

Modificação de características químicas em solos de Mato Grosso do Sul incubados com escórias de siderurgia



ISSN 1679-0456

Dezembro, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agropecuária Oeste
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 60

Modificação de características químicas em solos de Mato Grosso do Sul incubados com escórias de siderurgia

Oscar Fontão de Lima Filho

Embrapa Agropecuária Oeste
Dourados, MS
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agropecuária Oeste

BR 163, km 253,6 - Trecho Dourados-Caarapó

79804-970 Dourados, MS

Caixa Postal 449

Fone: (67) 3416-9700

Fax: (67) 3416-9721

www.cpao.embrapa.br

E-mail: sac@cpao.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Guilherme Lafourcade Asmus*

Secretário-Executivo: *Alexandre Dinnys Roese*

Membros: *Clarice Zanoni Fontes, Claudio Lazzarotto, Éder Comunello,*

Michely Tomazi, Milton Parron Padovan, Rodrigo Arroyo Garcia, Silvia Mara Belloni

e Walder Antonio Gomes de Albuquerque Nunes

Membros suplentes: *Alceu Richetti e Oscar Fontão de Lima Filho*

Supervisão editorial: *Eliete do Nascimento Ferreira*

Revisão de texto: *Eliete do Nascimento Ferreira*

Normalização bibliográfica: *Eli de Lourdes Vasconcelos*

Editoração eletrônica: *Eliete do Nascimento Ferreira*

Ilustração da capa: *Nilton Pires de Araújo (aplicação manual de escória de siderurgia no solo)*

1ª edição

Versão eletrônica (2011)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei Nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agropecuária Oeste

Lima Filho, Oscar Fontão de

Modificação de características químicas em solos de Mato Grosso do Sul incubados com escórias de siderurgia / Oscar Fontão de Lima Filho. – Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011.

35 p. ; 21 cm. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0456 ; 60).

1. Fertilidade do solo - Escória de siderurgia - Brasil - Mato Grosso do Sul. 2. Escória de siderurgia - Fertilidade do solo - Brasil - Mato Grosso do Sul. I. Embrapa Agropecuária Oeste. II. Título. III. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	11
Resultados e Discussão	13
Conclusões	30
Agradecimentos	30
Referências	31

Modificação de características químicas em solos de Mato Grosso do Sul incubados com escórias de siderurgia

Oscar Fontão de Lima Filho¹

Resumo

As escórias de aciaria (LD) e de alto-forno (AF), coprodutos da indústria siderúrgica, podem ser utilizadas como corretivos do solo e fontes de silício. Com o objetivo de avaliar o efeito de doses crescentes de duas escórias (LD e AF), sobre as características químicas de três solos de MS, foi realizado um ensaio de incubação com e sem calagem prévia. Foram utilizadas amostras da camada de 0 – 20 cm de três solos de Mato Grosso do Sul (MS) - Latossolo Vermelho distroférico álico (argiloso), LVd_f; Latossolo Vermelho distrófico (franco arenoso), LVd; Argissolo Vermelho distrófico (arenoso), PVd. A primeira incubação foi realizada com a ausência ou adição de CaCO₃ + MgCO₃ p.a, neste último caso visando aumentar a saturação por bases para 60%. Na segunda incubação, doses crescentes de escória LD e AF foram adicionadas aos solos, com base na necessidade de calcário. Foram realizadas análises químicas referentes à fertilidade dos solos: pH, Al, Ca, Mg, H + Al e K, CTC e CTC efetiva (cmol_c dm⁻³), P extraído por Mehlich 1, Cu, Fe, Mn, Zn (mg dm⁻³), M.O. (g kg⁻¹), m (%), V (%) e Si (mg kg⁻¹) em ácido acético 0,5 M. As modificações químicas ocorridas nos solos, com a aplicação das escórias, foram semelhantes àquelas induzidas pela calagem. Entretanto, a adição das escórias LD e AF aumentou significativamente os

⁽¹⁾Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. E-mail: oscar@cpao.embrapa.br

teores de P nos solos estudados (exceto aplicação da escória AF no PVd), além daquelas variações obtidas com a correção com $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ p.a. A aplicação da escória AF no LVdfa e LVd também aumentou a concentração de K nestes solos.

Termos para indexação: silício, silicato, fertilidade, nutriente, fósforo, potássio.

Modification of chemical characteristics of soils of Mato Grosso do Sul State incubated with steel slags

Abstract

The steel (LD) and blast furnace slags (AF), byproducts of the steel making process, can be used as a soil correctives and silicon sources. In order to evaluate the effect of increasing doses of LD and AF slags on the chemical characteristics of three soils of MS, was carried out a assay of incubation with and without previous liming. The samples used were of the layer from 0 to 20 cm of three soils of Mato Grosso do Sul (MS) – Dystroferic Red Latosol alic (loamy), LVdfa; Dystrophic Red Latosol (sandy loam), LVd; Yellow Argissol Distrofic (sandy), PVd. The first incubation period was performed in the absence or addition of $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ p.a., in the last case to increase the base saturation to 60%. In the second incubation, increasing doses of LD and AF slags were added to soil, based on the need for lime. Chemical analysis were performed concerning the fertility of the soil pH, Al, Ca, Mg, K and H + Al, CEC and effective CEC ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), P extracted by Mehlich-1, Cu, Fe, Mn, Zn (mg dm^{-3}), O.M. (g kg^{-1}), m (%), V (%) and Si (mg kg^{-1}) in 0,5 M acetic acid. The chemical changes occurring in soils, with the application of slag were similar to those induced by liming. However, the addition of LD and AF slags significantly increased the levels of P in soils (except the application of slag AF on PVd) in addition to changes obtained with $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ pa. The application of AF slag on LVdfa and LVd, increased the concentration of K in these soils, which was not observed with the exclusive use of limestone.

