

Caracterização química de resíduos da indústria metalúrgica para fins de uso agrícola

Chemical characterization of residues of the metallurgic industry for agricultural use

Rafael Montanari¹
José Marques Júnior²
Milton César Costa Campos³
Zigomar Menezes de Souza⁴

Resumo

Os órgãos de licenciamento ambiental têm se preocupado de modo especial com os impactos negativos da aplicação de resíduos industriais no meio ambiente. Dentro desse contexto, realizou-se este trabalho, com o objetivo de se estudar os produtos: escória do forno cubilô (EFC), e resíduos de ciclone do sistema de areia (CSA) e do ciclone dos desmoldadores (CD), originados de uma indústria metalúrgica, quanto a sua viabilidade de utilização para fins agrícolas. Esse estudo foi motivado pela preocupação com a possibilidade de contaminação do meio ambiente e também pelo elevado requisito de área para destino final desse resíduo. Os teores de elementos possivelmente tóxicos estão abaixo dos limites estabelecidos pela CETESB, possibilitando, assim, o uso agrícola desses resíduos. Dentre os materiais estudados, apenas o EFC apresentou potencial como corretivo de acidez dos solos. Os três materiais analisados apresentaram potencial de atuar como fontes de micronutrientes às plantas.

Palavras-chave: poluição ambiental; micronutrientes; metais pesados.

-
- 1 M.Sc.; Engenheiro Agrônomo; Doutorando em Agronomia na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP; Bolsista CAPES; E-mail: rafamontana@hotmail.com
 - 2 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Prof. no Departamento de Solos e Adubos na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP; E-mail: marques@fcav.unesp.br
 - 3 M.Sc.; Engenheiro Agrônomo; Doutorando em Agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Prof. da Universidade Federal do Amazonas; E-mail: mcesar@ufam.edu.br
 - 4 Ph.D.; Engenheiro Agrônomo; Prof. do Departamento de Água e Solo da Universidade Estadual de Campinas; E-mail: zigomarms@agr.unicamp.br

Recebido para publicação em 03/04/07 e aceito em 20/11/07

Ambiência Guarapuava, PR v.4 n.1 p.79-88 Jan./Abr. 2008 ISSN 1808 - 0251

Abstract

The environmental licensing agencies have been especially concerned with the negative impacts of the application of industrial residues in the environment. In this context, research was carried on to study the viability of the following metallurgy products for agricultural purposes: scum of the Cubilot oven (SCO), cyclone residues of the sand system (CSS) and of the un-molder cyclone. This study was motivated by the concern with the possibility of contamination of the environment and also because of the great amount of area needed for the final discharging of these residues. The contents of possibly toxic elements are below the limits allowed by the CETESB [Company of Environmental Sanitation Technology - Brazil], thus making possible the agricultural use of these residues. Among the studied materials, only the SCO performed well as a soil acidity corrective. The three analyzed materials presented potentials to act as sources of micronutrients for the plants.

Key words: environment pollution; micronutrients; heavy metals.

Introdução

No Brasil, os processos de fundição são originados por dois diferentes métodos: siderúrgico e metalúrgico. A atividade de siderurgia é um conjunto integrado de processos siderúrgicos, tendo como primeira etapa, a obtenção do ferro bruto e impuro “ferro-gusa”, por meio da redução dos minérios de ferro, gerando como resíduo a escória de alto-forno. É o ferro bruto a matéria-prima de diversos tipos de aço e dos ferros fundidos, os quais formam os principais pilares de sustentação da moderna tecnologia industrial (PRADO et al., 2001). Já no processo de metalurgia, em que a junção de sucatas metálicas mais o gusa formam ligas metálicas que são a base da produção de peças para a indústria automobilística, são originados a escória do forno cubilô e os resíduos do ciclone do sistema de areia e do ciclone dos desmoldadores (FIRME, 1986).

Os órgãos de licenciamento ambiental têm se preocupado de modo especial com os impactos negativos da aplicação de resíduos industriais no meio ambiente (PRADO e NATALE, 2004). Produtos residuais da limpeza de altos fornos e escórias são produzidos em grande quantidade por empresas do setor, sendo que boa parte deles é destinada a aterros sanitários que, via de regra, representam uma preocupação, devido aos riscos de acidentes e contaminação ambiental (SCHULIN et al. 2007).

