

AVALIAÇÃO DAS POSSIBILIDADES DE ESCÓRIAS DE SIDERURGIA COMO CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO (1)

ANTÔNIO CARLOS PIMENTEL WUTKE e HERMANO GARGANTINI, *engenheiros-agrônomos, Seção de Fertilidade do Solo e A. GENTIL GOMES, engenheiro-agrônomo (2), Instituto Agrônômico*

RESUMO

No presente trabalho são apresentados os resultados obtidos em um ensaio de competição entre materiais corretivos, conduzido em vasos de Mitscherlich. Objetivou-se, principalmente, avaliar as possibilidades de dois tipos de escórias de siderurgia para substituir os corretivos usuais na agricultura. Foram comparados um calcário dolomítico cristalino, um calcário altamente cálcico, um material cálcico proveniente dos sambaquis do Litoral Sul paulista, uma escória de altos fornos a coque, produzida em Volta Redonda, e uma escória originária da produção de aços pelo processo Martin-Siemens básico, obtida em São Caetano.

Os materiais corretivos foram comparados sempre em presença de adubação com NPK, feita em solução e na forma de drogas puras. Constataram, ainda, da experiência, um tratamento testemunha e outro com NPK, sem calagem. A planta indicadora utilizada foi a soja, *Glycine max* (L.) Merrill, variedade "Abura". No final do ensaio, além da colheita das sementes de soja, retiraram-se amostras de terra de todos os vasos, para determinações de seus índices pH e dos teores de $H^+ + AL^{+3}$ trocável.

Com relação ao poder de neutralização da acidez do solo, revelaram-se mais eficiente o calcário dolomítico, o cálcico e o sambaqui. Com eficiência intermediária colocou-se a escória de São Caetano e, em último lugar, a escória de Volta Redonda. As produções das sementes de soja, todavia, não confirmaram estes resultados, uma vez que as diferenças entre os tratamentos com corretivos não foram estatisticamente significativas.

Moagem mais severa do que a utilizada neste ensaio possivelmente elevará a eficiência das duas escórias, como corretivos da acidez do solo. Com relação às suas influências sobre a produção, avaliadas nas condições do ensaio, não há necessidade de se apurar mais o seu grau de moagem, a não ser para atender às exigências legais, que disciplinam o comércio de adubos e corretivos.

(1) Recebido para publicação em 19 de maio de 1962.

(2) Designado pelo Instituto Agrônômico, para colaborar nos projetos agrônômicos do Serviço do Vale do Paraíba, da D.A.E.E.

1 — INTRODUÇÃO

A acidez dos solos, quando elevada, é um fator limitante do desenvolvimento e da produção para a maioria das plantas cultivadas. Sua ação prejudicial se faz sentir, não apenas diretamente, devido ao aumento da concentração de íons hidrogênio e alumínio no solo, que estabelecem condições adversas aos vegetais superiores e à vida microbiana útil. Indiretamente, também se faz sentir em fenômenos complexos, relacionados com as disponibilidades dos nutrientes essenciais às plantas, e no empobrecimento das bases trocáveis do solo, principalmente cálcio e magnésio.

As rochas carbonatadas moídas, genêricamente denominadas calcários, são os materiais predominantemente empregados com a finalidade de anular os indesejáveis efeitos diretos e indiretos da acidez. Além de apresentarem as propriedades indispensáveis ao satisfatório desempenho desta função, suas disponibilidades, com exceção de algumas regiões, têm sido suficientes para atender às necessidades da agricultura. Em razão da sua utilização largamente difundida, a maioria das pesquisas relacionadas à prática da calagem tem estudado os calcários nos seus vários aspectos. Assim é que inúmeros são os trabalhos existentes na literatura com o objetivo de elucidar a influência relativa das propriedades químicas, físicas, cristalográficas e do grau de moagem desses materiais sobre a sua eficiência como corretivos (1, 4, 8, 9). A tendência atual, todavia, é a de se tornar cada vez mais difícil e onerosa para o agricultor a obtenção de calcário. Segundo Guimarães (6), que se tem ocupado com vivo interesse do problema, "Nenhuma indústria que possa utilizar sua matéria prima, de reserva limitada, em setores altamente lucrativos, como fabricação de cimento, de cal, de pedrisco para mármore artificial, de vidro e ferro, irá dedicar-se à produção de corretivo de acidez, onde a margem de lucro é bastante baixa. Tal é o caso da Sociedade Extrativa Dolomia de Taubaté, que está diminuindo progressivamente a sua produção de corretivo da acidez em favor da de pedrisco para mármore artificiais".

