



BRAGANTIA

Revista Científica do Instituto Agrônomo, Campinas

Vol. 42

Campinas, 1983

Artigo nº 13

ALUMÍNIO TROCAVEL E SATURAÇÃO EM BASES COMO CRITÉRIOS PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM (1)

BERNARDO VAN RAIJ (2), *Seção de Fertilidade do Solo*, ANTONIO PEREIRA DE CAMARGO (2),
Estação Experimental de Piracicaba, HEITOR CANTARELLA (2), *Seção de Fertilidade
do Solo*, e NELSON MACHADO DA SILVA (2), *Seção de Algodão, Instituto Agrônomo*.

RESUMO

O critério do alumínio para determinar a necessidade de calagem de solos, vem sendo usado há dezesseis anos no Brasil. As quantidades de calcário indicadas são em geral baixas. Neste trabalho, procurou-se avaliar esse método, com base em resultados de ensaios de calagem, realizados em três locais e durante vários anos. Em Mococa, em podzólico vermelho-amarelo, foram considerados cinco plantios de milho, um de algodão e um de soja; em São Simão, em latossolo vermelho-escuro textura média, três plantios de soja; em Guaira, em latossolo roxo, três plantios de algodão. Em todos os casos, a produção continuava a aumentar, com a elevação das doses de calcário, mesmo em níveis de calagem superiores àqueles suficientes para praticamente neutralizar o alumínio. Mostrou-se que o critério do alumínio não é adequado, do ponto de vista quantitativo, para cálculos de calagem. O critério da saturação em bases apresentou-se como alternativa adequada, para esse fim, relacionando bem com as respostas das culturas, além de ser muito flexível, de fácil utilização, e apresentar fundamento teórico adequado. Em geral, a produção máxima não foi atingida nos ensaios, mas estimou-se que ela seria obtida com valores de saturação em bases acima de 60%.

1. INTRODUÇÃO

A calagem em solos, e particularmente nos tropicais, é assunto que continua polêmico, destacando-se duas diretrizes bastante contrastantes. Atualmente, no

Brasil, há dois critérios em uso para os cálculos da necessidade de calagem de solos. Um deles, usado na maior parte do País, baseia-se na neutralização do alumínio trocável, com o que se eleva o pH a menos de 5,5, sendo as

(1) Trabalho apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Salvador (BA) de 30 de agosto a 6 de setembro de 1981. Recebido para publicação a 16 de dezembro de 1981.

(2) Com bolsa de suplementação do CNPq.

recomendações de calagem em geral moderadas. Outro critério, usado no Sul, preconiza a calagem visando elevar o pH a um mínimo de 6.

No Estado de São Paulo, já em 1955 era preconizada a calagem para elevar o pH a 6,5 (CATANI & GALLO, 2). Contudo, a revisão sobre calagem publicada por VERDADE et alii (18) indicava que havia consideráveis restrições a calagens elevadas. Por essa razão, o critério do alumínio foi introduzido em quase todo o País (CATE, 3), tendo como base a neutralização do alumínio trocável (COLEMAN et alii, 4) e KAMPRATH (8) acabou sendo adaptado também para São Paulo, sendo hoje utilizado em conjunto com a elevação de teores de cálcio e magnésio a um mínimo de 2 ou 3 meq/100cm³ e considerando, ainda, para algumas culturas, o pH e o teor de matéria orgânica (INSTITUTO AGRONÔMICO, 6, RAIJ, 12).

PEARSON (11), com base em uma revisão sobre acidez do solo e calagem nos trópicos úmidos, sugere que o cálculo de calagem seja feito com base no alumínio trocável e não no pH. KAMPRATH (9) chama a atenção para efeitos negativos da calagem visando à neutralização, no caso de solos altamente intemperizados. McLEAN (10) sugere que o pH ótimo de oxissolos estaria entre 5,0 e 5,6. FARINA et alii (5) consideram a saturação de alumínio como um critério adequado para calagem de milho em vasos.