Index terms: silicon, silicate, fertility, nutrient, phosphorus, potassium.

Introdução

O parque industrial voltado à produção de aço no Brasil é formado por 28 usinas siderúrgicas, as quais estão distribuídas principalmente nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo (CASELATO, 2010). As matérias-primas utilizadas nessa indústria são o minério de ferro, coque e calcário. Uma das etapas, necessária à produção do aço, consiste na obtenção do ferro líquido em altas temperaturas. Neste processo, são retiradas as “impurezas” não metálicas, contidas nesse material, por diferença de densidade. O resíduo obtido, denominado escória, é posteriormente resfriado e moído, visando ao seu aproveitamento.

As escórias de siderurgia podem ser utilizadas em várias atividades, como na construção civil e pavimentação, mas pela sua capacidade de correção da acidez do solo e por conter inúmeros nutrientes, podem ser utilizadas na agricultura como corretivo do solo e, também, como fonte de silício para as plantas (fertilizante silicatado). As escórias podem ainda fornecer outros nutrientes, apresentando altos teores de cálcio e magnésio e, em menores proporções, ferro, manganês, zinco, fósforo, enxofre etc. A composição de nutrientes de uma escória pode ser bastante variável, havendo diferenças em função do forno no qual ela foi produzida e, também, de um lote para outro.

As altas temperaturas, utilizadas no processo siderúrgico, frequentemente liberam silício de um estado mais cristalino para um mais reativo, o que significa formas mais solúveis (PEREIRA; CABRAL, 2005). Por serem silicatos de cálcio e magnésio, a ação neutralizante das escórias deve-se à dissociação do silicato de cálcio e do silicato de magnésio, com posterior formação de íons hidroxilas que irão neutralizar o íon hidrogênio da solução do solo, responsável pela sua acidez (ALCARDE, 1992).

Historicamente, a importância agrícola das escórias de siderurgia surgiu na segunda metade do século XIX. John Wrightson, em experimentos realizados nos anos de 1884 e 1885, demonstrou o potencial das escórias básicas de siderurgia como fertilizante (ROBERTSON, 1922). Estudos subsequentes, realizados por pesquisadores de vários países, deram suporte à descoberta de Wrightson. Estes trabalhos já demonstravam a

eficiência da escória de Thomas no aumento da produtividade de diversas culturas, principalmente quando finamente moída (EMMERLING, 1888; JENSCH, 1888; MALDEN, 1900; SEMPOLOWSKI, 1900; WAGNER, 1887), sendo recomendada na época como adubo fosfatado (HANAMANN, 1900). Glastra (1955) observou mudanças favoráveis na composição botânica em pastagem quando utilizou escória de Thomas como fonte de fósforo, ocorrendo, ainda, aumento na resistência à geada.

O uso da escória de siderurgia em substituição ao calcário e, mais recentemente, como fertilizante, em doses mais baixas e aplicação localizada, tem apresentado resultados favoráveis, tanto nas características químicas do solo, como na maior mobilização e disponibilidade de nutrientes às plantas, além do incremento no crescimento e produtividade de várias culturas. No Japão, estudo de Takijima (1959) demonstrou que a aplicação de escória, em solos turfosos cultivados com arroz, aumentou o perfilhamento das plantas e evitou a incidência de brusone; também ocorreu aumento na absorção de N, P, K, Mg e Mn. Além disso, houve maior mineralização do N-NH_4^+ e diminuição no potencial de oxi-redução (Eh) e aumento de pH.

Assim, além de corrigir a acidez dos solos (IBIA et al., 1997; JOKINEN, 1982; RIBEIRO et al., 1986; VELOSO et al., 1992), as escórias podem aumentar a produtividade e modificar a composição mineral das plantas e a disponibilidade de alguns nutrientes no solo. Por exemplo, a incubação de solo com escória de siderurgia aumentou o pH e o Ca, com diminuição do potencial redox (Eh) (NOZOE et al., 2003). Do mesmo modo, a incubação com escória promoveu a neutralização da acidez do solo e o aumento nos teores de Ca e Mg, além de diminuição no teor de K (CHAVES; FARIAS, 2008). Em outro trabalho, a incubação de escória com cultivo posterior de mudas de goiabeira resultou em correção da acidez e aumento na disponibilidade de Zn, Cu, Mn e B no solo (PRADO et al., 2002). O uso da escória de siderurgia em rabanete propiciou aumento das frações móveis de P, K, Ca e Mg, durante o período de incubação do solo, além de estimular o crescimento das plantas e absorção de nutrientes (SEEDA et al., 2002).

