

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UMA ESCÓRIA DE ACIARIA COMO CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO^{1/}

Antonio Carlos Ribeiro^{2/}

Deuseles João Firme^{2/}

Antônio Cândido Moreira Mattos^{2/}

1. INTRODUÇÃO

A baixa produtividade agrícola dos solos brasileiros tem como causa principal a baixa fertilidade, caracterizada pela acidez elevada e pela pobreza de nutrientes. Desse modo, a correção da fertilidade do solo deve ser a primeira preocupação na atividade agrícola.

A calagem, além de corrigir a acidez do solo e diminuir ou eliminar a presença do íon Al^{3+} , tem papel fundamental como fertilizante, aumentando a disponibilidade de Ca e Mg para as plantas. Alguns estudos mostram também, nos corretivos, micronutrientes em quantidades que podem justificar respostas positivas de plantas e microrganismos à sua adição (10).

O emprego industrial de calcário, como na fabricação de cimento e na siderurgia, deverá fazer com que sua utilização agrícola seja, com o tempo, limitada pela elevação dos preços e por uma distribuição geográfica menos favorável ao transporte, uma vez que menor número de afloramentos será utilizado na produção de corretivos. Entretanto, alguns resíduos industriais, como as escórias e os refulgos da fabricação do cimento, são ricos em cálcio e têm reação alcalina, o que os qualifica como possíveis substitutos do calcário na agricultura.

PEREIRA (8), estudando o efeito corretivo de uma escória de aciaria da USIMINAS, Ipatinga, MG, e de sete amostras de calcários de diferentes origens, não encontrou diferenças estatísticas entre elas, quanto à correção do pH de amostras de dois latossolos (LVd e LVHd).

A fim de verificar o efeito corretivo de uma escória de alto-forno a coque pro-

^{1/} Aceito para publicação em 6-12-1985.

^{2/} Departamento de Solos da U.F.V. CEP 36570 Viçosa, MG.

veniente de Volta Redonda, com 39% de CaO e 8,8% de MgO, e de outra, originária da produção de aço pelo processo «Martin-Siemens» básico, obtida em São Caetano, com 40% de CaO e 7,02% de MgO, WUTKE *et alii* (11) montaram um ensaio em vasos com soja. Com a adição das escórias o pH do solo (inicialmente igual a 4,2) se elevou para 5,05 (Volta Redonda) e 5,50 (São Caetano), ao passo que com os calcários calcítico e dolomítico subiu para 6,07 e 6,20, respectivamente. Entretanto, o efeito dos três corretivos sobre a produção de matéria seca da soja foi estatisticamente igual e aproximadamente 10 vezes maior que o efeito sobre a testemunha.

A reatividade dos calcários no solo varia principalmente conforme a granulometria, expressa pela eficiência relativa, e conforme a composição química, expressa pelos teores de cálcio e magnésio e pelo valor neutralizante (1, 4). As propriedades físicas e a composição química das escórias dependem das características do minério de ferro (teor de impurezas), do material adicionado no fluxo de ar para a purificação do ferro (calcários, bauxita) e do processo industrial (6). Sintomas de toxidez em plantas foram observados por MacIntire *et alii*, citados por TAYLOR (9), quando aplicaram 20 t/ha de uma escória de granulometria abaixo de 100 mesh. Segundo os autores, a toxidez foi devida, provavelmente, ao conteúdo de flúor da escória.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o conteúdo dos principais nutrientes de uma escória de aciaria, bem como verificar a sua reatividade no solo e a sua eficiência agrônômica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Uma amostra de escória de aciaria proveniente da Siderúrgica Pains, Contagem, MG, foi triturada e passada em peneira de 100 mesh, visando à obtenção de um corretivo com eficiência relativa (ER) de 100%. Uma fração desse material foi submetida a análises químicas, que consistiram na determinação do valor neutralizante (VN) (1, 5) e na quantificação dos teores totais de nutrientes solubilizados com ácidos nítrico e perclórico. Foram dosados: P, pelo método colorimétrico do azul de molibdênio (2); K, por espectrofotometria de chama; e Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn, por espectrofotometria de absorção atômica (3).