No Estado do Rio Grande do Sul, é utilizado o método do tam-

pão SMP para recomendar calagem, com o objetivo de elevar o pH acima de 6 (SHOEMAKER et alii, 16, e VOLKWEISS & LUDWICK, 19). As necessidades de calagem por esse critério são bem mais elevadas do que pelo de alumínio (RAIJ et alii, 14). Trabalho de calagem com soja em cerrado mostrou que a elevação do pH a 6,0 poderia ser boa opção (RAIJ et alii, 15).

Persistem, portanto, dúvidas sobre o critério ideal para recomendar calagem. A importância do alumínio na acidez dos solos, já reconhecida no início do século, ficou por muito tempo esquecida (JENNY, 7).

A porcentagem de saturação em bases, da capacidade de troca de cátions, deveria ser um critério lógico para calcular a necessidade de calagem. Talvez por ela apresentar excelente correlação com o pH dos solos, preferiu-se utilizá-lo para a recomendação de calagem (CATANI & GALLO, 2). Contudo, o pH é uma determinação bastante instável, principalmente em solos que recebem calagens recentes (PEARSON, 11).

Neste trabalho, é feita uma comparação crítica dos critérios do alumínio trocável e da saturação em bases para recomendar calagem, usando, para isso, os resultados de ensaios de calagem conduzidos em três locais, durante vários anos, com milho, algodão e soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de solos e resultados de produção de

ensaios de calagem conduzidos em três locais e já descritos em outros trabalhos. Em Mococa (CAMARGO et alii, 1), o ensaio foi instalado em 1973, com aplicações de 0, 3, 6 e 9t/ha de calcário, cultivando-se, seguidamente, cinco vezes o milho, uma vez algodão e uma vez soja, em um podzólico vermelho-amarelo. Em São Simão (RAIJ et alii, 13) foram aplicados 0, 1,5, 3,0 e 4,5t/ha de calcário em 1973, em latossolo vermelho-escuro textura média, sendo obtidas três colheitas de soja. Em Guaira (SILVA et alii, 17), em latossolo roxo originalmente sob cerrado, foram aplicadas, em 1974, 0, 1,5, 3,0 e 6,0t/ha de calcário e cultivado algodão. Para este trabalho foram utilizadas amostras de solos e de produções de 1974/75, 1976/77 e 1977/78. Aquelas de 1975/76 se extraviaram e, por essa razão, foram utilizados resultados de análise de solo anteriores, fazendo-se uma estimativa da capacidade de troca com base nos resultados dos outros anos.

As amostras de solo foram analisadas pelos métodos rotineiros para pH, cálcio, magnésio, potássio e alumínio (RAIJ & ZULLO, 13). Também foi determinado o valor de H + Al, de forma indireta, usando o tampão SMP (RAIJ et alii, 14) e calculando o valor de H + Al através da equação de correlação entre o pH da solução SMP em contacto com solo e valores obtidos extraindo 5cm³ de solo com 100ml de solução de acetato de cálcio 1N a

pH 7,0 (QUAGGIO & RAIJ,⁽³⁾). Os resultados de H + Al assim obtidos correspondem àqueles determinados por extração de 5cm³ de terra com 100ml de acetato de cálcio 1N a pH 7,0.

A soma de bases (S.B.) foi calculada somando Ca, Mg e K. A capacidade de troca de cátions (T) foi calculada pela soma S.B. + H + Al. A saturação em bases foi calculada por $V = 100 (S.B.)/T$. Finalmente, a saturação em alumínio foi calculada pela expressão $m = 100 Al/(S.B. + Al)$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de Mococa, pertinentes a este trabalho, são apresentados no quadro 1. Nota-se o grande efeito da calagem nas produções de milho, algodão e soja, devendo-se lembrar que somente foi aplicado calcário uma vez, em 1973, antes do primeiro plantio de milho. Além das produções, são apresentados os valores de análise de solo que se relacionam com o problema da acidez: o pH, o alumínio trocável, a soma de bases, a acidez extraída por solução tamponada (H + Al), a capacidade de troca de cátions (T), a saturação em bases (V) e a saturação em alumínio (m).

Da mesma maneira, são apresentados os resultados para os ensaios de soja em São Simão, no quadro 2, e de algodão em Guaira, no quadro 3.

