



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

PRADO, R. M.; NATALE, W.; FERNANDES, F. M.; CORRÊA, M. C. M.
REATIVIDADE DE UMA ESCÓRIA DE SIDERURGIA EM UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTRÓFICO
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 28, núm. 1, enero-febrero, 2004, pp. 197-205
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214031019>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

REATIVIDADE DE UMA ESCÓRIA DE SIDERURGIA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO⁽¹⁾

R. M. PRADO⁽²⁾, W. NATALE⁽³⁾, F. M. FERNANDES⁽⁴⁾ & M. C. M. CORRÊA⁽⁵⁾

RESUMO

O presente trabalho objetivou estudar a reatividade de uma escória de siderurgia de aciaria, em diferentes frações granulométricas, aplicada em uma amostra de um Latossolo Vermelho distrófico, ácido, em condições de laboratório. Utilizou-se um fatorial $4 \times 3 + 2$ com quatro repetições, sendo quatro granulometrias (material retido entre as peneiras ABNT 5-10; 10-20; 20-50 e < 50), três doses de escória, correspondentes a 0,00, 5,04 e 10,08 t ha⁻¹, ou seja, 0,00, 1,01 e 2,02 g por copo com 0,40 dm³ de solo e duas testemunhas (escória e calcário dolomítico, na dose correspondente a V = 70 %, ou seja, 1,01 e 0,60 g por copo, respectivamente). Para definir as doses, adotou-se o método da saturação por bases, considerando-se o valor do PRNT da escória e do calcário, obtidos na granulometria correspondente. O solo foi mantido na capacidade de campo e incubado durante os períodos de três, seis e nove meses. As frações granulométricas da escória influenciaram diferentemente na acidez do solo. A fração retida entre as peneiras ABNT 5-10 mostrou-se ineficiente, enquanto a fração que passa pela peneira ABNT 50 foi a que conferiu o maior efeito na neutralização da acidez. A reatividade das partículas da escória retidas nas peneiras intermediárias, ABNT 10-20 e 20-50, foi proporcional aos valores vigentes na legislação brasileira para calcários. Portanto, a taxa de reatividade obtida para a escória foi de: ABNT nº 5-10 = 0 %; 10-20 = 22 %; 20-50 = 58 % e < 50 = 100 %.

Termos de indexação: calagem, reação do solo, resíduo siderúrgico, granulometria, legislação de corretivos.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em outubro de 2002 e aprovado em setembro de 2003.

⁽²⁾ Professor Substituto do Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n., CEP 14870-000 Jaboticabal (SP). E-mail: rmprado@fcav.unesp.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP. Bolsista do CNPq. E-mail: natale@fcav.unesp.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP. Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: maximino@agr.feis.unesp.br

⁽⁵⁾ Doutor em Produção Vegetal, Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP.

SUMMARY: REACTIVITY OF A SLAG IN A DISTROFIC RED LATOSOL

The present study investigated the reactivity of a slag from steelworks in different particle size fractions, applied on an acid dystrophic Red Latosol, under laboratory conditions, in a 4 x 3 + 2 factorial scheme in four replications. Four particle sizes (material retained in the ABNT 5-10; 10-20; 20-50, and < 50 sieves), three doses of slag (0.00, 5.04, and 10.08 t ha⁻¹, corresponding to 0.00, 1.01, and 2.02 g in 0.40 dm³ of soil per cup) and two control treatments (slag and dolomitic limestone in the corresponding dose to base saturation (V) = 70 %, or either, 1.01 and 0.61 g per cup, respectively). The base saturation method was used for the definition of the doses, considering the CaCO₃ equivalent value of slag and limestone, for the corresponding particle size fractions. The soil humidity was maintained at field capacity and incubated for three, six, and nine months. Grain size fractions of the slag affected differently the acidity of the soil. The fraction retained between the ABNT 5-10 sieves proved to be inefficient, while the fraction that passed through ABNT < 50 was the one with the greatest effect on acidity neutralization. The reactivity of retained slag particles in the intermediate sieves (ABNT 10-20 and 20-50 sieves) was proportional to the effective values of the Brazilian legislation for lime. Therefore, the reactivity rate obtained for steelwork slag was: ABNT nº 5-10 = 0 %; 10-20 = 22 %; 20-50 = 58 % e < 50= 100 %.

Index terms: liming, soil reaction, steelwork residue, particle size, fertilizer legislation.

INTRODUÇÃO

É conhecido o potencial de uso agrícola da escória de siderurgia como alternativa ao tradicional calcário, com a vantagem que seu uso diminui o impacto ambiental em torno das indústrias produtoras de ferro e aço.