Foi conduzido um experimento, em casa de vegetação, no período de julho a agosto de 1984, utilizando amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo álico, textura argilosa, não cultivado, do município de Viçosa, MG. A amostra foi coletada na camada de 0-20 cm de profundidade, passada em peneira de 6 mm, seca ao ar e analisada quimicamente (5). Os resultados da análise do solo foram: pH = 4,1, 2 µgP/ml, 44 µgK/ml, 1,3 meq Al^{3+} /100 cm³, 0,3 meq Ca^{2+} /100 cm³ e 0,2 meq Mg^{2+} /100 cm³.

No ensaio em casa de vegetação, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, no esquema fatorial (3 x 3 + 1): três tempos de incubação (0, 15 e 30 dias), três doses de escória (3,72, 7,44 e 14,88 t/ha, correspondentes a 0,75, 1,5 e 3 vezes a necessidade de calagem, respectivamente) e uma testemunha absoluta, que não recebeu material corretivo nem foi incubada. A necessidade de calagem foi calculada com base nos teores de Al^{3+} e $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, segundo a recomendação da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (4), corrigindo-se a quantidade para PRNT = 100%. Utilizaram-se vasos de 2 litros de solo (T.S.F.A.). As misturas de solo com escória foram incubadas, mantendo-se a umidade em 80% da capacidade de campo. No final dos diferentes tempos de incubação, retiraram-se amostras de solo, para a

determinação de Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e pH, conforme a metodologia descrita por DEFELIPO e RIBEIRO (5).

Foi realizada uma adubação básica, na ocasião do plantio, aplicando-se 300 mg de P, 190 mg de K, 120 mg de N e 60 mg de S nos vasos, que continham 2 litros de solo. A aplicação de micronutrientes foi dispensada, uma vez que não se verificaram sintomas visuais de deficiência nas plantas em desenvolvimento. Semanalmente, foram aplicados 50 mg de N/vaso, na forma de uréia.

Utilizou-se o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), híbrido BR-300, colocando-se quinze sementes por vaso, com posterior desbaste para dez plantas por vaso. Quarenta dias depois da germinação, as plantas foram cortadas rente ao solo. A parte aérea colhida foi submetida à secagem em estufa, para a determinação do peso da matéria seca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 apresenta os teores dos principais nutrientes encontrados na escória. Verifica-se, através desses dados, que a escória apresenta baixo teor de fósforo (1,26% P_2O_5), o que limita a sua aplicação como fertilizante fosfatado. Contudo, essa baixa percentagem de P não pode ser desprezada, pois uma aplicação de 5t/ha corresponde a uma adição de 63 kg/ha de P_2O_5 ou 315 kg/ha de superfosfato simples.

QUADRO 1 - Teores de alguns nutrientes encontrados na escória de aciaria

P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Fe	Mn	Zn	Cu
%							
1,26	0,19	28,20	13,10	5,50	1,76	0,04	0,03

Os teores de CaO e MgO são relativamente altos, propiciando um valor neutralizante igual a 83%, sendo viável a sua utilização como material corretivo do solo. Os teores de Zn e Cu são praticamente desprezíveis. Os teores de Fe (5,50%) e Mn (1,76%), embora altos, são comumente encontrados em escórias de aciaria (6, 8), não sendo, por si sós, causa de toxidez para as plantas. Sendo a escória um material alcalino, tanto o Fe como o Mn nela contidos estão em formas insolúveis. Usada em doses adequadas, a escória corrige a acidez do solo e diminui as possibilidades de ocorrência de efeitos tóxicos desses elementos. A calagem é prática indicada para corrigir a toxidez de Fe e Mn em solos ácidos. (7).