Como seria de esperar, o efeito da calagem manifestou-se na

(3) QUAGGIO, J. A. & RAIJ, B. van. Informação pessoal de dados não publicados.

elevação da soma de bases e do pH e na diminuição dos teores de alumínio. As produções, em todos os casos, foram afetadas favoravelmente pela calagem.

Contrastando o efeito da calagem nas produções com a diminuição dos teores de alumínio do solo, percebe-se que a diminuição do elemento trocável no solo não apresenta relação linear com a produção, pois a produção continua a aumentar mesmo quando o alumínio já praticamente não ocorre. Isso indica que, nos casos deste trabalho, o critério do alumínio não serviria para determinar a necessidade de calagem em solos.

Os valores de saturação em bases refletem melhor o efeito da calagem na produção das três culturas, conforme pode ser deduzido dos resultados. O pH também acompanha bem os resultados de produção, mas tem a desvantagem de ser um critério de menor segurança analítica.

É importante verificar que a diminuição dos teores de alumínio no solo não acompanha, em magnitude, a elevação da soma de bases. Portanto, a soma de Al com as bases não é constante, o que coloca sérias dúvidas em utilizar os conceitos de retenção de cátions, ou capacidade de troca de cátions efetiva ou, ainda, saturação de alumínio, para aferir efeitos de calagem. Não se pode inferir, dos dados apresentados, a melhor calagem para as três culturas, já que não se pode afirmar que a produção máxima tenha sido atingida. É provável, contudo, que ela fosse obtida com

saturação em bases da ordem de 60%.

Os resultados estão coerentes com o que se conhece sobre respostas de culturas a calagem, bem como com os cultivares dentro das mesmas espécies. Assim, não parece correto estabelecer critério único de calagem para todas as culturas.

Os dados deste trabalho não comprovam, portanto, a indicação do alumínio como base para cálculos de necessidade de calagem, sugerida por outros autores (CATE, 3; COLEMAN et alii, 4; FARINA et alii, 5; KAMPRATH, 8; PEARSON, 11). Eles estariam mais de acordo com a calagem visando a pH 6 ou 6,5, sugerida por CATANI & GALLO (2), SHOEMAKER et alii (16) e VOLKWEISS & LUDWICK (19). Contudo, isso não significa que esta conclusão se aplique a outras culturas, principalmente aquelas mais tolerantes à acidez.

Os resultados deste trabalho parecem indicar a saturação em bases como um critério adequado para recomendação de calagem, principalmente pela flexibilidade, que permite praticar calagem em níveis variáveis, para diversas culturas. É preferível usar saturação em bases, ao invés do pH, como sugeriram CATANI & GALLO (2), por se tratar de critério de uso simples e direto e, também, por ser um critério analiticamente mais seguro. As determinações do pH em água estão muito sujeitas a pequenas quantidades de sais existentes nos solos ocasionando resultados por vezes bastante variáveis.

QUADRO 1 — Resultados de produção de culturas e de análises de solo do ensaio de calagem de Mococa

