



## Procedimentos Metodológicos Para a Caracterização de Escórias de Siderurgia Para o Uso na Agricultura

Antônio Marcos Coelho<sup>1</sup>

Atualmente, em um ambiente de maior consciência ambiental e uso sustentável dos recursos naturais, é crescente a busca por tecnologias alternativas que valorizem a diversidade biológica e a visão holística da relação da flora com o ambiente. Dessa forma, há maior demanda por fontes alternativas de insumos agrícolas (químicos, orgânicos, biológicos ou naturais) de pouca toxicidade e maior eficiência e pelo uso de produtos orgânicos ou de fertilizantes alternativos, como, por exemplo, o aproveitamento de resíduos sólidos e de coprodutos (RIPA, 2008).

Os materiais comumente usados na correção da acidez dos solos são aqueles que contêm, como “constituente neutralizante” ou “princípio ativo”, óxidos, hidróxidos, carbonatos ou silicatos de cálcio e/ou magnésio (BELLINGIERI, 1983). Nessa categoria estão os materiais

calcários, que apresentam os carbonatos de cálcio e/ou magnésio como “princípio ativo”, denominados de corretivos, e que predominantemente são usados, em razão de sua relativa frequência e abundância. A tendência atual, todavia, é de se tornar cada vez mais difícil e onerosa para o agricultor a obtenção de calcário, em virtude de sua utilização em setores industriais mais lucrativos, como na fabricação de cimento, na siderurgia, na construção civil, etc.

O uso de fontes alternativas de materiais que apresentam qualidade corretiva da acidez e fertilizante e que às vezes estão entulhados nos pátios das siderúrgicas (Figura 1) pode ser uma solução não só para seu descarte, no caso das indústrias, mas também no sentido de redução dos custos da produção agrícola, o que beneficiaria os agricultores e também os

<sup>1</sup>Eng. Agrôn., PhD em solos e Nutrição de Plantas e Agricultura de Precisão, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, antoniomarcos.coelho@embrapa.br

consumidores. Evidentemente, a associação destes benefícios não pode pôr em risco a qualidade ambiental, mais especificamente, do solo.

Como possíveis substitutos do calcário e de fertilizantes, têm sido estudados diversos subprodutos de indústrias, como, por exemplo, as escórias. As escórias são resíduos da fusão de metais ou da redução de minérios, resultantes após a combustão ou tratamento industrial. Existem dois tipos de escórias siderúrgicas produzidas em larga escala: a escória de alto forno, resultante da fusão redutora dos minérios para a obtenção do ferro gusa e a escória de aciaria, que resulta da produção do aço (SOUZA, 2007).



Fotos: Antônio Marcos Coelho



**Figura 1.** Aspecto geral de exploração e processamento de minérios em siderúrgicas da região de Sete Lagoas, MG.

As escórias, cujos componentes neutralizantes são os silicatos de cálcio e magnésio, que se comportam semelhantemente aos calcários (CAMARGO, 1972), sendo mesmo mais eficientes por causa da maior solubilidade dos silicatos comparativamente aos carbonatos. Além disso, normalmente as escórias apresentam quantidades significativas de micronutrientes, podendo, em alguns casos, justificar seu uso como corretivo e fertilizante. A possibilidade de uso das escórias como corretivo e fertilizante ganha destaque com a ampliação crescente do parque siderúrgico e com as maiores dificuldades de aquisição de calcários e fertilizantes em virtude dos preços dos produtos acrescidos do frete.

Assim, este artigo tem como objetivos descrever os processos metodológicos e a interpretação dos resultados para caracterizar escórias de siderurgia como corretivo de acidez do solo e como fonte de nutrientes para as plantas, fornecendo subsídios para o uso direto na agricultura ou como fonte potencial para composição de fertilizantes e, ao mesmo tempo, fornecer uma previsão de possíveis problemas ambientais, oriundos de sua utilização.