Atualmente, a escória de siderurgia é classificada como corretivo de acidez do solo, aplicando-se a mesma legislação do calcário para sua comercialização. Assim, o material corretivo mais utilizado no Brasil é o calcário, assim como o mais pesquisado, visto que são consumidas cerca de 19,812 milhões de toneladas anualmente, considerando o ano de 2000 (Abracal, 2001, citado por POTAFOS, 2003). De acordo com a legislação brasileira de corretivos de acidez do solo (Brasil, 1983), o calcário deve apresentar características mínimas para ser comercializado no tocante ao poder de neutralização e reatividade, ao passo que, para a escória de siderurgia, a exigência mínima está restrita apenas ao poder de neutralização.

Para que o material atue como corretivo de acidez do solo com alta eficiência, não é suficiente apenas que apresente alto poder de neutralização, mas que o tempo para que haja correção da acidez seja satisfatoriamente rápido. Assim sendo, diz-se que este fenômeno está relacionado, especialmente, com o grau de moagem do material, ou seja, com sua granulometria, embora a natureza química também possa influenciar.

Pela prática agrícola, convencionou-se que a reatividade (RE) relativa a uma fração granulométrica

é a sua capacidade de ação na neutralização da acidez do solo num período de três meses. Segundo a legislação dos calcários, para a fração superior a 2 mm (peneira ABNT Nº 10) e inferior a 0,30 mm (peneira ABNT Nº 50) foram atribuídos os valores 0 e 100 % de reatividade, respectivamente, e, a partir destas, foram atribuídas as eficiências correspondentes às granulometrias intermediárias entre 2 e 0,30 mm. No cálculo da reatividade dos calcários, convencionou-se que a fração das partículas retidas entre as peneiras ABNT 10 e 20 têm 20 % de RE e aquelas partículas retidas entre as peneiras ABNT 20 e 50 têm RE de 60 %, conforme indica a legislação (Brasil, 1986).

Entretanto, quando estes resultados da taxa de RE estabelecidos pela legislação brasileira são extrapolados para a escória, podem-se obter erros, visto que, mesmo para os próprios calcários, essas taxas não encontraram respaldo na literatura (Bellingieri et al., 1988; Natale & Coutinho, 1994).

Como são materiais distintos, pode-se admitir que as taxas de RE utilizadas para o calcário talvez não expressem a mesma realidade no caso da escória, visto que este produto apresenta constituição química e física complexa e distinta do calcário. Esta diferença aparece desde a composição da escória (silicatos de cálcio e magnésio associados a compostos de Fe, Al e Mn) e durante a fase de produção destes resíduos (Prado et al., 2001). Esses autores complementam que, no processo industrial, o resfriamento da escória, no momento de saída do forno da siderúrgica, pode afetar sua qualidade; assim, se a escória não receber um resfriamento

rápido ("quenching"), com jatos d'água, ocorrerá maior recristalização dos seus constituintes, o que poderá reduzir sua solubilidade.

Nos poucos trabalhos que trataram da RE da escória, empregaram-se materiais com granulometrias muito finas (peneiras ABNT nº > 10; 20-40; 40-70; 140-200 e < 200 (Camargo, 1972); ABNT > 50; 50-100 e < 50) (Louzada, 1987); ABNT 20-50; 50-100; 100-150 e < 150 (Bahia, 1989); ABNT 50-60 e 100-140 (Piau, 1991); ABNT 20 até < 270 (Fortes, 1993). Assim, não existem estudos para a escória de siderurgia que estabeleçam a RE para as frações granulométricas constante na legislação brasileira (ABNT >10; 10-20; 20-50 e < 50), de acordo com Prado et al. (2001). O conhecimento sobre a granulometria, comum no caso dos calcários, visa a adequar a qualidade técnica do material corretivo e o seu custo de produção, de forma que os extremos das frações sejam adequadamente definidos; partículas finas (ABNT < 50), além de apresentarem alto custo no processo de moagem, têm baixo efeito residual, ao passo que partículas grosseiras (ABNT > 10) têm efeito desprezível nas mudanças da reação do solo, mesmo ao longo do tempo.

Diante disso, o presente trabalho objetivou estudar a reatividade da escória de siderurgia de aciaria em diferentes frações granulométricas aplicada em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, ácido, em condições de laboratório.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, da Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro, São Paulo. Essas amostras foram coletadas da camada de 40-60 cm de profundidade, em um perfil de 5 m, homogêneas, secas ao ar e passadas em peneiras com malha de

2 mm de abertura. Realizou-se a análise química, conforme método descrito por Raij et al. (2001), que revelou as seguintes características: pH (CaCl₂) = 4,7; MO = 3 g kg⁻¹; P (resina) = 4 mg dm⁻³; K⁺ = 0,3; Ca²⁺ = 8; Mg²⁺ = 4 e H + Al = 38 mmol_c dm⁻³; SB (soma de bases) = 12,3; CTC (capacidade de troca catiônica) = 50,3 mmol_c dm⁻³ e V = 24 %.