As escórias de siderurgia, quer as produzidas nos altos fornos a coque, quer as originárias da produção do aço pelo processo Martin-Siemens básico, são materiais que reúnem condições para eventualmente poderem substituir os corretivos usuais na prática da calagem. Em vista desta possibilidade têm, também, recebido a atenção dos pesquisadores. Nos Estados Unidos, desde 1916 vêm sendo conduzidos trabalhos experimentais, visando a sua utilização como corretivos. Segundo Whittaker (11), os resultados dos primeiros ensaios freqüentemente se mostraram con-

traditórios, o que seria devido aos métodos experimentais inadequados, então empregados. Para esse autor tais resultados retardaram a aceitação das escórias pelos agricultores. Por outro lado, a descoberta de outras utilizações para esses materiais teria tornado de pouca importância, para os produtores, o desenvolvimento de seu mercado na agricultura. De acordo, ainda, com citação de Whittaker, trabalhos recentes, desenvolvidos nos Estados Unidos e no Canadá, evidenciaram, todos, que a ação das escórias foi tão eficiente quanto a dos calcários usados como termo de comparação.

Entre nós, até há pouco, não havia motivação suficiente para despertar o interesse pela utilização das escórias na agricultura. Atualmente, porém, com a ampliação crescente de nosso parque siderúrgico e, na eventualidade de dificuldades maiores de aquisição de calcário para a correção da acidez, ganha destaque a conveniência de se cuidar da possibilidade de utilização desses resíduos. Ensaios de campo com este objetivo já foram conduzidos por técnicos do Instituto Agrônomico, em colaboração com o Serviço do Vale do Rio Paraíba (5). Com a mesma finalidade foi realizado este experimento em vasos, na sede do Instituto, em Campinas, cujos resultados são apresentados neste trabalho.

2 — MATERIAL E MÉTODO

O ensaio foi instalado em vasos de Mitscherlich, de ferro esmaltado e com capacidade para 6 kg de terra. O solo utilizado, originário de arenito da formação Glacial (10), foi coletado de uma gleba da Usina Açucareira Ester, no Município de Cosmópolis. Somente foi retirada a camada superficial, até 20 cm de profundidade. Após secagem ao ar, a terra foi passada através de peneira de 2 mm de abertura de malha e perfeitamente homogeneizada. Análises (3) de uma amostra média, retirada a seguir, revelaram as seguintes características químicas:

pH	4,60
C (total)	1,70%
N (total)	0,13%
C/N	13,07
PO ₄ ⁻³ (3)	0,24
K ⁺ trocável (4)	0,08
Ca ⁺⁺ trocável (4)	0,19
Mg ⁺⁺ trocável (4)	0,01
H ⁺ + Al ⁺³ trocável (4)	7,36

(3) Extraído com H₂SO₄ 0,05 N

(4) e. mg por 100 g de solo seco ao ar.

Além da escória de alto forno a coque, proveniente de Volta Redonda e da escória originária da produção de aço pelo processo Martin-Siemens básico, obtida em São Caetano, foram utilizados neste ensaio, como termos de comparação, material cálcio, proveniente dos sambaquis do Litoral Sul paulista, um calcário dolomítico cristalino e um calcário altamente cálcico. As principais características químicas e granulométricas desses materiais se encontram no quadro 1.