Os materiais adicionados ao alto forno das metalurgias são compostos de ferro gusa, carvão mineral (coque) e carbonato de cálcio e magnésio (CAMPUS FILHO, 1981). Nos resíduos, portanto, são esperados produtos com alguma quantidade dos cátions cálcio e magnésio, além de íons afins ao ferro, esses últimos presentes por associação geoquímica (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004). Dentre esses íons pode ser

mencionado o boro, cobre, manganês e zinco, que podem ser considerados benéficos e essenciais à nutrição mineral de plantas, e também outros, que são considerados tóxicos às plantas e potenciais contaminadores ambientais, como o chumbo, cromo, cádmio e estrôncio (PRADO e FERNANDES, 2000a).

Alguns trabalhos têm mostrado haver poucas restrições ao uso agrícola de escórias (LOUZADA, 1987; PRADO e KORNDORFER, 2003; PRADO e NATALE, 2004). PIAU (1991), pois, por exemplo, após incubar, durante 90 dias três tipos de escória de siderurgia (alto-forno, aciária e a pré-cal) em diversas granulometrias, não observaram acréscimo de metais pesados no solo.

A Empresa Ítalo Lanfredi S.A. Indústrias Mecânicas gera produtos residuais nos processos de fabricação de peças para indústria automobilística, que normalmente são dispostos em aterros industriais. Anualmente são depositados nesses aterros cerca de 200 t. de escória do forno cubilô, 200 t. de produtos advindos do ciclone do sistema de areia e mais 200 t. oriundas do ciclone dos desmoldadores.

Em um amplo levantamento do uso de fertilizantes, corretivos e resíduos industriais e o potencial de poluição ambiental desses produtos com metais pesados, Malavolta (1994) conclui que seu uso, nas dosagens e modos recomendados, não eleva os teores desses elementos no solo nem na planta, a níveis indesejáveis em curto, médio e longo prazo. O autor afirma ainda que alguns desses produtos contribuem eficientemente para a produção de alimentos, fibras e energia renovável.

O aproveitamento dos resíduos da indústria metalúrgica é ainda pouco realizado, principalmente devido à carência de pesquisas sobre as possibilidades de utilização agrícola desses produtos, visto que podem ser uma boa fonte de micronutrientes, que são cada vez mais importantes para a produtividade das culturas. No Brasil as fontes disponíveis de micronutrientes são basicamente, o óxido silicatados conhecido como “fritas”, os sais e a escória de siderurgia (PRADO e FERNANDES, 2001a).

De acordo com Amaral et al. (1994), o uso de resíduos de siderurgias e metalurgias na agricultura brasileira ainda é restrito, embora tenha um potencial viável agronomicamente para o aproveitamento de parte desses subprodutos que nas últimas décadas, vêm se acumulando com o crescimento do parque de siderurgias e metalurgias no país. Outro aspecto que o autor levanta é que na literatura científica nacional são poucos os trabalhos que tratam do uso desses resíduos na agricultura.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi promover a caracterização química de subprodutos da indústria metalúrgica: escória do forno cubilô, e resíduos do ciclone do sistema de areia e do ciclone dos desmoldadores, com vistas à avaliação de sua viabilidade de utilização como corretivos da acidez do solo e fornecedores de micronutrientes às plantas.

Materiais e Métodos

Os resíduos utilizados foram provenientes da empresa Ítalo Lanfredi S.A. Indústrias Mecânicas, localizada

no município de Monte Alto (SP). O trabalho constou de análises laboratoriais para a determinação das propriedades químicas dos resíduos da escória do forno cubilô (EFC), que apresenta granulometria grosseira (50 mm), dos resíduos do ciclone do sistema de areia (CSA) e do ciclone dos desmoldadores (CD), cuja granulometria é muito fina (0,002 mm). As análises químicas, que foram realizadas em triplicatas e determinaram os teores de carbono orgânico, cátions trocáveis dos resíduos (cálcio, magnésio e potássio trocáveis) e do fósforo disponível. O pH foi analisado potenciométricamente, utilizando-se relação 1:2,5 de resíduo: CaCl_2 0,01mol/L.