### Caracterização Química e Física das Escórias de Siderurgia

Três amostras de material proveniente de escórias siderúrgicas (aciaria), coletadas

na região de Sete Lagoas (Figura 1), foram utilizadas para o estudo. As análises das amostras foram realizadas no Laboratório de Análises de Corretivos e Fertilizantes da CAMPO - Análises Agrícolas e Ambientais, localizado no município de Paracatu, MG, segundo métodos oficiais de regulamentação, conforme descrito a seguir:

## Material com Características para Correção da Acidez do Solo

Parâmetros	Análises realizadas	Protocolo
Análise básica de corretivos	Granulometria, poder de neutralização (PN), teores de CaO, MgO e PRNT,	Instrução normativa (IN) da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) N° 28 de 27/07/2007 (BRASIL, 2007b)
Resíduo insolúvel	Determinação da fração insolúvel	

## Material com Características de Fertilizante - Macronutrientes e Elementos Traços (Micronutrientes e Metais Pesados)

Parâmetros	Análises realizadas	Protocolo
Fósforo – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Determinação do fósforo total e em ácido cítrico	Instrução normativa (IN) da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) N° 28 de 27/07/2007 (BRASIL, 2007b)
Potássio – K <sub>2</sub> O	Determinação do potássio total e solúvel em água	
Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Cobalto (Co)	Determinação em meio ácido em espectrometria de massa com plasma acoplado (ICP-MS)	Instrução normativa (IN) da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) N° 24 de 20/06/2007. Métodos: 3050B, 7471A, 7061A, 7741A da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA).
Boro (B)	Determinação em meio fracamente ácido em ICP-MS	
Alumínio (Al), Antimônio (Sb), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V), Prata (Ag)	Determinação em meio fracamente ácido em ICP-MS	
Arsênio (As), Selênio (Se), Mercúrio (Hg)	Determinação por geração de hidreto em ICP-MS	
Silício (Si) - total	Determinação do Si total em ácido fluorídrico	ICIAG/UFU

## Poder Corretivo da Acidez dos Solos das Escórias

A adição ao solo de substâncias que apresentam reação alcalina, como os calcários, as cinzas, as escórias, etc., é prática comum e resulta na elevação do pH, na neutralização do ferro e do alumínio trocável, na insolubilização do manganês, no fornecimento de alguns nutrientes e na alteração na disponibilidade de outros, na elevação na capacidade de troca catiônica (CTC), etc. Todas as reações anteriores são vantajosas para o aumento de produtividade dos solos. Recentemente, alguns pesquisadores têm considerado esses materiais como fontes potenciais de elementos traços (metais pesados) para o solo (AMARAL SOBRINHO et al., 1992) e isto tem de ser analisado de forma consciente de maneira que a solução de um problema não venha acarretar outros.

Os resultados analíticos das características químicas e físicas das escórias de siderurgia, visando seus usos como corretivos da acidez do solo, são apresentados na Tabela 1. Para efeito comparativo são também apresentados os resultados das análises de um material caracterizado como calcário e as garantias mínimas estabelecidas pela legislação brasileira (BRASIL, 2006).

A legislação brasileira sobre inspeção e fiscalização da produção e comércio de corretivos destinados à agricultura (BRASIL, 2006) especifica que esses deve ser constituídos de partículas que passem 100% em peneira ABNT 10 (2 mm), 70% em peneira ABNT 20 (0,84 mm) e, 50% em peneira ABNT 50 (0,30 mm). Assim, verifica-se pelos dados apresentados na Tabela 1 que as escórias atendem perfeitamente as especificações granulométricas, estabelecidas pela legislação.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas de escórias de siderurgia comparadas a de um calcário, de qualidade padrão e das garantias mínimas<sup>1/</sup>.