A escória de Volta Redonda, que passaremos a chamar de *V. R.*, é granulada pelo processo de jato de água (7), apresentando-se, ao natural, na forma de pequenos blocos, bastante friáveis e com granulação de areia. Sua coloração é parda, tendendo à creme. Segundo Guimarães (7), "A escória granulada, ao simples toque da mão esfrela-se, e as experimentações da Agricultural Experiment Station, da Ohio State University, mostram que a granulação (finura) da escória corretivo é de menos importância quando se trabalha com escória granulada. Os produtos da escória granulada, com 50 a 60% passando na peneira 20 mesh, são comparáveis, nos mercados de corretivos, aos calcários ou dolomitos do tipo "agricultural ground" (90% passando na peneira 20 mesh e 60% passando na peneira 60 mesh)." A escória de São Caetano, que denominaremos de *S. C.*, quando em blocos, é menos friável do que a anterior, e apresenta coloração escura, quase preta.

A planta indicadora utilizada foi a soja (*Glycine max* (L.) Merril), variedade "Abura". Foi escolhida devido às suas exigências com relação à acidez do solo e ao suprimento de cálcio e magnésio.

O delineamento experimental foi o de distribuição casualizada dos vasos nos vagonetes e constou de 12 tratamentos com 3 repetições. Os tratamentos foram os seguintes:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 — Testemunha | 2 — NPK |
| 3 — NPK + dose 1 calc. cálcico | 4 — NPK + dose 2 calc. cálcico |
| 5 — NPK + dose 1 calc. dolomítico | 6 — NPK + dose 2 calc. dolomítico |
| 7 — NPK + dose 1 sambaqui | 8 — NPK + dose 2 sambaqui |
| 9 — NPK + dose 1 <i>V. R.</i> | 10 — NPK + dose 2 <i>V. R.</i> |
| 11 — NPK + dose 1 <i>S. C.</i> | 12 — NPK + dose 2 <i>S. C.</i> |

A dose 1 dos corretivos foi calculada com base no pH e no teor de H^+ + Al^{+3} trocável do solo (2), para elevar aquele índice ao valor de 6,5 e a saturação em bases do solo a 70%. Evidentemente, as quantidades variaram, de acordo com a equivalência

QUADRO 1. — Características químicas e granulométricas dos cinco materiais corretivos estudados.

Características	Calcário cálcico	Calcário dolomítico	Sambaqui	Escória V. R.	Escória S. C.
	%	%	%	%	%
Umidade a 110°C	—	0,28	0,60	0,46	0,34
Perda ao fogo	—	41,46	42,88	1,66	—
Fe ₂ O ₃	—	—	—	1,28	24,00
SiO ₂ + resíduos	—	5,90	0,50	36,00	14,50
R ₂ O ₃	—	2,00	1,00	14,80	36,00
CaO	47,20	29,71	53,26	40,00	39,00
MgO	5,10	20,67	0,03	7,02	8,80
CaCO ₃ equivalente	97,80	104,70	95,00	88,90	91,60
Análise granulométrica (1)					
retido peneira 10	—	—	0,10	0,09	—
retido peneira 18	16,40	—	4,10	16,66	29,65
retido peneira 50	24,50	—	59,50	71,31	52,07
retido peneira 70	4,05	0,05	8,15	3,80	4,54
retido peneira 100	9,15	7,90	12,65	2,96	5,08
retido peneira 270	22,70	54,25	10,00	2,18	3,45
Passa peneira 270	23,20	37,40	5,50	3,00	5,21

(1) Peneiras U. S. Standard.

em CaCO_3 dos materiais empregados. A dose 2 corresponde ao dobro da dose 1. Todos os tratamentos, com exceção do testemunha, receberam adubação completa, NPK, em solução e na forma de drogas puras. As quantidades empregadas por vaso foram de 2,0 g de N, 2,2 g de P_2O_5 e 3,0 g de K_2O .

Procedeu-se  a instalação do ensaio no dia 16 de julho de 1957, quando os corretivos foram intimamente misturados com os 6 kg de terra de cada vaso, nos tratamentos correspondentes. A seguir, adicionou-se água a todos os vasos, para favorecer as reações entre os corretivos e o solo. Periodicamente esta operação foi repetida, ate o dia 18 de outubro, quando foram aplicados os adubos em solução e nas quantidades citadas. Em 23 de novembro fez-se a sementeira, colocando-se 10 sementes por vaso, previamente inoculadas (5).