Os micronutrientes foram analisados em extrato de DTPA (ácido dietilenotriaminopentaacético), exceto o B, extraído pelo método que usa a solução de cloreto de bário segundo a EMBRAPA (1997). A análise química dos íons metálicos foi realizada pelo processo do ataque ácido para obtenção dos teores totais, utilizando 25 ml de ácidos nítrico (HNO_3) e perclórico (HClO_4) concentrados, na proporção 4:1 (volume), em erlemeyers de 125 ml e chapa quente, com aumento gradual da temperatura. Foram usados 2 g de resíduos, triturados em almofariz de ágata e tempo de contato prévio de 12 horas. Após secagem, adicionaram-se 3 ml de ácido clorídrico (HCl) concentrado, transferindo-se para balão de 25 ml com água destilada e filtração com papel-filtro quantitativo lento. Como não houve dissolução completa, o resíduo foi recolhido, secado e armazenado para posterior análise. Foram determinados

os elementos por espectrofotometria de absorção atômica.

O poder relativo de neutralização total (PRNT) foi estimado a partir dos valores de poder de neutralização (PN) e reatividade (RE), segundo a equação $\text{PRNT (\%)} = \text{PN} \times (\text{RE}/100)$, segundo RAIJ et al. (1987). O PN foi calculado a partir dos teores de CaO e MgO do produto, pela expressão $\% \text{E CaCO}_3 = \% \text{CaO} \times 1,79 + \% \text{MgO} \times 2,48$.

Os óxidos totais (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3) foram obtidos pelo procedimento do ataque sulfúrico, no qual 2 g de cada resíduo foram solubilizados em 50 ml de H_2SO_4 1:1 (peso específico 1,47 g), pela ação da fervura sobre o refluxo, durante uma hora, com posterior resfriamento, diluições e filtrações, segundo EMBRAPA (1997).

Resultados e Discussão

As características químicas, reatividade e poder de neutralização dos materiais estudados são indicados na tabela 1. A escória do forno cubilô (EFC) apresentou as melhores características de correção de acidez do solo e poder de neutralização (PN) e mostra 78,8 % de teor de neutralizantes, porém a reatividade das partículas de diferentes tamanhos (poder de neutralização total – PRNT) engloba um valor relativamente baixo, de apenas 36,97 %, indicando que o material EFC possui efeito corretivo, mas demanda um prazo maior, quando adicionado no solo, para combater sua acidez, corroborando com os resultados obtidos por Prado e Fernandes, (2000b) Prado e Korndorfer (2003) e Prado e Natale (2004). O valor de PN mínimo

Tabela 1. Característica química, reatividade e poder de neutralização da escória do forno cubilô (EFC), resíduo do ciclone dos desmoldadores (CD) e resíduo do ciclone sistema de areia (CSA)

Resíduos	Análise química		Reatividade	Poder Neutralização	
	CaO	MgO		PN	PRNT
	-----g.kg ⁻¹ -----		-----%-----		
EFC	364,90	54,40	46,91	78,81	36,97
CD	9,30	8,70	99,45	3,82	3,80
CSA	10,30	16,10	99,03	5,84	5,78

Nota: CaO = óxido de cálcio; MgO = óxido de magnésio; PN= Poder de neutralização calculado; PRNT= Poder relativo de neutralização total.

de escórias exigido pelo Ministério da Agricultura para o registro como corretivo da acidez é de 60%, e a soma de CaO e MgO deve chegar a 30% (RAIJ et al., 1996). Como a EFC apresenta 78,81% de PN e a soma dos óxidos atinge o valor de 49,93%, este material possui potencial para ser credenciado como corretivo. Essa característica corretiva se deve às quantidades relativas de calcário dolomítico adicionadas no forno cubilô, para fabricação do ferro fundido.

A análise química dos teores de CaO e MgO demonstram que os maiores valores foram encontrados para a EFC (364,90 e 54,40 g.kg⁻¹), sendo superior aos resultados encontrados para os resíduos de CD (9,30 e 8,70 g.kg⁻¹) e CSA (10,30 e 16,10 g.kg⁻¹). Estes resultados foram são semelhantes aos encontrados por Prado e Fernandes (2001b).