O fornecimento de escória aumentou a produção de matéria seca em tomateiro (BAGHAEI et al., 2008) e, em cevada, foram observados efeitos positivos na produção, bem como nas propriedades químicas de solos ácidos

e na composição mineral das plantas (PIVIC et al., 2011). Aumento na produtividade de feijoeiro e níveis significativamente mais baixos de Cu foliar em solos com suplementação de Cu (630 mg kg^{-1}) foram obtidos por Negim et al. (2010).

Munn (2005) constatou que o efeito da aplicação de escória sobre o crescimento inicial de aveia, trigo, soja e milho foi positivo, com aumentos nos teores de Ca e Mg e decréscimo de Al e Mn no solo e nas plantas. Apesar do alto teor de Fe nas escórias utilizadas no experimento, não houve ocorrência de excesso deste micronutriente nas plantas.

Estudando os efeitos da aplicação de escória básica de siderurgia em três solos ácidos, Ali e Shahram (2007) obtiveram aumentos no pH, condutividade elétrica e na disponibilidade de P e Mn após incubação em vasos. Em casa de vegetação, utilizando dois solos, a aplicação da escória proporcionou aumento na matéria seca da parte aérea do milho, bem como na absorção de P e Mn. Em um dos solos ocorreu, ainda, aumento na absorção de K e Fe, enquanto no outro solo, houve uma diminuição na absorção de K, provavelmente devido à sua fixação pelo aumento do pH.

Informações sobre a natureza química e física da fonte de silício são importantes para maximizar os benefícios agrônômicos do fertilizante, assegurando que efeitos adversos sobre o solo e a saúde humana sejam reduzidos ao mínimo. As características mais importantes de uma fonte de silício para a agricultura são: teor altamente solúvel de silício, propriedades físicas adequadas, fácil aplicação mecanizada, rápida disponibilidade para as plantas, custo baixo, quantidades e proporções balanceadas de cálcio e magnésio e ausência ou níveis baixíssimos de metais pesados. Muitas escórias de siderurgia possuem estas características e tem, portanto, potencial para serem utilizadas na agricultura como fontes de silício (KORNDÖRFER et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as modificações químicas de três solos de Mato Grosso do Sul, com ou sem calagem prévia, suplementados com doses crescentes de escória de aciaria ou de alto forno, em vasos.

Material e Métodos

Para este estudo foram utilizadas amostras de três solos coletadas em Mato Grosso do Sul (MS), nos municípios de Dourados (solo 1) - Latossolo Vermelho distroférrico álico (argiloso), LVdfa; Ponta Porã (solo 2) - Latossolo Vermelho distrófico (franco arenoso), LVd; e Glória de Dourados (solo 3) - Argissolo Vermelho distrófico (arenoso), PVd, na camada de 0-20 cm. Após a secagem ao ar, as amostras de solo foram peneiradas em malha de 4 mm para a condução dos ensaios e, posteriormente, em peneiras de 2 mm, para a realização das análises físicas e químicas.

Como fontes de silício foram utilizadas escórias provenientes da produção de aço (escória de aciaria - LD e de alto-forno – AF, Siliférril Ambiental) da Siderúrgica Vallourec-Mannesmann, Belo Horizonte, MG. Nos ensaios simulou-se, também, a aplicação da escória em um solo já corrigido. Esta possibilidade pode surgir com a aplicação da escória em área total, ou localizada na linha de plantio, como fonte de silício e não apenas como corretivo da acidez do solo.

As doses de cada uma das escórias foram baseadas na necessidade de calagem (NC): dose 1 – 1/3 NC; dose 2 – 1/2 NC; dose 3 – 3/4 NC; dose 4 – 1 NC e dose 5 – 2 NC. Para cada solo foram realizados quatro ensaios de incubação, com quatro repetições e inteiramente casualizados, perfazendo 288 parcelas ou vasos, de acordo com as informações a seguir:

Ensaio I – calcário + escória AF

1) testemunha; 2) testemunha+calcário; 3) dose 1 escória AF+calcário; 4) dose 2 escória AF+calcário; 5) dose 3 escória AF+calcário; 6) dose 4 escória AF+calcário; 7) dose 5 escória AF+calcário;

Ensaio II – escória AF

1) dose 1 escória AF; 2) dose 2 escória AF; 3) dose 3 escória AF; 4) dose 4 escória AF; 5) dose 5 escória AF;

Ensaio III – calcário + escória LD

1) testemunha; 2) testemunha+calcário; 3) dose 1 escória LD+calcário; 4) dose 2 escória LD+calcário; 5) dose 3 escória LD+calcário; 6) dose 4 escória LD+calcário; 7) dose 5 escória LD+calcário;

Ensaio IV – escória LD

1) dose 1 escória LD; 2) dose 2 escória LD; 3) dose 3 escória LD; 4) dose 4 escória LD; 5) dose 5 escória LD.

A necessidade de calagem – NC (SOUSA; LOBATO, 2004), do mesmo modo como feito para o calcário, foi baseada no método que utiliza a saturação por bases do solo, no caso presente, para alcançar saturação por bases de 60%. Em cada vaso, as quantidades de CaCO_3 + MgCO_3 e escória foram:

Latossolo Vermelho distroférico álico (LVdfa)

calagem – 1,3348 g CaCO_3 + 0,2801 g MgCO_3 ;

escória – 0,5562 g (dose 1); 0,8342 g (dose 2); 1,1123 g (dose 3); 1,6685 g (dose 4); 3,3370 g (dose 5).