A germinação se deu após quatro dias e o desbaste foi executado em 12 de dezembro, conservando-se 4 plantas por vaso. Durante a condução do ensaio, manteve-se teor de umidade suficiente ao normal desenvolvimento das plantas, fazendo-se diariamente o retorno do excesso de água percolada. O início de florescimento foi observado no dia 8 de janeiro de 1958. No dia 12 de abril fez-se a colheita das vagens. Logo após esta operação, de cada vaso retiraram-se três amostras de terra, da superfície ate o fundo, com auxílio de trado de rsca (3). As amostras simples das repetições foram reunidas, constituindo-se uma amostra composta de cada tratamento, nas quais foram determinados os índices pH e os teores de $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$ trocável (3).

O estado sanitário das plantas manteve-se satisfatório durante todo o seu ciclo. Como fatores prejudiciais à precisão do experimento, cumpre assinalar que foram acidentalmente perdidas, uma repetição do tratamento NPK + dose 2 V. R. e outra do NPK + dose 1 S. C.

3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apreciados separadamente os resultados correspondentes  atuação dos cinco corretivos sôbre a acidez do solo, e aqueles que dizem respeito à sua influência sôbre a produtividade da soja.

(5) Material fornecido pelo engenheiro-agrônomo Cyro G. Teixeira, do Laboratório de Microbiologia dêste Instituto.

3.1 — EFEITO SÓBRE A ACIDEZ DO SOLO

No quadro 2 são apresentados os dados correspondentes às determinações do pH e de $H^+ + Al^{+3}$, feitas nas amostras de solo retiradas no final do ensaio. Como observação inicial, pode-se constatar que em todos os tratamentos em que foram empregados os materiais corretivos houve diminuição da acidez do

QUADRO 2. — Valores médios de duas determinações de pH e de $H^+ + Al^{+3}$ (e. mg/100 g de solo), efetuadas nas amostras de solo coletadas no final do ensaio, e produções médias, por vaso, de sementes de soja.

Tratamentos	pH	$H^+ + Al^{+3}$	Produções
		(1)	
		<i>e. mg</i>	<i>g</i>
Testemunha	4,60	8,02	4,5
NPK, sem calagem	4,80	8,10	7,8
NPK + calcário dolomítico			
dose 1	6,20	4,97	42,6
dose 2	6,85	3,08	48,0
NPK + calcário cálcico			
dose 1	6,07	4,79	43,3
dose 2	6,55	3,61	47,6
NPK + sambaqui			
dose 1	6,07	4,79	33,6
dose 2	6,80	2,75	33,6
NPK + escória S. C.			
dose 1	5,50	5,94	44,2
dose 2	6,40	3,95	42,7
NPK + escória V. R.			
dose 1	5,05	6,80	40,4
dose 2	5,65	6,06	42,9

solo, como era de se esperar. A eficiência desses materiais, todavia, se mostrou variável, de modo a se poder grupá-los, deste ponto de vista, em três classes. A dos mais eficientes inclui os calcários dolomíticos e cálcico e o sambaqui. Na classe intermediária figura a escória S. C. Finalmente, como neutralizante de acidez menos ativo, revelou-se a escória V. R. Entre os três primeiros citados não houve, do ponto de vista prático, diferenças

(1) Teoricamente, acima de pH 5,8 torna-se nula a parcela representada pelos íons Al^{+3} .

de comportamento que justificassem uma diferenciação. Em qualquer das doses empregadas a pequena vantagem do calcário dolomítico, com relação às variações do índice pH, é posta em dúvida pelas alterações havidas nos teores de $H^+ + Al^{+3}$. É interessante assinalar que os dois calcários e o sambaqui, que nas condições do ensaio evidenciaram idêntico poder neutralizante, podem, por sua vez, ser colocados em três classes distintas com relação à granulometria.