Quando se trata da reatividade (RE), o EFC apresentou-se menor (46,91%) que a escória de siderurgia (79,40%), já os resíduos de CD e CSA têm maiores reatividades (99,45 e 99,03%), o inverso se dá para o poder real de neutralização total (PRNT), em que o PRNT da EFC (36,97%) é superior quando comparado com a escória de siderurgia (41,00%) e inferior para os resíduos CD e CSA (3,80

e 5,78%) respectivamente, o poder de neutralização (PN) apresentou resultados com a mesma tendência, corroborando com os resultados obtidos por Prado et al. (2003).

Na tabela 2 são contemplados os resultados das análises químicas dos materiais estudados, os quais foram comparados com os níveis normalmente encontrados nos solos do Estado de São Paulo (RAIJ et al., 1996), o que é muito interessante para efeito de ordem de grandeza dos teores de elementos disponíveis nos materiais estudados, isto é, com potencial de serem assimilados pelas plantas. Desta forma, a disponibilidade destes íons nos materiais representaram quantidades adicionais de nutrientes que podem ser acrescentados aos solos.

Os materiais CD e CSA não possuem efeito satisfatório como corretivos da acidez do solo, já que o Poder de Neutralização do resíduo CD é de 3,82% e, do resíduo CSA, de 5,84% (Tabela 1). O maior potencial desses dois produtos está relacionado com a reserva de micronutrientes de acordo com as conclusões de Prado e Fernandes (2001a) (Tabela 3).

Os teores de cálcio e magnésio trocáveis nos materiais apresentam-se no

Tabela 2. Resultados da análise química da escória do forno cubilô (EFC), resíduo do ciclone dos desmoldadores (CD) e resíduo do ciclone sistema de areia (CSA)

Resíduos	pH CaCl ₂	MO g.dm ⁻³	P resina mg.dm ⁻³	K	Ca mmol _c .dm ⁻³	Mg
CD	7,60	18,00	9,00	1,90	79,00	18,00
CSA	7,80	22,00	14,00	2,00	165,00	35,00
EFC	8,00	12,00	5,00	4,50	3200,00	105,00

Tabela 3. Análise química de micronutrientes da escória do forno cubilô (EFC), resíduo do ciclone dos desmoldadores (CD) e resíduo do ciclone sistema de areia (CSA)

Resíduos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg.dm ⁻³ -----				
CD	0,84	0,10	233,00	10,50	1,10
CSA	5,64	2,20	47,00	4,00	1,70
EFC	0,09	0,50	38,00	4,20	0,40

nível alto (> 7 mmol_c.dm⁻³, > 8 mmol_c.dm⁻³, respectivamente). O pH, medido através do CaCl₂, apresentou-se alto (> 7), indicando que os materiais estão enquadrados na faixa alcalina.

Foram observados teores moderados de potássio (K) (1,60 – 3,00 mmol_c.dm⁻³) nos resíduos CD e no CSA, e teores baixos (0,80 – 1,50 mmol_c.dm⁻³) na EFC; portanto, os materiais estudados não apresentaram teores satisfatórios de K para uso adicional ao solo. Para o P, levando-se em consideração a necessidade de extração por essências florestais, cuja finalidade era o uso na composição de substratos para mudas de eucalipto, concluiu-se que os níveis se apresentam altos (9,00 – 16,00 mg.dm⁻³) para os resíduos CD e CSA e baixos (3,00 – 5,00 mg.dm⁻³) para EFC.

O valor da capacidade de troca catiônica da EFC expressou quantidade razoável de cargas negativas nesse material, que estão próximas ou

superiores em relação às classes dos Latossolos e Argissolos. Estas cargas adsorvem as bases (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) que estão saturadas em mais de 90 % neste complexo (valor V%), e podem ser trocadas por outros íons; portanto, ao serem adicionados ao solo e quando associados à textura argilosa, permitem um comportamento coloidal mais efetivo. Neste caso os processos de superfície (sorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação, quelatação e oxirredução) interferem nas reações (OLIVEIRA e MATTIAZZO, 2001).