Parâmetros	Produtos				Garantias
	Escória A	Escória B	Escória C	Calcário <sup>2/</sup>	Mínimas <sup>3/</sup>
CaO - %	30,47	34,26	33,11	38,08	-
MgO - %	5,82	1,19	3,56	12,95	-
CaO + MgO - %	36,29	35,45	36,67	51,03	38
PN - %	66,51	50,66	55,95	96,50	67
PRNT - %	65,23	50,65	54,21	96,43	45
RI - %	12,41	41,32	30,49	0,00	-
Peneiras	Granulometria - % passante				
ABNT10 (2mm)	100,00	100,00	100,00	100,00	100
ABNT20 (0,84mm)	99,68	100,00	99,84	100,00	70
ABNT50 (0,30mm)	95,50	99,94	92,40	99,86	50

<sup>1/</sup> Análises realizadas pelo Laboratório da CAMPO – Análises Agrícolas e Ambientais; <sup>2/</sup> Calcário da Usina Lapa do Chumbo – Sete Lagoas, MG; <sup>3/</sup> Brasil (2006)

Por outro lado, verifica-se pelos resultados apresentados na Tabela 1, e sabendo-se que a legislação atual (BRASIL, 2006) exige como parâmetros de referência para outros corretivos de acidez valores mínimos de PRNT de 45%, PN de 67% e soma dos teores de CaO e MgO de 38%, para seu uso como corretivo de solo. Neste caso, para as escórias analisadas, verifica-se que embora apresente uma granulometria adequada e valores de PRNT > 45%, atendendo aos padrões determinados pela legislação (BRASIL, 2006), não atende às exigências legais quanto aos parâmetros de PN e da soma dos teores de CaO e MgO, apresentando valores de PN < 67% e a soma dos teores de CaO e MgO < 38%, com altos teores (12 a 41%) de resíduos insolúveis. Assim, essas características são limitantes para o registro, no Mapa, das escórias como materiais corretivos da acidez do solo.

(BRASIL, 2007a), duas das escórias (B e C) avaliadas, por apresentarem teores de Si e Ca totais superiores a 10% (Tabela 2), podem ser classificadas como fertilizantes de escórias silicatadas, apresentando também características de corretivo da acidez do solo.

### Características com Potencial de Uso como Fertilizantes

Os nutrientes considerados essenciais ou benéficos para o crescimento e produção dos vegetais são classificados em: macronutrientes primários: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), expressos nas formas de nitrogênio (N), pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) e óxido de potássio ( $K_2O$ ); macronutrientes secundários: cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), expressos nas formas de cálcio (Ca) ou óxido de cálcio

**Tabela 2.** Teores de silício, cálcio, magnésio totais e PRNT das escórias de siderurgia analisadas.

Escórias	Si – total	Ca – total <sup>1/</sup>	Mg – total <sup>2/</sup>	PRNT
	----- % -----			
Escória A	6,70	21,78	3,51	65,23
Escória B	13,31	24,48	0,72	50,65
Escória C	15,54	23,66	2,15	54,21

<sup>1/</sup>Cálcio (Ca) = Óxido de Cálcio (CaO) x 0,715; <sup>2/</sup>Magnésio (Mg) = Óxido de Magnésio (MgO) x 0,603.

Embora os valores de PN sejam inferiores às garantias mínimas estabelecidas pela legislação (Tabela 1), os valores de PN (Poder de Neutralização em % de  $CaCO_3$  equivalente) variando de 50% a 66% e, o PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) variando de 50% a 65% indicam que as escórias apresentam potencial de correção da acidez dos solos. Por outro lado, os altos teores de resíduos insolúveis (RI = 12% a 41%) podem estar limitando a obtenção de valores mais elevados de PN e PRNT, respectivamente.