Utilizou-se uma escória siderúrgica de aciaria, com diferentes granulometrias, e um calcário dolomítico, com sua granulometria original (Quadro 1). Observa-se que a granulometria grosseira (ABNT nº 5-10) da escória apresentou PN baixo, mostrando que os extratores utilizados solubilizaram apenas a camada superficial das partículas. Além disso, nota-se que o PN calculado foi maior que o determinado. Segundo Alcarde & Rodella (1996), este fato é explicado por ser o PN calculado com base em teores obtidos por um processo mais energético (maior concentração de ácido e tempo de agitação) e, ainda, por este método admitir que todo Ca e Mg determinado estaria ligado a uma base química neutralizante de forma que também considera aquelas bases químicas inexpressivas na neutralização da acidez, como sulfato e fosfato. Os autores consideram, ainda, que o PN determinado fundamenta-se em fazer uma amostra de corretivo exercer toda sua capacidade de neutralização sobre uma quantidade conhecida e em excesso de ácido clorídrico.

Para avaliação do PN dos materiais corretivos, utilizou-se o método oficial brasileiro definido para os calcários (Brasil, 1983). A reatividade da escória (RE) e do calcário dolomítico foi de 67,69 % (ABNT nº 10 = 5,21; 10-20 = 17,78; 20-50 = 32,33 e < 50 = 44,74 %) e 81,70 % (ABNT nº 10 = 1,96; 10-20 = 9,54; 20-50 = 21,74 e < 50 = 66,76 %), respectivamente. O PRNT ((PN x RE)/100), da escória e do calcário, foi de 45,88 e 79,66 %, respectivamente.

Utilizou-se um fatorial 4 x 3 + 2, com quatro repetições, sendo quatro granulometrias (ABNT 5-10;

Quadro 1. Características químicas dos materiais corretivos utilizados no experimento

Material corretivo (frações)	CaO ⁽¹⁾	MgO ⁽¹⁾	% ECaCO ₃ ⁽²⁾	
			Calculado ⁽¹⁾	Determinado ⁽³⁾
%				
Escória de aciaria	29,31	6,18	67,78	60,00
Diferentes granulometrias da escória de aciaria				
ABNT 5-10	18,76	5,04	46,07	39,00
ABNT 10-20	27,63	5,98	64,28	47,75
ABNT 20-50	28,37	6,38	66,61	60,25
ABNT < 50	26,41	6,52	63,44	62,25
Calcário dolomítico	26,60	20,08	97,48	88,17

⁽¹⁾ Método utilizado pela legislação brasileira de calcários (Brasil, 1983). ⁽²⁾ Percentagem equivalente em CaCO₃. ⁽³⁾ Método simplificado (Alcarde & Rodella, 1996).

10-20; 20-50 e < 50), três doses de escória correspondentes a 0,00; 5,04 e 10,08 t ha⁻¹, ou seja, 0,00; 1,01, e 2,02 g por copo com 0,40 dm³ de solo) e duas testemunhas (escória e calcário dolomítico na dose correspondente ao V = 70 %, ou seja, 1,01 e 0,60 g por copo com 0,40 dm³ de solo, respectivamente). As diferenças granulométricas da escória foram obtidas por peneiramento; entretanto, nas frações mais grosseiras (ABNT 5-10; 10-20 e 20-50), procurou-se retirar a “poeira”, ou seja, frações muito finas da escória, evitando-se eventual contaminação.

Para definir as doses, adotou-se o método da saturação por bases (Raij et al., 1996), considerando-se o valor do PRNT da escória e do calcário dolomítico. Cabe salientar que este procedimento ocorreu para comparar as testemunhas (escória e calcário), apenas como avaliação preliminar e certificar as diferenças entre os materiais na reação do solo, partindo das mesmas taxas de reatividade adotadas pela legislação de calcário. Para avaliar os fatores granulometria e doses de escória, objeto principal do trabalho, utilizou-se a dose de 5,04 t ha⁻¹, além do zero e o dobro disso, apenas para possibilitar doses crescentes, sem a pretensão de atingir níveis de correção predeterminados, uma vez que determinar as taxas de reatividade da escória era o objeto principal deste estudo. Procedimentos semelhantes foram utilizados por Natale & Coutinho (1994), quando avaliaram os fatores: granulometria e doses de calcário, em um trabalho de campo.

Os materiais corretivos, nas diferentes doses e granulometrias, foram homogeneizados com amostras do solo e acondicionados em copos de plástico com 0,40 dm³ de solo, compondo a unidade experimental.

A umidade do solo foi mantida na capacidade de campo e o solo incubado durante os períodos de três, seis e nove meses. Após cada período de incubação o solo de cada tratamento foi seco, passado em peneira de 2 mm e amostrado para análises químicas para fins de fertilidade (pH, H + Al, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺), conforme método descrito por Raij et al. (2001), bem como foram calculadas a soma e a saturação por bases.