A tabela 3 indica os resultados das análises químicas de micronutrientes dos materiais investigados. Para o microelemento B, os teores disponíveis (RAIJ et al., 1997) apresentaram-se altos para os resíduos CD e CSA e baixos para a EFC. Ressalta-se o valor elevado desse nutriente para o resíduo CSA (5,64 mg.dm⁻³). Valores são considerados altos no solo para esse elemento, em níveis

acima de $0,60 \text{ mg.dm}^{-3}$. Na EFC, o teor disponível desse elemento apresentou-se baixo ($0,09 \text{ mg.dm}^{-3}$).

Os teores de Cu foram altos para o resíduo CSA ($2,20 \text{ mg.dm}^{-3}$), moderados para EFC ($0,50 \text{ mg.dm}^{-3}$) e baixos para o resíduo CD ($0,10 \text{ mg.dm}^{-3}$). Salienta-se que os valores acima de $0,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ de Cu no solo são considerados altos. Os teores de Fe foram extremamente elevados: 38 mg.dm^{-3} na EFC, $47,00 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $233,00 \text{ mg.dm}^{-3}$ no resíduo CD. Valores considerados altos em solos são maiores que $12,00 \text{ mg.dm}^{-3}$. Os teores de Mn para os materiais CSA e EFC, quando comparados àqueles disponíveis nos solos, são considerados moderados e o valor $10,50 \text{ mg.dm}^{-3}$ no resíduo CD é considerado alto. Teores de Zn foram superiores para o resíduo CD ($1,10 \text{ g.kg}^{-1}$) e CSA ($1,70 \text{ g.kg}^{-1}$) e inferiores para EFC ($0,40 \text{ g.kg}^{-1}$), quando comparados com a escória de siderurgia ($0,90 \text{ g.kg}^{-1}$).

Os três diferentes tipos de resíduo apresentaram teores relativamente altos de sílica e baixos de óxidos de ferro e alumínio (Tabela 4), quando comparados com o trabalho de Prado et al., (2001). Segundo Amaral Sobrinho et al. (1993) o silício pode aumentar a disponibilidade de fósforo no solo.

Por não existir na literatura parâmetro de comparação entre esses materiais, comparou-se com os valores de concentrações limites de metais encontrados em solos de áreas industrializadas conforme estabelecido pela CETESB, (2005). Os teores de Zn, Cu, Cd, Ni e Pb (Tabela 5) estão abaixo dos níveis críticos para os diferentes tipos de resíduo estudados por pesquisadores do CETESB (2005). Os teores de Zn encontrados nos três diferentes tipos de resíduo (CD = $28,57 \text{ mg.kg}^{-1}$, CSA = $48,95 \text{ mg.kg}^{-1}$ e EFC = $2,44 \text{ g.kg}^{-1}$) são inferiores aos valores dos níveis críticos para solos para áreas industriais (2.000 mg.kg^{-1}). Para o Cu, ocorre o mesmo (CD = $40,75 \text{ mg.kg}^{-1}$, CSA = $42,23 \text{ mg.kg}^{-1}$ e EFC = $5,19 \text{ mg.kg}^{-1}$) sendo o valor igual a 600 mg.kg^{-1} ; para o Cd, o valor considerado aceitável é de 20 mg.kg^{-1} , estando os valores dos resíduos abaixo (CD = $0,51 \text{ mg.kg}^{-1}$, CSA = $0,63 \text{ mg.kg}^{-1}$ e EFC = $1,34 \text{ mg.kg}^{-1}$), para Ni, os teores dos resíduos são inferiores ao valor considerado limite, que é 130 mg.kg^{-1} , sendo os dos resíduos (CD = $21,88 \text{ mg.kg}^{-1}$, CSA = $29,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ e EFC = $38,28 \text{ mg.kg}^{-1}$). Os valores dos resíduos para o Pb, foram inferiores aos valores orientadores de solo para áreas

Tabela 4. Teores dos elementos totais solubilizados pelo ataque sulfúrico da escória do forno cubilô (EFC), resíduo do ciclone dos desmoldadores (CD) e resíduo do ciclone sistema de areia (CSA)