O Quadro 2 apresenta os teores de Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e P e o pH das amostras de solo após os diferentes períodos de incubação com as doses de escória. No Quadro 3 são dadas as produções de matéria seca obtidas com esses tratamentos. O Al^{3+} foi eliminado totalmente com a aplicação de 7,44t/ha de escória (Quadro 2), embora a aplicação de 3,72 t/ha tenha sido suficiente para a obtenção de ótimas produções de matéria seca (Quadro 3). Com essa dosagem, observou-se decréscimo linear no teor de Al^{3+} com o aumento do tempo de incubação. O teor de

QUADRO 2 - Valores de pH e teores de Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis e de P disponível no solo, considerando as doses de escória aplicadas e os tempos de incubação. Média de quatro repetições ^{1/}

Doses de escória	Tempos de incubação	pH	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P
t/ha	Dias		—meq/100 cm ³ —			mg/ml
Testemunha (0)	—	4,1	1,3	0,3	0,2	2
3,72	0	4,7	0,6	1,1	1,0	4
	15	5,0	0,2	1,4	1,3	5
	30	5,2	0,1	1,5	1,3	4
7,44	0	5,1	0,1	1,7	1,5	9
	15	5,4	0,0	2,2	1,7	7
	30	5,6	0,0	2,4	1,8	7
14,88	0	5,6	0,0	2,5	1,8	18
	15	6,0	0,0	3,1	2,0	12
	30	6,3	0,0	3,1	2,1	11

^{1/} pH do solo em água, relação 1:2,5; cátions trocáveis extraídos com KCl 1N; P disponível pelo extrator de Mehlich 1.

QUADRO 3 - Peso da matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo 40 dias após a germinação. Média de quatro repetições

Doses de escória	Tempos de incubação	Peso da mat. seca
t/ha	Dias	g/vaso
Testemunha (0)	—	4,27
3,72	0	10,13
	15	10,37
	30	11,84
	Média	10,78
7,44	0	10,33
	15	11,84
	30	13,14
	Média	11,77
14,88	0	10,10
	15	10,00
	30	12,36
	Média	10,82

fósforo aumentou linearmente com o aumento da dose de escória. Esse aumento resultou do fato de a escória conter fósforo em sua composição (Quadro 1). Também os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} aumentaram linearmente com a aplicação de escória. Para uma aplicação de 3,72 t/ha e incubação de 30 dias, o teor de Ca^{2+} aumentou de 0,3 meq/100 g (nível baixo) para 1,6 meq/100 g, considerado nível médio pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (4).

O pH das diferentes amostras de solo aumentou linearmente com o tempo de incubação e com as doses de escória aplicadas. O inverso foi observado com o alumínio: nos tempos de 15 e 30 dias de incubação, o teor de Al^{3+} diminuiu quadraticamente com o aumento da dose de escória aplicada, o que foi comprovado por análises estatísticas. Esses resultados confirmam a boa reatividade da escória no solo e o seu poder de neutralização da acidez.

A produção de matéria seca da testemunha foi, em média, 2,5 vezes inferior à que foi obtida com a aplicação da escória (Quadros 3 e 4). Esse efeito benéfico da escória deve-se, principalmente, à redução do efeito tóxico do Al^{3+} e ao suprimento de cálcio e magnésio, já que a dose de P aplicada na adubação básica deve ter sido suficiente para a obtenção de elevadas produções. Em outras condições, WUTKE *et alii* chegaram a obter produção aproximadamente 10 vezes maior que a alcançada pela testemunha com a aplicação de escória como corretivo.

O tempo de incubação é um fator que deve ser considerado na aplicação de materiais corretivos. A produção de matéria seca aumentou linearmente, conforme o tempo de incubação, com as diferentes doses de escória aplicadas (Quadro 4). Isso indica que a produção de matéria seca poderia ser mais elevada se tempos de incubação mais longos tivessem sido testados. Esses resultados estão em concordância com as variações lineares do pH e do Al^{3+} com o tempo de incubação (Quadro 2). Não se verificaram, porém, diferenças de produção, com as doses de escória aplicadas, dentro de cada tempo de incubação (Quadro 4). Essa não-signi-

QUADRO 4 - Resumo da análise de variância da produção de matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo

Causas de variação	GL	Quadrados Médios
Testemunha vs fatorial	1	151,50**
Incubação		
Efeito linear	1	65,60**
Efeito quadrático	1	0,01 ^{ns}
Dose linear dentro 0 dias	1	0,49 ^{ns}
Dose quad. dentro 0 dias	1	1,50 ^{ns}
Dose linear dentro 15 dias	1	0,26 ^{ns}
Dose quad. dentro 15 dias	1	1,63 ^{ns}
Dose linear dentro 30 dias	1	0,04 ^{ns}
Dose quad. dentro 30 dias	1	0,70 ^{ns}
Resíduo	30	1,84

** Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste "F".

ns Não-significativo, a 10% de probabilidade, pelo teste "F".

ficância indica que a menor dose de escória (3,72 t/ha) foi suficiente para corrigir a acidez do solo.