As escórias se aproximaram mais da eficiência dos outros materiais corretivos quando se empregou a dose 2. Pode-se admitir que isto se deva à dificuldade crescente de neutralização dos íons hidrogênio e alumínio, à medida que diminui a sua concentração na solução do solo. Por outro lado, deve-se considerar que a dose 2 levou ao solo, além das outras, o dôbro da quantidade de partículas mais finas, às quais provavelmente se deva, em grande parte, a atividade das escórias. Destas considerações se infere que moagem mais severa possivelmente elevará a eficiência das duas escórias, como corretivos da acidez do solo, de modo a poderem competir mais vantajosamente com os materiais comumente utilizados na agricultura. Convém considerar, também, que esta medida ainda se impõe para a sua comercialização, conforme estabelecem as disposições legais sôbre o comércio de adubos e corretivos. Com base nestes primeiros resultados outros ensaios deverão ser conduzidos, para apontar a granulometria que conferirá às escórias a maior eficiência.

3.2 — EFEITOS SÔBRE A PRODUÇÃO

Como se pode depreender do exame da última coluna do quadro 2, a calagem teve notável influência sôbre a produção de sementes de soja, independentemente do corretivo considerado. Os dados de produção, todavia, não confirmaram os relativos ao efeito neutralizante e discutidos em 3.1. A análise da variância daqueles dados, apresentada no quadro 3, não aponta diferenças significativas entre os materiais corretivos. Também os confrontos entre doses empregadas e entre doses x corretivos, não atingiram o limite de significância. Por outro lado, mostraram-se altamente significativos os confrontos entre os tratamentos com corretivos e sem corretivo e, ainda, entre NPK e testemunha.

Infere-se, da apreciação desses resultados, que pelo fornecimento de cálcio e magnésio às plantas, mais do que pela neutralização da acidez do solo, devem ser atribuídos aos cinco corretivos os acréscimos de produção obtidos. Maior evidência vem em refôrço desta afirmativa, quando se consideram os tratamentos em que foi empregado o sambaqui. Ainda que as diferenças não

QUADRO 3. — Análise da variância das produções apresentadas no quadro 2

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M	F
Entre tratamentos ...	11	7.076,03	643,28	8,17++
Doses	1	33,92	33,92	
Corretivos	4	570,20	142,55	
Doses x corretivos	4	49,76	12,44	
Com corretivos x sem corretivos	1	3.179,36	3.179,36	40,39++
NPK x Testemunha ..	1	3.242,79	3.242,79	41,20++
Dentro de tratamentos	22	1.731,60	78,71	

C. V. = 25%

tenham sido significativas, este material, que evidenciou elevado poder neutralizante, respondeu pelas menores produções entre os corretivos. É razoável atribuir-se este comportamento à porcentagem de magnésio do sambaqui, uma vez que o solo utilizado apresentava teor muito baixo daquele elemento na forma trocável. Ensaios futuros, abordando o assunto mais especificamente, poderão dizer do acerto da generalização deste enunciado, e enquadrar em limites mais precisos os fenômenos relacionados com a prática da calagem.

4 — CONCLUSÕES

A análise dos dados permite sejam tiradas as seguintes conclusões:

a) Todos os materiais corretivos atuaram sobre a acidez do solo, diminuindo-a. Nesse sentido, o calcário dolomítico, o calcico e o sambaqui mostraram-se mais eficientes; a escória de São Caetano colocou-se em segundo plano e, a de Volta Redonda, em terceiro. Os valores médios de pH determinados após a colheita foram, respectivamente, 6,20, 6,07, 6,07, 5,50 e 5,05 nos vasos tratados com a dose menor (teoricamente suficiente para elevar o pH de 4,60 a 6,50) e 6,85, 6,55, 6,80, 6,40 e 5,65 nos que receberam o dobro dessa dose.

b) Todos os corretivos atuaram favoravelmente sobre a produção de sementes de soja e de maneira notável. Os aumentos

percentuais, obtidos em relação ao tratamento com adubação NPK e sem calagem, variaram de 330 a 515%.