Para o cálculo do índice médio de eficiência equivalente, utilizou-se, como padrão, a fração ABNT < 50, em relação às diferentes frações pesquisadas, conforme indicações de Natale & Coutinho (1994), obtidas pelo quociente entre os coeficientes angulares (b) das curvas de saturação por bases em função de doses elevado ao quadrado e, finalmente, multiplicando-se por 100 para a expressão dos resultados em percentagem, como se segue:

$$\text{Eficiência (ABNT < 50)} = [b \text{ (frações ABNT 5-10 ou 10-20 ou 20-50)} / b \text{ ABNT < 50}]^2 \times 100$$

Os resultados referentes às frações granulométricas foram comparados pelo teste t, segundo descrição de Vieira (1999), e a escolha do modelo final foi feita segundo indicações de Alvarez V. (1985).

É oportuno salientar que a escolha como padrão, da fração ABNT < 50 ocorreu pelo fato de ser essa fração utilizada para o calcário com RE = 100 %, conforme a legislação. A escória apresenta-se mais abrasiva que o calcário (Prado et al., 2001), de forma que os moinhos brasileiros não teriam a capacidade técnica e econômica para a moagem deste resíduo em granulometria muito fina, além da comumente utilizada para os calcários.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa entre os tratamentos do fatorial (granulometria e doses) e as testemunhas (escória e calcário dolomítico) durante três, seis e nove meses de incubação (Quadro 2). Isto indica que existe variação nas alterações das características químicas do solo, provocadas por variação na granulometria do corretivo. Este fato foi verificado por Kurihara et al. (1999) em calcários de diferentes origens. Assim, notou-se que os fatores: granulometrias, doses e suas interações, foram significativos nas alterações do valor pH, H + Al, Ca²⁺, Mg²⁺, soma de bases e saturação por bases do solo. A interação significativa ocorreu, tendo em vista que a elevação dos valores do pH, Ca²⁺, Mg²⁺, soma de bases e da saturação por bases se deu com o aumento das doses de escória e com a diminuição da granulometria (ocorrendo o inverso para o H + Al), exceto para a mais grosseira (ABNT 5-10), que se apresentou indiferente à aplicação da escória.

Além disso, houve diferença entre as testemunhas, ou seja, o calcário dolomítico e a escória de aciaria, exceto para H + Al e Ca²⁺ aos três e nove meses de incubação e o Ca²⁺ aos seis meses de incubação (Quadro 2).

As diferenças significativas verificadas entre as testemunhas nas alterações químicas do solo indicam superioridade do calcário na neutralização da acidez do solo, exceto as variáveis H + Al, Ca²⁺ e V, aos três meses, e o Ca²⁺, Mg²⁺ e SB, aos seis meses, e o pH, H + Al, Ca²⁺, Mg²⁺, SB e V, aos nove meses de incubação (Quadro 2). Isto evidencia o comportamento distinto dos materiais corretivos na eficiência da neutralização da acidez do solo, tendo em vista as diferenças de natureza química dos materiais (silicato e carbonato) e sua granulometria.

Para os resultados das características químicas do solo, dependendo das frações granulométricas da escória de siderurgia, dentro de cada período de incubação (Figura 1), verificou-se elevação dos

Quadro 2. Características químicas do solo, de acordo com a aplicação de escória de aciaria e calcário dolomítico, em doses equivalentes⁽¹⁾

Material corretivo	pH (CaCl ₂)	H + Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	V
mmol. dm ⁻³						%
Três meses de incubação						
Escória de aciaria	6,6 b	11 a	18 a	6 b	25,0 b	69 a
Calcário dolomítico	7,0 a	10 a	18 a	10 a	28,5 a	74 a
Seis meses de incubação						
Escória de aciaria	6,9 b	10 a	15 a	5 a	20,5 a	68 b
Calcário dolomítico	7,1 a	8 b	15 a	5 a	20,4 a	72 a
Nove meses de incubação						
Escória de aciaria	6,7 a	11 a	19 a	9 a	28,0 a	74 a
Calcário dolomítico	6,8 a	9a	17 a	7 b	25,0 a	75 a

⁽¹⁾ Doses de escória de aciaria e calcário dolomítico, correspondendo a 5,04 e 2,91 t ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada período de incubação, não diferenciam entre si pelo teste Tukey a 5 %.

valores pH, bem como uma redução do H + Al, à medida que a fração granulométrica da escória diminui, como esperado. Em relação ao Ca²⁺ e Mg²⁺, as frações mais finas apresentaram os maiores valores nas alterações destes nutrientes no solo, enquanto a fração mais grosseira (peneira ABNT nº 5-10) mostrou-se pouco efetiva. As frações mais grosseiras (peneira ABNT nº 5-10 e 10-20) foram semelhantes quanto à concentração de Ca²⁺ aos três meses de incubação e de Mg²⁺ aos seis e nove meses de incubação. As frações mais finas (peneira ABNT nº < 50) e peneira ABNT nº 20-50 promoveram sempre as maiores concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo em todos os tempos de incubação.