Cultura e ano agrícola	Tratamento	Produção	pH	Al	S.B.			T	V	m
					H	+ Al				
		kg/ha	meq/100cm ³						%	
Milho (73/74)	C ₀	3.524	4,7	0,6	1,6	5,0	6,6	24	27	
	C ₁	3.966	4,9	0,4	2,3	4,2	6,5	35	15	
	C ₂	4.124	5,4	0,1	3,7	3,5	7,2	51	3	
	C ₃	4.774	5,5	0,1	4,2	3,2	7,4	57	2	
Milho (74/75)	C ₀	4.325	4,4	1,0	1,1	6,9	8,0	14	48	
	C ₁	5.416	4,8	0,5	2,5	5,0	7,5	33	17	
	C ₂	6.091	5,4	0,1	3,8	3,8	7,6	50	3	
	C ₃	6.408	5,7	0,1	4,5	3,0	7,5	60	2	
Milho (75/76)	C ₀	2.883	4,6	1,1	1,0	5,5	6,5	16	52	
	C ₁	4.803	5,1	0,4	2,0	4,7	6,7	30	17	
	C ₂	5.619	5,6	0,1	3,5	3,4	6,9	51	3	
	C ₃	6.219	5,9	0,1	4,4	3,1	7,5	59	2	
Milho (76/77)	C ₀	2.435	4,7	1,3	0,8	6,7	7,5	11	62	
	C ₁	4.943	5,1	0,6	1,6	5,0	6,6	24	27	
	C ₂	5.835	5,6	0,1	3,3	3,8	7,1	46	3	
	C ₃	6.268	5,8	0,1	4,0	3,3	7,3	55	2	
Milho (77/78)	C ₀	417	4,6	1,4	0,8	5,7	6,5	12	64	
	C ₁	2.133	5,0	0,7	1,6	5,2	6,8	24	30	
	C ₂	3.244	5,4	0,2	2,7	4,2	6,9	39	7	
	C ₃	3.688	5,9	0,1	3,8	3,5	7,3	52	3	
Algodão (78/79)	C ₀	337	4,6	1,4	0,5	5,6	6,1	8	74	
	C ₁	2.042	4,9	1,0	1,0	5,3	6,3	16	50	
	C ₂	3.324	5,3	0,3	2,3	4,7	7,0	33	12	
	C ₃	3.662	5,6	0,1	3,2	3,4	6,6	48	3	
Soja (79/80)	C ₀	1.194	4,5	1,7	0,6	6,3	6,9	9	74	
	C ₁	1.596	4,8	0,9	1,3	6,5	7,8	17	41	
	C ₂	1.597	5,1	0,4	2,0	5,6	7,6	26	17	
	C ₃	1.846	5,3	0,2	2,9	4,5	7,4	39	6	

QUADRO 2 — Resultados de produção de soja e de análises de solo do ensaio de calagem de São Simão

Ano agrícola	Tratamento	Produção	pH	Al	S.B.		T	V	m
					H	+ Al			
		kg/ha	meq/100cm ³						— % —
73/74	C ₀	274	4,9	0,9	0,6	5,1	5,7	11	60
	C ₁	747	5,4	0,3	1,7	3,9	5,6	30	15
	C ₂	787	6,1	0,1	2,9	2,8	5,7	51	3
	C ₃	919	6,2	0,1	3,1	2,7	5,8	53	3
74/75	C ₀	510	4,7	1,2	0,6	5,3	5,9	10	67
	C ₁	1.099	5,2	0,4	1,9	3,8	5,7	30	17
	C ₂	1.344	5,6	0,1	3,1	2,1	5,2	60	3
	C ₃	1.329	6,3	0,1	4,3	2,3	6,6	65	2
75/76	C ₀	479	4,7	1,0	0,8	4,7	5,5	15	56
	C ₁	1.163	5,4	0,3	2,1	3,2	5,3	40	13
	C ₂	1.489	5,9	0,1	3,3	2,7	6,0	55	3
	C ₃	1.625	6,3	0,0	4,5	2,1	6,6	68	0

QUADRO 3 — Resultados de produção de algodão e de análises de solo do ensaio de calagem de Guaira

Ano agrícola	Tratamento	Produção	pH	Al	S.B.		T	V	m
					H	+ Al			
		kg/ha	meq/100cm ³						— % —
74/75	C ₀	594	5,0	0,6	1,9	6,0	7,9	24	24
	C ₁	626	5,1	0,3	2,6	5,9	8,5	31	10
	C ₂	839	5,2	0,2	3,0	5,6	8,6	35	6
	C ₃	1.036	5,5	0,1	4,4	4,1	8,5	52	2
75/76	C ₀	621	5,0	1,0	1,6	n.d.	8,5 ⁽¹⁾	19	39
	C ₁	1.008	5,2	0,6	2,5	n.d.	8,5	29	19
	C ₂	1.284	5,5	0,3	3,1	n.d.	8,5	36	9
	C ₃	1.631	5,9	0,1	4,5	n.d.	8,5	53	2
76/77	C ₀	664	4,9	0,6	2,0	6,7	8,7	23	23
	C ₁	1.213	5,1	0,4	2,6	5,4	8,0	33	13
	C ₂	1.865	5,4	0,2	3,2	4,9	8,1	40	6
	C ₃	2.360	5,8	0,1	4,2	3,8	8,0	53	2
77/78	C ₀	275	4,8	1,1	1,5	7,3	8,8	17	69
	C ₁	379	4,9	0,7	2,2	6,2	8,4	26	24
	C ₂	775	5,2	0,4	3,2	5,2	8,4	38	11
	C ₃	1.219	5,7	0,1	4,8	3,8	8,6	56	2

(1) Valores de CTC aproximados.