Latossolo Vermelho distrófico (LVd)

calagem - 1,0088 g CaCO_3 + 0,2119 g MgCO_3 ;

escória (g vaso⁻¹) – 0,4203 g (dose 1); 0,6305 g (dose 2); 0,8407 g (dose 3); 1,2610 g (dose 4); 2,5220 g (dose 5).

Argissolo Vermelho distrófico (PVd)

calagem – 0,1456 g CaCO_3 + 0,0306 g MgCO_3 ;

escória (g vaso⁻¹) – 0,0607 g (dose 1); 0,0910 g (dose 2); 0,1213 g (dose 3); 0,1820 g (dose 4); 0,3640 g (dose 5).

Foram realizadas duas incubações em sequência. Na primeira, metade das amostras de 500 g de cada solo foram incubadas previamente, em vasos com tampa, com a adição da mistura CaCO_3 + MgCO_3 p.a. (denominada daqui em diante como calcário), na proporção em massa de 4,76 : 1, para aumentar a saturação por bases para 60%. A outra metade foi incubada apenas com água destilada. O tempo da primeira incubação foi de 40 dias, com a umidade do solo mantida na sua capacidade de campo. Findo este período, foram coletadas amostras simples de cada solo e reunidas em amostra composta,

com e sem calagem, para análise química de fertilidade e do teor de silício. Os solos foram novamente incubados, nas mesmas condições anteriores, com a adição das escórias. A segunda incubação foi realizada por 90 dias, mantendo-se a umidade constante ao longo do tempo. A granulometria da escória era de 60 mesh. Durante as duas incubações os vasos foram mantidos em ambiente sem luminosidade natural ou artificial. Os vasos permaneceram tampados durante toda a incubação, exceto por um curto período de tempo diário, a fim de permitir o arejamento das amostras de solo.

Foram coletadas as amostras de cada parcela para as análises de pH em CaCl_2 , Al, Ca, Mg, acidez potencial (H + Al) e K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), P-Mehlich 1, Cu, Fe, Mn, Zn (mg dm^{-3}), matéria orgânica - M.O. (g kg^{-1}) e Si (mg kg^{-1}) em ácido acético 0,5 M (CLAESSEN, 1997; KORNDÖRFER et al., 2004). Foram estimados CTC, CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, para cada ensaio e quatro repetições para cada tratamento. Foram realizadas análises de correlação e de regressão.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 indica que os solos, utilizados no ensaio, são classificados como argiloso, franco-arenoso e arenoso, respectivamente para o Latossolo Vermelho distroférico álico - LVdfa; Latossolo Vermelho distrófico - LVd e Argissolo Vermelho distrófico - PVd.

No estado original, a acidez dos três solos pode ser considerada de fraca a média. O LVdfa apresentava valores médios para SB, CTC, e Mg. Matéria orgânica, K, Cu, Fe, Mn, Al, m% e Ca estavam em níveis altos, ao passo que Zn e, principalmente, P apresentavam níveis baixos. O LVd tinha níveis intermediários para CTC, M.O., Ca e Cu; baixos para SB, CTC, Mg, P e Zn. Potássio, Mn, Cu, Al, m% e Fe estavam com níveis considerados elevados. O

solo com menor fertilidade era o PVd: SB, CTC, M.O., K, Mg, P, V% e Zn apresentavam valores baixos a muito baixos. Apenas Ca, Mn, Fe e Cu apresentavam níveis médios, além do alumínio e o m% serem nulos (Tabela 2).

As escórias de siderurgia, usadas neste trabalho, apresentaram características bastante distintas. A escória de aciaria LD tem baixos teores de silício total, sendo a maior parte na forma amorfa, tornando o silício mais solúvel. Os teores de Fe e Mn total são altos, enquanto outros elementos são quantificados em pequenas concentrações, como S, P, Na e K. No caso da escória de alto-forno AF, os teores de Si total são elevados, porém com uma proporção de sílica cristalina bem maior em relação à escória LD, que se deve ao processo de obtenção e resfriamento da escória na indústria siderúrgica. Isso significa que a solubilidade e a liberação de Si para a solução do solo, é bem mais lenta. O grau de solubilidade do silício de um fertilizante silicatado também é dependente da composição química e do tamanho das partículas. Os teores de silício solúvel são mais altos em partículas silicatadas mais finas (HAWAIIAN SUGAR PLANTERS ASSOCIATION, 1979, 1980); assim, quanto maiores as partículas da escória menor a sua eficiência na correção do solo (MUNN, 2005) (Tabela 3).

Tabela 1. Análise física do Latossolo Vermelho distroférico álico - LVdfa; Latossolo Vermelho distrófico - LVd e Argissolo Vermelho distrófico - PVd utilizados no ensaio de incubação.

Solo	Areia	Silte	Argila
	g kg ⁻¹		
LVdfa	230	200	570
LVd	760	90	150
PVd	920	60	20

Tabela 2. Análise química inicial do Latossolo Vermelho distroférrico álico - LVdfa; Latossolo Vermelho distrófico - LVd e Argissolo Vermelho distrófico - PVD utilizados no ensaio de incubação.