Por outro lado, considerando a Instrução Normativa nº 5, de 23 de Fevereiro de 2007

(CaO), magnésio (Mg) ou óxido de magnésio (MgO) e enxofre (S);

Elementos traços são os elementos que normalmente são presentes em concentrações relativamente baixas nos solos, plantas e águas naturais, os quais podem ou não serem essenciais para o crescimento e desenvolvimentos das plantas, animais e humanos. São também denominados microelementos, metais pesados e, quando atendem aos critérios de essencialidade à nutrição de plantas, micronutrientes (boro, cloro, cobalto, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel, silício e zinco). Os

elementos traços são muito estáveis na natureza, apresentando grande persistência, sendo, conseqüentemente, acumulados no solo e/ou em sistemas biológicos, a partir dos níveis inferiores da cadeia alimentar (BITTELL; MILLER, 1974; LAGERWERFF, 1977).

Os elementos traços apresentam preocupação porque são essenciais ou potencialmente tóxicos para os seres humanos, animais e plantas. Dentro desses critérios, podemos considerar: arsênio (As), boro (B), berílio (Be), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), flúor (F), ferro (Fe), mercúrio (Hg), iodo (I), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se), estanho (Sn), vanádio (V) e zinco (Zn). Entre os metais, Cd, Cu, Hg, Pb e Zn são considerados mais perigosos para o sistema terrestre (ELLIOT et al., 1986; DAVIES, 1997).

Assim, considerando também o potencial das escórias de siderurgia como fertilizante, fornecedor de macro e micronutrientes para

as plantas, uma caracterização quantitativa é apresentada na Tabela 3. Como mostrado na Tabela 3, as escórias apresentaram valores muito baixos de  $P_2O_5$  e  $K_2O$ , não se caracterizando como um material com potencial para o suprimento desses nutrientes para as plantas.

É importante mencionar que os fosfatos naturais comercializados no Brasil apresentam teores de  $P_2O_5$  total variando de 24% (fosfato de Araxá) a 26% (fosfato Itafós). A fonte produtora de potássio fertilizante no Brasil, localizada nas regiões de Taquari/Santa Rosa (SE), sob exploração da Companhia Vale, em que o principal mineral lavrado é a silvinita ( $KCl + NaCl$ ), apresenta teor médio de 10% de  $K_2O$  equivalente. Por outro lado, como as escórias apresentam teores relativamente altos de cálcio (22 a 25%) e, em menor quantidade, de magnésio (0,7 a 3,5%) (Tabela 1), podem suprir as necessidades nutricionais das plantas nesses nutrientes secundários.

**Tabela 3.** Teores de macronutrientes e elementos traços totais considerados como micronutrientes, nas escórias estudadas e da apatita de Araxá.

Nutrientes	Produtos			
	Escória A	Escória B	Escória C	Apatita de Araxá <sup>1/</sup>
Macronutrientes (%)				
$P_2O_5$ - total	0,98	0,13	0,65	24
$K_2O$ - total	0,08	1,35	0,71	-
Elementos traços - micronutrientes (%)				
Manganês - Mn	1,91	0,63	1,32	0,39
Ferro - Fe	19,45	2,49	12,10	2,96
Cobre - Cu	0,003	0,001	0,001	0,0072
Zinco - Zn	0,005	0,002	0,003	0,074
Boro - B	0,02	0,008	0,012	-
Cobalto - Co	0,002	0,001	0,001	-
Níquel - Ni	0,0024	0,0013	0,0018	-
Molibdênio - Mo	0,010	0,13	0,011	-
Silício - Si	6,70	13,31	15,54	-

<sup>1/</sup>Fonte: Amaral Sobrinho et al. (1992).

Fotos: Antônio Marcos Coelho



**Figura 2.** Escória de siderurgia contendo 10% de K<sub>2</sub>O total (esquerda) e Rocha Biotita Xisto contendo 5% de K<sub>2</sub>O total (direita).