SUMMARY**EXCHANGEABLE ALUMINUM AND BASE SATURATION AS CRITERIA FOR LIME REQUIREMENT**

Exchangeable aluminum has been used in Brazil as a criteria for lime requirements of soils during the last 16 years. Quantities of limestone to be applied are generally low. With the present work this criteria was evaluated with results of field experiments. The experimental results were obtained in three locations, with five years of corn, one of cotton and one of soybeans on a red-yellow podzolic soil of Mococa, three years of soybeans on a dark red latosol with medium texture of São Simão, and four years of cotton on a latosol of Guaíra. In all cases limestone was applied before the first crops, at four levels. Soil samples were taken before each crop. Yields increased even with doses of limestone superior to those sufficient for practical neutralization of exchangeable aluminum, indicating this to be an inadequate criteria to determine lime requirements of soils. Base saturation of the cation exchange capacity at pH 7 is suggested as an alternative criteria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMARGO, A. P. de; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ROCHA, T. R. da; NAGAI, V.; MASCARENHAS, H. A. A. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguidos de algodão e soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(7):1007-1112, 1982.
2. CATANI, R. A. & GALLO, J. R. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre pH e a porcentagem de saturação em bases. Revistas de Agricultura, Piracicaba, 30: 49-60, 1955.
3. CATE, R. Sugestões para adubação na base de análise de solo: Brasil — 1965. Primeira aproximação. Recife, North Carolina State University, International Soil Testing Project, 1965. 16p.
4. COLEMAN, N. T.; KAMPRATH, E. J.; WEED, S. D. Liming. Advances in Agronomy, 10:475-522, 1958.
5. FARINA, M. P. W.; SUMMER, M. E.; PLANK, C. O.; LETZSCH, W. S. Exchangeable aluminum and pH as indicator of lime requirement for corn. Soil Science Society American Proceedings, 44:1036-1041, 1980.
6. INSTITUTO AGRÔNOMICO. Tabelas de adubação e de calagem das principais culturas econômicas do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1977. 198p. (Boletim 209)
7. JENNY, H. Reflections on the soil acidity merry-go-round. Soil Science Society American Proceedings, 25:428-432, 1961.
8. KAMPRATH, E. J. Exchangeable Al as a criterion for liming leached mineral soil. Soil Science Society American Proceedings, 34:252-254, 1970.
9. ———. Potential detrimental effects from liming highly weathered soils to neutrality. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings, 31: 200-203, 1971.
10. McLEAN, E. O. Potentially beneficial effects from liming: chemical and physical. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings, 31:189-199, 1971.
11. PEARSON, R. W. Soil acidity and liming in the humid tropics. Ithaca, New York State College of Agriculture and Life Sciences, 1975. 66p. (Cornell International Agriculture Bulletin, 30)

12. RAIJ, B. van. Interpretação da análise de terra. O Agrônomo, Campinas, 29/30:63-73, 1977/78.
13. ——— & ZULLO, M. A. T. Métodos de análises de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1977. 16p. (Circular, 63)
14. RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ZULLO, M. A. T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 38:57-69, 1979.
15. ———; CAMARGO, A. P.; MASCARENHAS, H. A. A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C. T.; NERY, C.; LAUN, C. R. P. Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1:28-31, 1977.
16. SHOEMAKER, H. E.; McLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Science Society American Proceedings, 25:274-277, 1961.
17. SILVA, N. M.; FERRAZ, C. A. M.; RODRIGUES FILHO, F. S. O.; HIROCE, R. Emprego de calcário e de superfosfato simples na cultura do algodoeiro em solo argiloso ácido. Bragantia, Campinas, 39:39-50, 1980.
18. VERDADE, F. C.; GARGANTINI, H.; MIRANDA, L. T. Uso e aplicação do calcário; campanha da calagem do solo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1968. 63p.
19. VOLKWEISS, S. J. & LUDWICH, A. E. O melhoramento do solo pela calagem. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia e Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1969. 30p. (Boletim técnico, 1)