Verificou-se, que, já aos três meses de incubação, o efeito da granulometria na concentração de bases no solo foi significativo (Figura 1). Alguns autores não verificaram efeito da granulometria da escória na concentração de bases do solo. Louzada (1987) trabalhou com escória de granulometria ABNT > 50 até < 100, não verificando aumento da concentração de Ca²⁺ no solo, durante 30 dias de incubação. Piau (1995) comparou a escória de granulometria grosseira (36 % passando pela peneira ABNT < 50) e fina (< 50 e > 60) e não observou efeito na concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺ durante 90 dias de incubação. Todavia, Piau (1991), trabalhando com granulometrias muito finas de escória de siderurgia, observou efeito significativo dessa característica na concentração de bases no solo, quando comparou a granulometria da escória da peneira ABNT 50-60 com a 100-140, no período de 30 até 90 dias de incubação. Nota-se que os trabalhos da literatura apresentam diversas granulometrias, as quais, muitas vezes, são mais finas que o padrão definido pela legislação (peneira ABNT < 50).

As alterações de Ca²⁺ e Mg²⁺ também refletiram, de forma direta, na soma de bases e na saturação

por bases do solo, observando-se, neste último, maior discriminação da eficiência das frações granulométricas (Figura 1). Natale & Coutinho (1994) constataram, também, a superioridade da saturação por bases para discriminar a eficiência das frações granulométricas do calcário. Outros autores utilizaram o valor de pH para avaliar a eficiência das frações granulométricas de calcários (Bellingieri, 1983) e escória (Camargo, 1972). Empregar a saturação por bases (V) para avaliar a eficiência de corretivos em diferentes frações granulométricas tem, ainda, uma vantagem prática adicional, visto que um dos métodos de recomendação de calagem baseia-se no valor de V.

É importante destacar, também, que, dentro de cada tempo de incubação, a fração mais fina da escória (peneira ABNT < 50) foi sempre superior à da peneira ABNT 20-50, indicando que a fração mais fina não perdeu sua ação neutralizante com o tempo, a exemplo da saturação por bases, quando comparadas as frações que passaram pelas demais peneiras, mantendo o efeito benéfico por até nove meses de incubação (Figura 1). Por outro lado, Kurihara et al. (1999) notaram perda considerável da ação neutralizante, especialmente da fração fina (ABNT 50-70) de calcários sedimentares após 233 dias de incubação. Assim, pode-se inferir que a escória apresenta um efeito residual maior que o calcário, visto que a fração fina deste material é mais susceptível à perda de ação com o tempo.

Avaliando o efeito das frações granulométricas de acordo com as doses, verificou-se que as maiores alterações nas características de acidez do solo foram: aumento do pH e redução da concentração de H + Al, incremento na concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺ e elevação da soma de bases e da saturação por bases (Figura 1), que ocorreram com a elevação das doses aplicadas do material, durante o período experimental. Isto é explicado pela dependência da solubilização

da escória de acordo com o maior fracionamento das partículas, possibilitando maior contato corretivo-solo.

Cabe salientar que a fração mais grosseira (ABNT 5-10) da escória não influenciou significativamente nas variáveis em estudo aos três meses de incubação; todavia, aos seis e nove meses houve resposta significativa para a saturação por bases, embora tenha sido uma alteração pequena. Este fato mostra que a fração mais grosseira da escória é ineficiente na neutralização da acidez do solo, mesmo em doses elevadas e por um período de incubação de até nove meses. Assim, nota-se que a granulometria fina provocou maiores alterações na neutralização da acidez do solo. Isto está relacionado com o aumento da superfície específica das partículas, favorecendo as reações de solubilização da escória e neutralização da acidez do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Bellingieri (1983) e Plese et al. (2000), em condições de laboratório, utilizando calcários, e

por Piau (1991), empregando escória de siderurgia, tendo a granulometria mais fina conferido os maiores aumentos de pH ao solo. Desse modo, quanto mais finas as partículas, mais rápida sua ação na correção da acidez do solo, como também observado por Swartzendruber & Barber (1965).

Conforme comentado anteriormente, a saturação por bases discriminou melhor os efeitos das frações granulométricas no solo e, assim, optou-se por trabalhar com as equações de regressão obtidas (Figura 2), calculando-se a eficiência da escória, tomando-se a fração mais fina (peneira nº ABNT < 50) como padrão e atribuindo-lhe eficiência igual a 100 % (Quadro 3). O cálculo do índice médio de eficiência equivalente à fração ABNT < 50 representa uma análise comparativa das curvas, sustentada pelo teste estatístico de paralelismo entre a peneira padrão e as demais em estudo, conforme o procedimento comentado anteriormente.