Solo	pH água	pH CaCl ₂	Mg	S.B.	CTC Efetiva	M.O.	Mn	Zn	Al	Ca
			cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³
LVdfa	5,0	4,1	0,6	1,88	3,6	31,7	128,6	0,9	1,7	1,1
LVd	5,1	4,0	0,2	0,73	2,0	20,9	6,0	0,9	1,3	0,3
PVd	6,0	4,9	0,2	0,94	0,9	4,7	37,9	1,1	0,0	0,7

	H + Al	K ⁺	P Mehlich	CTC	m	V	Cu	Fe	Si
	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%	%	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg kg ⁻¹
LVdfa	12,3	0,18	1,8	14,2	47	13	14,6	56,9	23,2
LVd	8,9	0,23	3,1	9,7	64	8	0,8	99,2	4,5
PVd	1,8	0,04	3,0	2,8	0,0	34	0,6	20,0	2,3

Tabela 3. Teores totais dos principais elementos químicos presentes nas escórias LD e AF utilizadas no ensaio de incubação.

FeO	Mn	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	C	S	P	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
%													
Escória de Aciaria LD													
17,04	2,98	3,87	10,54	0,20	38,44	9,08	0,20	0,07	0,60	1,37	0,05	0,05	0,21
Escória de Alto-Forno AF													
1,08	0,86	1,12	38,73	17,01	31,11	9,25	-	-	0,015	-	-	-	-

Fonte: Vallourec-Mannesmann (2003)⁽¹⁾.

⁽¹⁾Relatório mensal de análises (maio 2003) da Vallourec-Mannesman.

Comparando-se com a LD, a escória AF é menos rica em elementos químicos e nutrientes, porém apresenta valores mais altos de Al e menores de Fe e Mn. De modo geral estes elementos não são disponibilizados para a planta, pois estão numa forma cristalina. O carregador usual para o silício é o silicato de cálcio que pode, também, suprir este nutriente para solos deficientes. As escórias de siderurgia no Brasil, que normalmente são silicatos de cálcio e magnésio, também podem fornecer o magnésio, além do cálcio, para as plantas. Os teores de Ca e, principalmente Mg, são semelhantes entre as escórias AF e LD, apenas a escória de alto-forno apresenta um teor de Ca um pouco maior em relação à escória de aciaria.

A calagem, calculada para aumentar a saturação por bases para 60% e a incubação por 40 dias, permitiu a reação dos solos e mudanças nas suas características químicas ligadas à fertilidade. O solo 1 (LVdfa) alcançou a saturação desejada (55% a 60%), pH, SB, CTC_{ef}, Ca e Mg aumentaram, Mn, Al, H+Al, m%, CTC e P diminuíram, enquanto Zn, K, Cu e Fe mantiveram-se relativamente estáveis. No solo 2 (LVd) houve aumento no pH, SB, Ca, Mg, CTC_{ef} e V%, que alcançou média de 50%. Mn, Zn, K e Cu não se modificaram. Do mesmo modo que o primeiro solo, CTC, Al, H + Al, m% e P também diminuíram, além do Fe. No solo 3 (PVd), bastante arenoso e infértil, também houve aumento no pH, SB, Ca, Mg, CTC_{ef} e V% (que chegou perto de 50%). O aumento destes parâmetros foram coincidentes nos três solos. A acidez potencial diminuiu, enquanto não houve variação significativa em Mn, Zn, K, P, CTC, Cu e Fe (Tabela 4).

O teor de Si aumentou nos três solos com a calagem (Tabela 4). É um resultado que demonstra que tal extrator não se mostra adequado para os solos do Brasil. A utilização do extrator cloreto de cálcio 0,01 M (KORNDÖRFER et al., 2004) não ocasiona tal discrepância nos resultados e com valores mais baixos. A extração de Si da solução do solo com cloreto de cálcio representa a obtenção de valores mais condizentes com a disponibilidade do elemento para a planta (LINDSAY, 2001). O silicato de cálcio pode neutralizar a acidez do solo com a formação de ácido silícico, podendo diminuir a solubilidade de elementos como Mn, Fe e Al. A adição de CaCO₃ ao solo reduz a solubilidade do silício, principalmente devido à mudança no pH do solo, deixando-o mais alcalino. O efeito do pH no solo foi mostrado por Ayres (1966), no qual a

Tabela 4. Análise química após a incubação, com e sem adição de calcário, do Latossolo Vermelho distroférrico álico - LVdfa; Latossolo Vermelho distroférrico - LVd e Argissolo Vermelho distroférrico - PVd.