Outro aspecto importante que deve ser considerado na avaliação das escórias de siderurgia é sua importância como fonte de micronutrientes (Tabela 3). Como pode ser observado na Tabela 3, as escórias apresentaram baixos teores dos micronutrientes, considerados como essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A aplicação no solo de 1,0 t/ha da escória A forneceria por hectare: 0,05 kg de Zn; 194 kg de Fe; 0,03 kg de Cu; 19 kg de Mn; 0,20 kg de B; 0,02 kg de Co e Ni e 0,10 kg de Mo. Assim, exceto para o Fe e o Mn, as quantidades dos demais elementos são muito inferiores às quantidades normalmente recomendadas para a maioria das culturas em solos deficientes nesses micronutrientes.

Considerando também as escórias com fontes potenciais de elementos traços perigosos ao sistema solo-planta, questionamentos podem ser feitos quanto à presença desses nas escórias avaliadas. A Tabela 4 apresenta os teores de outros elementos traços, considerados não essenciais às plantas, comparados com uma escória da Bermix, comercializada no Brasil.

Verifica-se pelos dados da Tabela 4 que exceto para os elementos cromo (Cr) e vanádio (V), as quantidades dos demais elementos traços contidos nas escórias são relativamente baixos, principalmente para o cádmio (Cd), o mercúrio (Hg) e o chumbo (Pb), considerados mais perigosos para o sistema terrestre.

Visando uma estimativa das quantidades de elementos traços (metais pesados) incorporados no solo, com aplicação da escória de aço, em diferentes doses, foi elaborada a Tabela 5. Verifica-se que, exceto para os elementos Fe e Mn, as quantidades de elementos traços adicionadas ao solo são pequenas, mesmo com a aplicação de uma alta dose (4,0 t/ha), não se constituindo em preocupação de contaminação.

**Tabela 4.** Teores de elementos traços, considerados não essenciais às plantas (metais pesados) nas escórias avaliadas, comparados com a escória da Bermix do Brasil.

Elementos traços	Produtos			
	Escória A	Escória B	Escória C	Escória Bermix <sup>1/</sup>
	----- mg/kg -----			
Arsênio - As	4,08	0,78	2,16	0,25
Bário - Ba	90	730	390	-
Cádmio - Cd	<LQ <sup>2/</sup>	<LQ	<LQ	0,048
Chumbo - Pb	<LQ	<LQ	<LQ	0,094
Cromo - Cr	643,75	41,58	41,58	0,528
Selênio - Se	0,89	2,33	1,64	<0,01
Mercúrio - Hg	0,29	0,32	0,19	<0,045
Prata - Ag	<LQ	<LQ	<LQ	-
Vanádio - V	404,00	29,10	210,40	-
Antimônio - Sb	<LQ	<LQ	<LQ	-

<sup>1/</sup>Fonte: Souza et al. (2002) <sup>2/</sup>Valores abaixo dos limites de quantificação: Cd – 0,88; Pb – 4,81; Ag - 0,006; Sb – 0,122.

Os teores de elementos traços no solo que podem ser considerados perigosos para as plantas e, posteriormente, transmitidos na cadeia alimentar, ainda não estão bem definidos, e uma série de estudos a respeito vêm sendo conduzidos em diversos países. Rurves (1976), citado por Braile e Cavalcanti (1979), desenvolveu uma série de experimentos, durante vários anos, envolvendo aumento nas concentrações dos elementos boro, cobre, cádmio e zinco em solos, visando determinar os seus níveis fitotóxicos para a aveia, o cravo, o rabanete e a alface. Descobriu que um efeito fitotóxico nessas plantas é possível, quando são encontrados teores no solo superiores a 3 mg de boro/dm<sup>3</sup> de solo, extraídos em água quente, 30 mg de cobre/dm<sup>3</sup> de solo, extraídos em EDTA,

200 mg de zinco/dm<sup>3</sup> de solo, extraídos em ácido acético e 20 mg de cádmio/dm<sup>3</sup> de solo, extraídos em ácido acético.