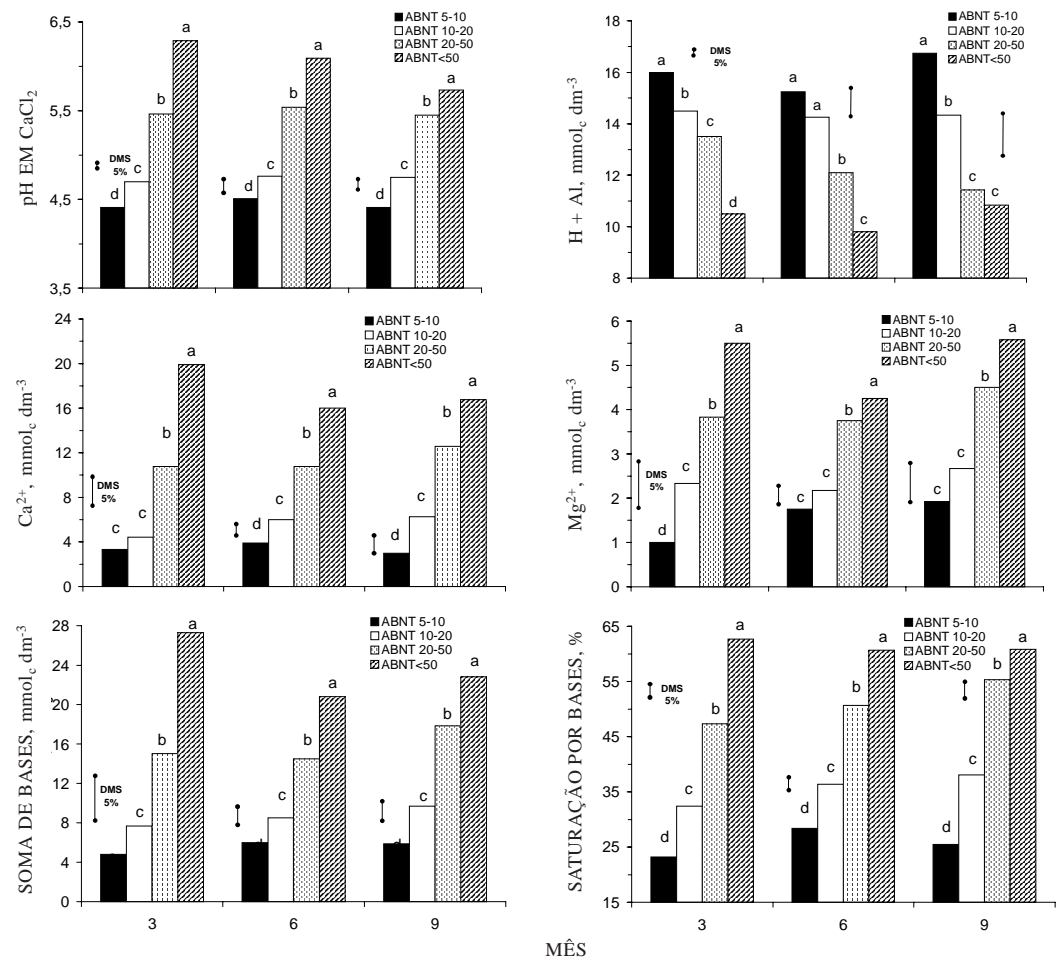


Figura 1. Frações granulométricas da escória de siderurgia de aciaria no valor pH, concentrações de $\text{H} + \text{Al}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , soma de bases e na saturação por bases de um Latossolo Vermelho distrófico, após três, seis e nove meses de incubação (média de três doses e quatro repetições).