Sem calcário												
Solo	pH água	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K ⁺	Al	H + Al	CTC	CTC Efetiva	S.B.		
			cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³
LVdfa	4,8	4,0	1,2	0,6	0,17	1,9	13,0	14,9	3,8	1,9		
LVd	4,8	4,0	0,3	0,2	0,24	1,6	8,7	9,5	2,3	0,7		
PVd	5,6	4,9	0,7	0,2	0,04	0,1	1,8	2,6	0,9	0,8		
Solo	P Mehlich	Mn	Zn	Cu	Fe	Si	m	V	M.O.			
	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg kg ⁻¹	%	%	g kg ⁻¹			
LVdfa	1,1	176,3	1,0	15,1	60,3	27,6	49,8	12,9	30,4			
LVd	5,6	10,4	1,3	1,8	166,5	5,8	67,6	7,9	19,3			
PVd	3,0	48,3	1,2	1,7	77,1	3,7	5,3	32,1	5,6			
Com calcário												
Solo	pH água	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K ⁺	Al	H + Al	CTC	CTC Efetiva	S.B.		
			cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³
LVdfa	6,0	5,3	4,2	1,3	0,15	0,0	4,3	9,9	5,7	5,6		
LVd	5,8	5,1	2,1	0,7	0,23	0,0	3,6	7,2	3,7	3,7		
PVd	6,3	5,6	1,0	0,3	0,04	0,0	1,5	2,8	1,3	1,3		
Solo	P Mehlich	Mn	Zn	Cu	Fe	Si	m	V	M.O.			
	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg kg ⁻¹	%	%	g kg ⁻¹			
LVdfa	0,9	118,2	0,9	14,7	63,4	48,1	0,5	56,9	28,8			
LVd	4,4	9,2	1,3	1,9	120,1	7,1	0,0	50,7	20,7			
PVd	3,1	50,8	1,3	1,6	64,3	6,4	0,0	47,2	6,0			

calagem diminuiu a absorção de silício em várias culturas. A adsorção de silício em solos é dependente de pH. Baixo pH resulta em menor adsorção do que em pH mais alto (McKEAGUE; CLINE, 1963a). Uma correlação altamente significativa entre silício extraível e pH foi obtida por Wong You Cheong et al. (1967), utilizando quatro grupos diferentes de solo.

Em virtude das doses de escória adicionadas aos solos terem como critério a necessidade de calagem, os solos arenosos (2 - LVd e 3 - PVd), principalmente o Argissolo (solo 3), receberam quantidades menores de silício. Este último recebeu doses de escória sete e nove vezes menores em relação aos solos 2 (LVd) e 1 (LVdfa), respectivamente; assim, os níveis de silício solúvel foram bem menores em relação aos outros dois solos (Figura 1). A dose de escória, o teor de silício na fonte e as diferenças na solubilidade, além das propriedades físicas e químicas dos solos, influenciaram o teor de Si extraído com o ácido acético. Como era de se esperar, o solo 1 apresentou os valores mais altos de Si, porém sem grandes diferenças entre as duas fontes, apesar do teor bem mais elevado de Si total na escória AF. Os outros solos seguiram a mesma tendência, mesmo com níveis bem mais baixos em relação ao primeiro solo.

As propriedades físicas do solo estão ligadas principalmente aos constituintes orgânicos, que são considerados o primeiro indicador da fertilidade de um solo. Mas o uso de fertilizantes e corretivos pode mudar as propriedades do solo, independentemente do conteúdo de matéria orgânica (PERNES-DEBUYSER; TESSIER, 2004), que se manteve praticamente inalterada com a adição de calcário (Tabela 4).

Do mesmo modo que o calcário, a aplicação das escórias também influenciou os parâmetros químicos dos solos. A adição da escória AF no solo 1, sem calagem prévia, aumentou pH, Mg, SB, CTC_{ef}, Ca, K, P, V% e Fe, diminuiu Mn, Zn, Al, H+Al, CTC e m%. No caso da escória LD ocorreu incremento do pH, Mg, SB, CTC_{ef}, V%, Ca, P, Fe e CTC. Não houve variação nos teores de Zn, K, Cu, Mn e M.O., enquanto Al trocável, H + Al, CTC e saturação por Al diminuíram. A escória AF ainda aumentou o teor de K e diminuiu o de Cu, ao passo que a LD diminuiu os teores de Mn, exceto para dose mais alta, que foi semelhante ao tratamento sem adição de escória (Tabelas 5 e 6).

