	19,0
1105	4,8	13,2	4,8	18,3
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ORTO				
973	5,1	22,9	6,2	18,3
1091	5,2	31,5	5,7	14,3
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ORTO				
890	4,5	20,5	5,0	14,3
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO FASE RASA				
803	4,9	24,2	4,9	13,5
1032	4,9	17,9	4,7	8,4
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO FASE TERRAÇO				
1075	5,2	12,1	4,4	15,7
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO HÚMICO				
1097	4,5	9,5	4,4	16,1
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO FASE ARENOSA				
850	4,8	8,1	4,7	9,5
953	5,2	5,9	4,5	8,8
954	6,3	8,8	5,6	8,1
964	4,9	2,9	4,7	2,9
965	5,0	2,2	4,3	5,1
966	6,0	12,4	6,2	5,9

QUADRO 5. — Teores mínimos, máximos e médios de sílica solúvel em solução de CaCl₂ 0,0025M e teores médios de argila para diversos solos do Estado de São Paulo

Solo	N.º de perfis considerados	Horizonte superficial			Horizonte B ₂			Teor médio de argila %	
		Sílica solúvel		Teor médio de argila %	Sílica solúvel		Teor médio de argila %		
		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo			
COM HORIZONTE B TEXTURAL									
TF.....	6	28,5	92,2	59,7	42	22,7	42,8	32,0	62
PV, Pc.....	7	13,5	32,6	20,0	25	7,7	35,1	24,1	51
Pml, Pm.....	10	5,1	30,4	18,4	7	9,5	32,9	20,3	25
COM HORIZONTE B LATUSSÓLICO									
LR, LE.....	9	12,8	35,1	22,8	47	8,8	23,8	15,3	54
LV, LVr, LVt, LH.....	5	9,5	24,2	16,8	39	8,4	16,1	13,6	46
LEa.....	6	2,2	12,4	6,7	15	2,9	9,5	6,7	20

A amplitude de variação dos resultados é bastante grande. Nos solos que não têm um gradiente textural baixo, como a Terra Roxa Estruturada e os diversos Latossolos, nota-se o acúmulo de sílica na superfície, o que provavelmente é devido ao ciclo da sílica através das plantas e de volta ao solo. Nos solos com gradiente textural elevado (PV, Pc, Pml e Pln) o teor de argila mais elevado no horizonte B deve ser responsável pelos maiores teores de sílica solúvel nesse horizonte em relação ao horizonte superficial.

O teor de argila nos solos parece ter influência nos teores de sílica solúvel. A comparação deve ser feita entre solos de grau de intemperismo idêntico. Assim, a seqüência decrescente dos teores de sílica solúvel para os solos de horizonte B textural, TE, PV, Pc, Pml, Pln, acompanha a mesma seqüência decrescente do teor de argila dessas mesmas unidades. A mesma argumentação é válida para os solos com B latossólico, observando a seqüência LR, LE, LV, LVr, LVt, LH, LEa, em que diminuem paralelamente os teores de sílica solúvel e de argila.

Um outro fator de importância no teor de sílica solúvel é o grau de intemperismo. No quadro 5 pode-se ver que, para solos que têm aproximadamente os mesmos teores de argila, os teores de sílica solúvel são maiores nos solos com horizonte B textural do que nos solos com horizonte B latossólico.

Neste trabalho não foi observada a ocorrência de correlação significativa entre o teor de sílica solúvel e o pH dos solos. Portanto não foi confirmada para solos do Estado de São Paulo a observação de Beckwith e Reeve (2), que demonstraram existir para solos lateríticos da Austrália, com valores de pH que variavam de 4 a 9, um aumento de sílica solúvel com a diminuição do pH.

Cabe, ainda, mencionar o que significam os teores de sílica solúvel com relação às plantas. A diversificação de métodos existentes para a determinação de sílica solúvel torna difícil a comparação de níveis críticos observados. Fox e outros (3), utilizando um método de determinação de sílica solúvel similar ao empregado neste trabalho, estabeleceram níveis críticos de sílica solúvel em água, determinados em solos para a cultura de cana-

-de-açúcar, como sendo menores que 2 ppm, de 2 a 4 ppm e maiores que 4 ppm, respectivamente para teores baixos, médios e altos. Portanto, considerando esses limites como válidos até que melhores limites sejam determinados para os nossos solos, nota-se que apenas no caso do Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa os limites de sílica solúvel aproximaram-se dos níveis críticos, como se pode notar no quadro 4. Contudo, a variação dos teores de sílica solúvel nos solos é bastante ampla, de 2,2 a 92,2 ppm, e isto poderá afetar diferentemente a absorção pelas plantas.

SOLUBLE SILICA IN SOILS

SUMMARY

The extraction of soluble silica of soils with 0.0025M calcium chloride solution avoided dispersion of clay and results were on the average only 8% lower than water soluble silica.

The results for surface and B₂ horizons of 44 soil profiles of the State of São Paulo varied between 2.2 and 92.9 ppm of SiO₂. For soils with similar clay contents, soluble silica was higher for soil with argillic B horizons as compared with soils with oxic B horizons. Within each group of soils, higher soluble silica results were associated with higher clay contents. Soluble silica apparently was not related to soil pH.

LITERATURA CITADA

1. AYRES, A. S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low silicon soils. *Soil Sci.* 101:216-227, 1966.
2. BECKWITH, R. S. & REEVE, R. Studies of soluble silica in soils: I. *Aust. J. Soil Res.* 1:157-168, 1963.
3. FOX, R. L.; SILVA, J. A.; YOUNGE, O. R.; PLUCKNETT, D. L. & SHERMAN, G. D. Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 31:775-779, 1967.
4. GIFFORD, R. D. & FRUGOLI, D. M. Silica sources in soil solution. *Nature* 145-386-388, 1964.
5. JONES, H. P. & HANDRECK, K. A. Studies of silica in the oat plants. III. Uptake of silica from soils by the plants. *Plant and Soil* 23:79-96, 1965.

6. JONES, H. P. & HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. *Adv. Agron.* 19:107-149, 1967.
7. KILMER, V. J. Silicon. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Am. Soc. Agron., 1965. p.959-962. (Monograph 9)
8. McKEAGUE, J. A. & CLINE, M. G. Silica in soil solution. I. The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soils. *Can. J. Soil Sci.* 43:70-82, 1963.
9. ———, ———. Silica in soils. *Adv. Agron.* 15:339-396, 1963.
10. SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Comissão de solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1960. 634p. (Boletim 12)