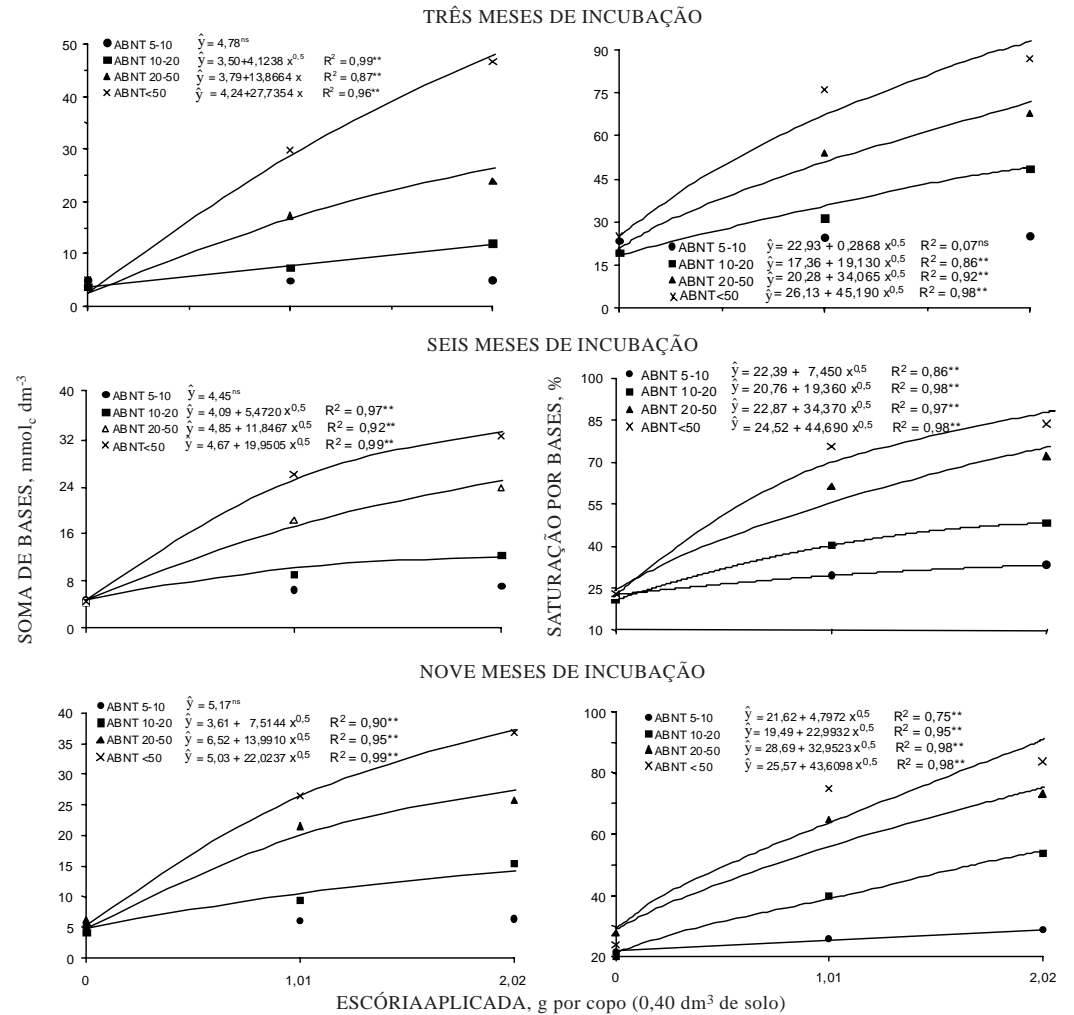


Figura 2. Frações granulométricas da escória de siderurgia na soma de bases e na saturação por bases de um Latossolo Vermelho distrófico, após três, seis e nove meses de incubação.

Quadro 3. Índice médio de eficiência equivalente à fração da peneira ABNT < 50, de acordo com o tempo de incubação

Peneira	Três meses		Seis meses		Nove meses	
	Índice	t ⁽¹⁾	Índice	t	Índice	t
ABNT 5-10	< 1	-16,4**	3	-13,3**	1	-13,6**
ABNT 10-20	18	-6,0**	19	-9,3**	28	-6,0**
ABNT 20-50	57	-2,3*	59	-3,0**	57	-3,2**
ABNT < 50	100	-	100	-	100	-

(1) Teste t para paralelismo, entre a reta da peneira ABNT < 50 e a respectiva reta. *, ** resultados significativos a 5 e 1 %, respectivamente.

Por estes resultados, nota-se que a eficiência da escória aumenta com a diminuição da fração granulométrica, durante o período estudado, atingindo 0-3; 18-28; 57-59 %, para as frações correspondente às peneiras ABNT 5-10; 10-20 e 20-50, respectivamente, quando comparada com a da

ABNT < 50, considerando-se a saturação por bases do solo (Quadro 3). Isso demonstra que a reatividade da escória, nas diferentes granulometrias, é semelhante à do calcário em condições de laboratório, adotadas pela legislação (Brasil, 1986), sendo maior, quando comparada ao calcário em condições de campo (Natale & Coutinho, 1994). É oportuno salientar que a divergência entre valores de reatividade do calcário, observada na literatura, quando se comparam laboratório e campo, requer que para escória de siderurgia esta situação também seja considerada. Assim sendo, é importante pesquisar, em condições de campo, as taxas de reatividade da escória de siderurgia, antes de se adotarem valores definitivos.