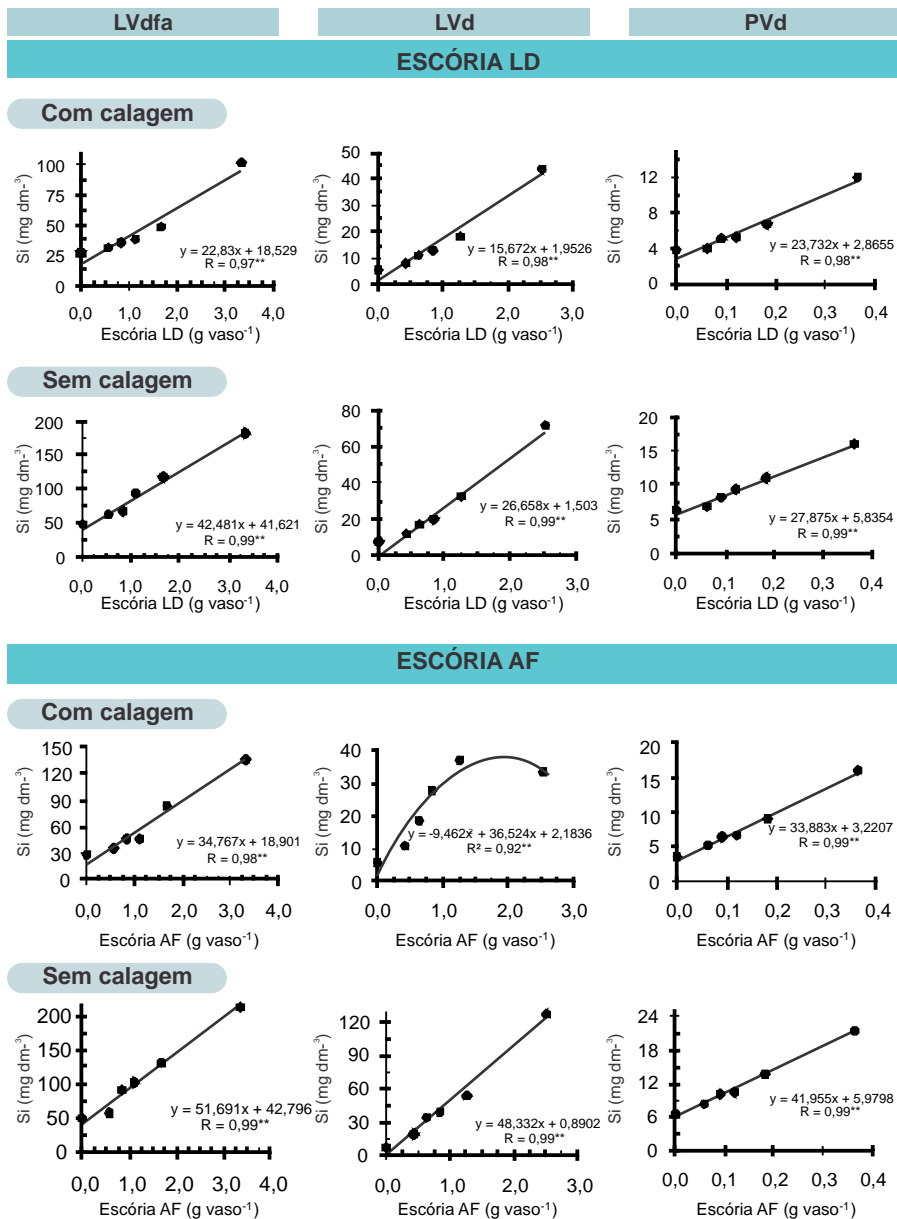


Figura 1. Teores de silício extraível em ácido acético 0,5 M no Latossolo Vermelho distrófico (Dourados, MS) - LVdfa; Latossolo Vermelho distrófico (Ponta Porã, MS) - LVd e Argissolo Vermelho distrófico (Glória de Dourados, MS) - PVd, após a incubação com doses crescentes de duas escórias de siderurgia.

Tabela 5. Regressão ou média e coeficiente de correlação (r) ou determinação (R) dos parâmetros químicos da análise do Latossolo Vermelho distroférrico álico (Dourados, MS) - LVdfa, submetido a doses crescentes de escória AF, com ou sem calagem prévia.

Parâmetro	Com Calagem		Sem Calagem	
	Equação	R	Equação	R
pH CaCl ₂	$y = 7,5724x - 45,571$	0,96**	$y = 0,2127x + 4,0672$	0,99**
Mg (cmol _c dm ⁻³)	$y = 0,0627x + 1,2716$	0,90**	$y = 0,2266x + 0,6123$	0,98**
S.B. (cmol _c dm ⁻³)	$y = 0,3682x + 5,694$	0,98**	$y = 0,8471x + 2,0232$	0,98**
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	$y = 0,361x + 5,7113$	0,98**	$y = 0,3832x + 3,6412$	0,96**
M.O. (g kg ⁻¹)	$y=28,3$	-	$y=29,8$	-
Mn (mg dm ⁻³)	$y = 129,1$	-	$y = 17,374x2 - 66,511x + 168,45$	0,94**
Zn (mg dm ⁻³)	$y=0,9$	-	$y = 0,1594x2 - 1,0226x + 1,8876$	0,99**
Al (cmol _c dm ⁻³)	$y=0,0$	-	$y = -0,4639x + 1,618$	0,94**
Ca (cmol _c dm ⁻³)	$y = 0,281x + 4,2525$	0,99**	$y = 0,5815x + 1,2473$	0,98**
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	$y = -0,351x + 4,1275$	0,97**	$y = -1,8111x + 11,76$	0,93**
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	$y = 0,025x + 0,17$	0,96**	$y = 0,037 + 0,167$	0,99**
P Mehlich (mg dm ⁻³)	$y = 0,2825x + 0,7548$	0,95**	$y = 0,1896x + 1,1586$	0,98**
CTC (cmol _c dm ⁻³)	$y = 9,8$	-	$y = -0,9806x + 13,848$	0,86**
m %	$y=0,1$	-	$y = 4,5354x2 - 28,728x + 50,281$	0,99**
V %	$y = 3,5863x + 58,017$	0,98**	$y = 8,7362x + 14,711$	0,98**
Cu (mg dm ⁻³)	$y=14,5$	-	$y=14,0$	-
Fe (mg dm ⁻³)	$y = 61,5$	-	$y = -1,2041x2 + 9,9563x + 61,659$	0,87**
Si (mg kg ⁻¹)	$y = 51,691x + 42,796$	0,99**	$y = 34,767x + 18,901$	0,98**

Tabela 6. Regressão ou média e coeficiente de correlação dos parâmetros químicos da análise do Latossolo Vermelho distroférrico álico (Dourados, MS) - LVdfa, submetido a doses crescentes de escória LD, com ou sem calagem prévia.