c) As diferenças entre as produções correspondentes a cada um dos cinco corretivos não foram estatisticamente significativas, o mesmo sucedendo com os confrontos entre doses e entre doses x corretivos. Em outras palavras, todos os materiais foram igualmente eficientes com relação à produtividade das plantas.

d) Do ponto de vista da neutralização da acidez do solo, é recomendável que as escórias se apresentem com granulometria mais fina do que a empregada no ensaio, para, possivelmente, terem aumentada a sua eficiência.

e) Com relação ao efeito das escórias sobre a produção, avaliado nas condições do ensaio, a granulometria adotada satisfaz plenamente. Não obstante isto, para a sua comercialização é ainda imprescindível enquadrá-las nas especificações legais.

EVALUATION OF BLAST FURNACE SLAGS AS CORRECTIVES FOR SOIL ACIDITY

SUMMARY

This paper presents preliminary results obtained in a greenhouse test in which blast furnace slags and other lime materials were compared as soil correctives. Comparisons were made between dolomitic limestone, calcitic limestone, oyster-shell lime, slag from iron production and slag from steel production by the Martin-Siemens basic procedure. These materials were compared at two different rates. General application of NPK fertilizers was made and the control treatment received no lime.

The soybean variety Abura (*Glycine max* (L.) Merrill) was utilized as an indicator plant; four plants were grown in each pot. Final grain production was measured and soil samples were collected from the pots, in order to check the pH and exchangeable acidity ($H^+ + Al^{3+}$).

The results obtained showed that under the conditions of the test, the dolomitic limestone, the calcitic limestone and the oyster-shell lime were all equally efficient in their corrective effect. The slag from steel production showed an intermediary effect, while the slag from iron production appeared to be the least efficient. The grain yield from these treatments did not present any statistically significant difference.

The actual grinding of the materials used in the experiment seemed satisfactory. A finer grinding is not deemed necessary unless it is required by the legislation covering the commerce of soil correctives.

LITERATURA CITADA

1. BEACHER, R. L., LONGENECKER, D. & MERKLE, F. G. Influence of form, fineness and amount of limestone on plant development and certain soil characteristics. Soil Sci. 73:75-82. 1952.

2. CATANI R. A. & GALLO, J. ROMANO. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases. Rev. Agric. Piracicaba 30:[49]-60. 1955.
3. ————, ———— & GARGANTINI, H. Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1955. 28 p. (Boletim N.º 69).
4. GALLO, J. ROMANO, CATANI, R. A. & GARGANTINI, H. Efeito de três tipos de calcários na reação do solo e no desenvolvimento da soja. Bragantia 15:[121]-130. 1956.
5. GOMES, A. GENTIL, GARGANTINI, H., GUIMARÃES, G. & WUTKE, A. C. PIMENTEL. Competição entre materiais corretivos (escórias de siderurgia x calcário) em solos de várzea do Vale do Paraíba. [A publicar].
6. GUIMARÃES, JOSÉ EPITÁCIO PASSOS. Problemas técnicos e econômicos da indústria e do consumo de corretivo de acidez no Estado de São Paulo. São Paulo, Diretoria de Publicidade Agrícola da Secretaria da Agricultura, 1958. 33 p.
7. ————. O emprêgo de escórias de alto forno a coque na agricultura. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 1960. 14 p. (Notas prévias N.º 3).
8. MEYER, T. A. & VOLK, G. W. Effect of particle size of limestones on soil reaction, exchangeable cations and plant growth. Soil Sci. 73:37-52. 1952.
9. MORGAN, M. F. & SALTER, R. M. Solubility of limestones as related to their physical properties. Soil Sci. 15:293-305. 1923.
10. PAIVA, J. E. (NETO), CATANI, R. A., KÜPPER, A. [e outros]. Observações gerais sôbre os grandes tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia 11:[227]-253. 1951.
11. WHITTAKER, COLIN W. Blast furnace slag in agriculture. Pit and Quarry 139-150. September, 1955.