Nota-se, ainda, que a escória mantém índices de reatividade praticamente constante com o tempo de incubação, a exemplo da peneira ABNT 20-50 (57 até 59), e com moderado aumento na peneira ABNT 10-20 (18 até 28) (Quadro 3). Isto indica que não houve perda de efeito ao longo do tempo de incubação (período de três-nove meses) das diferentes frações granulométricas da escória de siderurgia. Isto pode ser explicado pelo fato de o solo deste experimento não ter sofrido efeito de acidificação e, ou, remoção de bases, o que provocaria maior solubilização da escória. Kato & Owa (1996) observaram, em estudo de equilíbrio químico em solução aquosa, que a escória de siderurgia pode sofrer um decréscimo acentuado na sua dissolução, à medida que aumentam o pH e a concentração de Ca na solução do solo. No entanto, é provável que este efeito na solubilização da escória de siderurgia seja mais pronunciado nas fases iniciais da sua incorporação ao solo e, posteriormente, em campo, estes efeitos sejam minimizados pelos fenômenos de lixiviação de bases, absorção pelas plantas e pelos processos de reacidificação do solo, a exemplo da causada pela adubação nitrogenada, os quais irão, com o tempo, influenciar as reações de equilíbrio químico e possibilitar maior solubilização da escória de siderurgia.

Cabe salientar, ainda, que a reatividade semelhante dos materiais (calcário e escória) e o fato de o calcário ter promovido maior neutralização da acidez do solo, especialmente aos seis meses de incubação para variável saturação por bases (Quadro 2), revelem que esta diferença pode ter ocorrido por fatores químicos (Equivalente em CaCO_3 - %ECaCO₃), visto que a reatividade foi semelhante (Quadro 3), uma vez que existem diferenças em todas as granulometrias da escória entre %ECaCO₃, calculado e determinado (Quadro 1). Prado & Fernandes (2000), em estudos com escória e calcário em condições de casa de vegetação, também ressaltaram a necessidade de novos estudos de métodos de determinação do PN para a escória de siderurgia.

CONCLUSÕES

1. A escória de siderurgia, em suas diferentes frações granulométricas, influenciaram diferentemente a acidez do solo.

2. A fração retida entre as peneiras ABNT 5-10 mostrou-se ineficiente, enquanto a fração que passa pela peneira ABNT 50 foi a que conferiu o maior efeito na neutralização da acidez. A reatividade das partículas da escória de siderurgia retidas nas peneiras intermediárias, peneiras ABNT 10-20 e 20-50, foi proporcional aos valores vigentes na legislação brasileira para calcários. Portanto, a taxa de reatividade obtida para a escória de aciaria foi de: ABNT nº 5-10 = 0 %; 10-20 = 22 %; 20-50 = 58 % e < 50 = 100 %.

LITERATURA CITADA

- ALCARDE, J.C. & RODELLA, A.A. Avaliação química de corretivos de acidez para fins agrícolas: uma nova proposição. *Sci. Agric.*, 53:211-216, 1996.
- ALVAREZ V., V.H. Avaliação da fertilidade do solo: superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1985. 75p.
- BAHIA, V.G. Escória de siderurgia como corretivos da acidez do solo. II. Trabalhos em casa de vegetação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 24:489-494, 1989.
- BELLINGIERI, P.A. Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1983. 99p. (Tese de Doutorado)
- BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C. & SOUZA, E.C.A. Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT. *Na. ESALQ*, 45:579-588, 1988.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria nº 3 de 12-06-1986 da Secretária de Fiscalização Agropecuária, 1986.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília: LANARV, 1983. 104p.
- CAMARGO, A.P. Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1972. 59p. (Tese de Mestrado)
- FORTES, J.L.O. Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 66p. (Tese de Mestrado)
- KATO, N. & OWA, N. Dissolution of slag in water and calcium chloride solution: effects of solution pH and calcium concentration on solubilities of slags. *Japan J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 67:626-32, 1996.

- KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; HERNANI, L.C. & SILVA, W.M. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcários Sul-Mato-Grossenses. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:1443-1449, 1999.
- LOUZADA, P.T.C. Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 52p. (Tese de Mestrado)
- NATALE, W. & COUTINHO, E.L.M. Avaliação da eficiência agronômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. *R.Bras.Ci. Solo*, 18:55-62, 1994.
- PIAU, W.C. Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1995. 124p. (Tese de Doutorado)
- PIAU, W.C. Viabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizante. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1991. 99p. (Tese de Mestrado)
- PLESE, L.P.M.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I. & CORRENTE, J.E. Efeito da umidade do solo na reatividade das frações granulométricas de um calcário agrícola. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM
- POTAFOS. Disponível em: <http://www.potafos.org>. Acesso em 5 maio, 2003.
- PRADO, R.M. & FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. *Sci. Agric.*, 57:739-744, 2000.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. & NATALE, W. Uso agrícola da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal, Fundação de Estudos e Pesquisas em Medicina Veterinária, Agronomia e Zootecnia, 2001. 67p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1996. 285p. (Boletim, 100).
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. Análise química para avaliação da fertilidade do solo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.
- SWARTZENDRUBER, D. & BARBER, S.A. Dissolution of limestone particles in soil. *Soil Sci.*100:287-291, 1965.
- VIEIRA, S. Estatística experimental. 2.ed. São Paulo, Atlas, 1999. 185p.