Resíduo	Ataque Sulfúrico H_2SO_4 (1:1)		
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
	-----%-----		
CD	25,60	9,00	5,71
CSA	15,70	7,50	5,20
EFC	14,60	4,00	2,23

Tabela 5. Análise da digestão de metais pesados da escória do forno cubilô (EFC), resíduo do ciclone dos desmoldadores (CD) e resíduo do ciclone sistema de areia (CSA)

Resíduos	Zn	Cu	Cr	Mn	Cd	Ni	Pb	Fe
	-----mg.kg ⁻¹ -----							
CD	28,57	40,75	28,86	270,40	0,51	21,88	9,61	26382,00
CSA	48,85	42,23	41,80	137,20	0,63	29,15	12,75	28398,00
EFC	2,44	5,19	272,28	13160,00	1,34	38,28	8,53	10666,00

industriais (900 mg.kg⁻¹), sendo eles (CD = 9,61 mg.kg⁻¹, CSA = 12,75 e EFC = 8,53 mg.kg⁻¹).

Conclusões

Dentre os materiais estudados, apenas o EFC tem potencial como corretivo de acidez dos solos;

Os três materiais analisados apresentaram-se como fonte potencial de micronutrientes para as plantas;

Os teores de Zn, Cu, Cr, Mn, Cd, Ni, Pb e Fe estão abaixo dos limites permitidos pela CETESB (2005), entretanto o uso desses resíduos carece de estudos experimentais, para que possam ser utilizados.

Referências

AMARAL SOBRINHO, N.M.B; COSTA, L.M.; DIAS, A.; BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.17, n.3, p.299-304, 1993.

AMARAL, A.S.; DEFELIPO, B.V.; COSTA, L.M.; FONTES, M.P.F. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos de acidez e absorção por alface em dois solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.4, p.1351-1358, 1994.

CAMPUS FILHO, M.P. *Processos siderúrgicos*. In: _____. Introdução à metalurgia extrativa e siderurgia. Campinas: Fundação de desenvolvimento da Unicamp, 1981. p.122-53.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.39, 12, p.1213-1218. 2004

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. *Decisão de Diretoria N° 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005*. Anexo único. Valores Orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.org.br>>. Acesso em: 14 nov. 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FIRME, D.J. *Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia com fosfato natural*. Viçosa, 1986. 54p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

LOUZADA, P.T.C. *Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo*. 1987. Viçosa: 52p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificações e fatos*. Piracicaba: ProduQuímica, 1. ed. 1994. 153p.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo Distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.58, n.4, p.807-812, 2001.

PIAU, W.C. *Viabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizante*. Piracicaba: 1991. 99p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear da Agricultura) – Centro de Nuclear na Energia na Agricultura, Universidade de São Paulo.

PRADO, R. de M.; CORRÊA, M. C. de M.; CINTRA, A. C. O.; NATALE, W. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. *Revista Brasileira Fruticultura*. Jaboticabal, v. 25, p. 160-163, 2003.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. *Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudo na cultura da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: Funep, 2001. 67p.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito da escória de siderurgia e do calcário na disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, p.1199-1204. 2001a.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Areia Quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. *STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos*, Piracicaba, v.18, n.4, p.36-39, 2000a.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.57, p.739-744, 2000b.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, p.201-209, 2001b.

PRADO, R.M.; KORNDORFER, G.H. Efeitos da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays L*) cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. *Científica*, Jaboticabal, v.31, n.1, p.9-17, 2003.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.26, n.1, p.140-144, 2004.

RAIJ, B. VAN.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. *Análise química de solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargill, 1.ed.1987.170p.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) *Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 245 - 255 Boletim Técnico 100.

SCHULIN, R.; CURCHOD, F.; MONDESHKA, M.; DASKALOVA, A.; KELLER, A. Heavy metal contamination along a soil transect in the vicinity of the iron smelter of Kremikovtzi (Bulgaria). *Geoderma*, Amsterdam, v.140, p.52–61, 2007.

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*. EPA/832-B-93-005. Aguide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule. Fed. Reg. 1995.143p.