O cultivo em casa de vegetação desenvolveu-se normalmente, sem sintomas de toxidez, mesmo com a aplicação da dose mais elevada de escória.

4. RESUMOS E CONCLUSÕES

Com a finalidade de testar a eficiência agronômica de uma escória de aciaria, foi montado um ensaio biológico em casa de vegetação, usando como planta-teste o sorgo, híbrido BR-300. Os tratamentos se originaram do fatorial ($3 \times 3 + 1$), sendo três doses de escória (equivalentes a 3,72, 7,44 e 14,88 t/ha), três tempos de incubação (0, 15 e 30 dias) e uma testemunha absoluta (sem aplicação de escória e sem incubação). Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foram cultivadas 10 plantas por vaso, com capacidade para 2 litros de solo (LVA), colhidas 40 dias após a germinação.

Do presente trabalho foram tiradas as seguintes conclusões:

- a) a escória testada é equivalente a um bom calcário;
- b) houve efeito linear do tempo de incubação sobre a reação da escória com o solo;
- c) a menor dose de escória utilizada foi suficiente para corrigir o solo;
- d) nem mesmo com a maior dose de escória utilizada foram observados efeitos tóxicos sobre as plantas.

5. SUMMARY

(THE EFFECTIVENESS OF STEEL SLAG AS A CORRECTIVE OF SOIL ACIDITY)

An experiment was carried out under greenhouse conditions to evaluate the agronomic effectiveness of a steel slag. Three rates of slag equivalent to 3.72, 7.44 and 14.88 t/ha were mixed with a sample of Red Yellow Latosol and incubated for zero, 15 and 30 days. An additional treatment was included as a reference in which the slag application and incubation were omitted. The treatments were completely randomized with four replications. Ten plants of *Sorghum bicolor* (L.) Moench were cultivated in 2-liter capacity pots containing the treated soils, and were harvested 40 days after germination.

The following conclusions were drawn:

- a) the slag performed as a good lime;
- b) there was a linear effect of incubation time on the slag reaction with the soil;
- c) the lowest rate of slag application was sufficient for soil amendment; and,
- d) no toxic effects of the slag on the plants were observed, even at the highest rate (14.88 t/ha) applied.

6. LITERATURA CITADA

1. BLOISE, R.M.; MOREIRA, G.N.C. & DYNIA, J.F. *Métodos de Análises de Solos e Calcários*. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCs, 1979. 32 p. (Boletim técnico n.º 55).
2. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e planta. *Rev. Ceres*, 21:73-85, 1974.

3. BRAGA, J.M. *Avaliação de Fertilidade do Solo: Análise Química. Parte I*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1980. 86 p.
4. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 3.^a aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1976. 80 p.
5. DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. *Análise Química do Solo (Metodologia)*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1981. 17 p. (Boletim de Extensão n.º 29).
6. GUPTA, B.S. Sources and composition of basic slag. *Agri. Digest.*, 23:3-11, 1971.
7. MENGEL, K. & KIRBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 3rd. ed. Bern, International Potash Institute, 1982. 655 p.
8. PEREIRA, J.E. *Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto-forno*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1978. 84 p. (Tese M.S.).
9. TAYLOR, A.W. Review of the effects of siliceous dressings on the nutrient status of soils. *Agricultural and Food Chemistry*, 91:63-165, 1961.
10. VALADARES, J.M.A.S.; BATAGLIA, O.C. & FURLANE, P.R.E. Estudo de materiais calcários usados como corretivo do solo no Estado de São Paulo. III — Determinação de Mo, Co, Cu, Zn, Mn e Fe. *Bragantia*, 21:795-805, 1974.
11. WUTKE, A.C.P.; GARGANTINI, H. & GOMES, A.G. Avaliação das possibilidades de escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo. *Bragantia*, 21:795-805, 1962.