A grande capacidade de adsorção apresentada pelo solo faz com que ele se torne o local de destino dos rejeitos líquidos e sólidos. Porém, estudos caso a caso devem ser conduzidos, pois, se sua capacidade de adsorção for ultrapassada, pode ocorrer a degradação da qualidade do solo (CETESB, 1984).



**Tabela 5.** Quantidades de elementos traços adicionados no solo com a aplicação de doses da escória A.

Elementos traços	Concentração na escória A (mg/kg)	Quantidades aplicadas no solo (kg/ha)		
		1,0 t/ha	2,0 t/ha	4,0 t/ha
<b>Elementos essenciais - micronutrientes</b>				
Manganês - Mn	19.100	19,10	38,20	76,40
Ferro - Fe	194.500	194,50	389	778
Cobre - Cu	30	0,03	0,06	0,12
Zinco - Zn	50	0,05	0,10	0,20
Boro - B	200	0,20	0,40	0,80
Cobalto - Co	20	0,02	0,04	0,16
Níquel - Ni	24	0,02	0,05	0,096
Molibdênio - Mo	100	0,10	0,20	0,40
<b>Elementos não essenciais</b>				
Arsênio - As	4,08	0,004	0,008	0,016
Bário - Ba	90	0,09	0,18	0,36
Cromo - Cr	644	0,644	1,28	2,58
Selênio - Se	0,89	0,00089	0,0018	0,0036
Mercúrio - Hg	0,29	0,00029	0,00058	0,0012
Vanádio - V	404	0,404	0,808	1,62

Na Tabela 6, são apresentados os teores de elementos traços (metais pesados) na escórias avaliadas, comparados aos teores encontrados em calcários de diversas origens e de uma escória de aciaria.

Embora os valores de PN sejam inferiores às garantias mínimas estabelecidas pela legislação, os valores de PN variando de 50% a 65% e o PRNT variando de 50% a 65%, indicam que as escórias apresentam potencial de correção da acidez dos solos.

**Tabela 6.** Teores de elementos traços (metais pesados) na escórias avaliadas, comparados aos de calcários e de uma escória de aciaria.

Materiais	Ni	Cd	Pb	Mn	Cu	Cr
	----- mg/kg -----					
Calcário Unai <sup>1/</sup>	16	3,2	23	91	4,8	0,4
Calcário Pote <sup>1/</sup>	19	2,6	23	149	11,0	0,3
Calcário Coromandel <sup>1/</sup>	17	3,1	28	188	4,8	0,6
Calcário Formiga <sup>1/</sup>	11	2,3	25	221	2,5	0,3
Calcário Arcos <sup>1/</sup>	8	2,4	27	53	2,6	0,3
Escória Recmix <sup>2/</sup>	1	0,05	0,09	5	0,6	0,5
Escoria A	24	< 0,88	< 4,81	19.100	30	644
Escória B	13	<0,88	< 4,81	6.300	10	41,5
Escória C	18	<0,88	< 4,81	13.200	10	41,5

Fonte: <sup>1/</sup>Souza et al. (2002); <sup>2/</sup> Korndörfer e Pereira (2002).

## Considerações

Após as considerações efetuadas, e tendo em vista os resultados analíticos das amostras de escórias de siderurgia utilizadas neste trabalho, conclui-se que:

As escórias apresentam granulometrias adequadas e valores de PRNT > 45%, atendendo aos padrões determinados pela legislação para outros tipos de corretivos de solo.

Entretanto, não atendem às exigências legais quanto aos parâmetros de PN (< 67%) e da soma dos teores de CaO e MgO (< 38%). Assim, essas características são limitantes para o registro, no Mapa, das escórias como materiais corretivos da acidez do solo.

As escórias apresentam valores muito baixos de macronutrientes primários ( $P_2O_5$  e  $K_2O$ ), não se caracterizando como um material com potencial para o suprimento desses nutrientes para as plantas.

As escórias apresentam teores relativamente altos de cálcio (22 a 25%) e menores teores de magnésio (0,7 a 3,5%), podendo suprir as necessidades nutricionais das plantas nesses nutrientes secundários.

Duas das escórias avaliadas (B e C) por apresentarem teores de silício e cálcio totais superiores a 10% podem ser classificadas como fertilizantes de escórias silicatadas.

As escórias apresentam, exceto para o manganês e ferro, baixas concentrações de elementos traços, micronutrientes e outros considerados não essenciais às plantas.

As escórias apresentam baixas concentrações de elementos traços, principalmente de cádmio, cobre, mercúrio, chumbo e zinco, considerados os mais perigosos para o sistema terrestre.

## Referências

- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 271-276, 1992.
- BELLINGIERI, P. A. **Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas**. 1983. 99 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- BITTELL, J. E.; MILHER, J. R. Lead, cadmium and calcium selectivity coefficients on a montmorillonite, illite, and kaolinite. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 3, n. 3, p. 250-253, 1974.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 jul. 2006. Seção 1, p. 32. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em: 26 abr. 2011.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 23 de fevereiro de 2007. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 01 mar. 2007a. Seção 1, p. 10. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em: 26 abr. 2011.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 28, de 27 de julho de 2007. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 jul. 2007b. Seção 1, p. 11. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em: 26 abr. 2011.
- CAMARGO, A. P. **Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo**. 1972. 59 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Codificação dos resíduos industriais**. São Paulo, 1984. (Guia prático, n. 1).
- DAVIES, B. E. Deficiencies and toxicities of trace elements and micronutrients in tropical soils: limitations of knowledge and future research needs. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 16, n. 1, p. 75-83, 1997.
- ELLIOT, H. A.; LIBERATI, M. R.; HUANG, C. P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 15, n. 3, p. 214-219, 1986.
- KONDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. **Avaliação agrônômica do agrosilício**. Uberlândia: UFU, 2002. 17p. Relatório técnico.
- LAGERWERFF, J. V. Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants. In: DINAUER, R.C. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: SSSA, 1977. p. 593-628.
- RIPA - REDE DE INOVAÇÃO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA PARA O AGRONEGÓCIO. **Cenários do ambiente de atuação das instituições públicas e privadas de PD&I para o agronegócio e o desenvolvimento rural sustentável: horizonte 2023**. São Carlos, SP 2008. 98 p.
- SOUZA, M. C. de; SANTOS, J. R. dos; SANTOS, R. J. dos. **Caracterização da escória**

da **Bermix do Brasil para uso agrícola**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 17 p. Relatório técnico.

SOUZA, G. M. de. **Estudo experimental de escórias de aciaria para fins de caracterização tecnológica como material de lastro ferroviário em vias sinalizadas**. 2007. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

### Comunicado Técnico, 207

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Milho e Sorgo**  
**Endereço:** Rod. MG 424 km 45 Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG  
**Fone:** (31) 3027 1100  
**Fax:** (31) 3027 1188  
**E-mail:** [cnpms.sac@embrapa.br](mailto:cnpms.sac@embrapa.br)  
**1ª edição**  
**1ª impressão (2013):** on line

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento



### Comitê de publicações

**Presidente:** Presidente: Sidney Netto Parentoni.  
**Secretário-Executivo:** *Elena Charlotte Landau.*  
**Membros:** *Dagma Dionisia da Silva, Paulo Eduardo de Aquino Ribeiro, Monica Matoso Campanha, Maria Marta Pastina, Rosângela Lacerda de Castro e Antonio Claudio da Silva Barros.*

### Expediente

**Revisão de texto:** *Antonio Claudio da Silva Barros.*  
**Normalização bibliográfica:** *Rosângela Lacerda de Castro.*  
**Tratamento das ilustrações:** *Tânia Mara A. Barbosa.*  
**Edição eletrônica:** *Tânia Mara A. Barbosa.*