Parâmetro	Com Calagem		Sem Calagem	
	Equação	R	Equação	R
pH CaCl ₂	y = 0,432x + 5,3969	0,99**	y = 0,4397x + 4,0247	0,99**
Mg (cmol _c dm ⁻³)	y=1,4	-	y = 0,0889x + 0,618	0,89**
S.B. (cmol _c dm ³)	y = 1,0428x + 6,1076	0,94**	y = 1,3511x + 2,0538	0,99**
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	y = 1,0382x + 6,1176	0,94**	y = 0,8446x + 3,4626	0,95**
M.O. (g kg ⁻¹)	y=28,8	-	y=29,65	-
Mn (mg dm ⁻³)	y = 17,929x + 105,55	0,78**	y=145,58	-
Zn (mg dm ⁻³)	y=1,1	-	y=1,17	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	y=0,0	-	y = -0,5065x + 1,4089	0,87**
Ca (cmol _c dm ⁻³)	y = 1,0413x + 4,5844	0,96**	y = 1,2627x + 1,2615	0,99**
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	y = -0,7217x + 3,8996	0,95**	y = -2,5119x + 11,292	0,93
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	y = 0,0056x + 0,1597	0,61**	y=0,17	-
P Mehlich (mg dm ⁻³)	y = 2,06x + 0,7388	0,99**	y = 1,8227x + 0,8525	0,96**
CTC (cmol _c dm ⁻³)	y = 0,3211x + 10,007	0,71**	y = -1,1607x + 13,346	0,78**
m %	y=0,0	-	y = -13,192x + 36,051	0,86**
V %	y = 7,6706x + 61,331	0,94**	y = 14,854x + 14,643	0,99**
Cu (mg dm ⁻³)	y=14,7	-	y=14,55	-
Fe (mg dm ³)	y = 22,519x + 57,378	0,92**	y = 13,872x + 63,157	0,64**
Si (mg kg ⁻¹)	y = 42,481x + 41,62	0,98**	y = 22,83x + 18,529	0,95**

Para o solo 2, a aplicação das escórias induziu respostas semelhantes ao solo 1, exceto no caso do Mn, cujos teores aumentaram, e do P com a aplicação da escória AF, que diminuiu levemente a sua concentração. O solo 3 respondeu à aplicação das escórias, de modo geral, semelhantemente à aplicação do calcário. No entanto, houve um leve incremento no nível de P do solo com o uso da escória LD (Tabelas 7 a 10).

Neste ensaio, simulou-se a aplicação da escória em um solo já corrigido. Esta possibilidade pode surgir com a aplicação da escória em área total, ou localizada na linha de plantio, como fonte de silício e não apenas como corretivo do solo. No solo 1, a aplicação das duas escórias aumentou os níveis de pH, SB, CTC_{ef}, Ca, K, V% e P. A escória LD aumentou, ainda, os teores de Mn e Fe, além da CTC. No caso da escória AF, houve um pequeno incremento no teor de Mg trocável. A acidez potencial diminuiu, sendo que os demais parâmetros mantiveram-se estáveis. De maneira geral, a escória LD induziu mudanças maiores em relação à escória AF.

No solo 2, corrigido com calcário, a aplicação das duas escórias aumentou pH, SB, CTC_{ef}, Mn e Ca, diminuindo a acidez potencial remanescente. A escória LD também aumentou o teor de P (o que não ocorreu para a escória AF) e o teor de Fe. Somente o uso da escória LD acarretou decréscimo no teor de Zn, com ou sem tratamento prévio com calcário. Apesar da regressão não ser significativa, a diminuição de Zn no solo sem aplicação de escória para os demais tratamentos, que não diferiram entre si, foi de 34% e 26%, com e sem aplicação prévia de calcário, respectivamente. Por outro lado, houve aumento significativo no teor de K trocável, com a aplicação da escória de alto-forno. Novamente os aumentos ocorridos foram maiores com o uso da escória de aciaria.

No Argissolo (solo 3), a adição de escória AF promoveu aumento no pH e V%, com ou sem calagem prévia. Com calagem houve também, aumento no teor de Mn e Fe e diminuição no H + Al. Sem calagem, a adição exclusiva de escória AF também aumentou SB, CTC_{ef}, Zn, Ca e P, diminuindo os teores disponíveis de Cu e de H + Al. No caso da aplicação da escória LD, os efeitos foram mais significativos, pois, independentemente da aplicação prévia de calcário, houve aumento no pH, SB, CTC_{ef}, Mn, Ca, V%, P e Fe, com decréscimo na acidez potencial. Sem calagem o Zn diminuiu, enquanto com adição anterior à escória LD de CaCO₃ + MgCO₃, o teor de Zn foi igual para todas as doses de escória, porém maior que a testemunha (Tabelas 5 a 10).

Tabela 7. Regressão ou média e coeficiente de correlação dos parâmetros químicos da análise do Latossolo Vermelho distrófico (Ponta Porã/MS) - LVd, submetido a doses crescentes de escória AF, com ou sem calagem prévia.

Parâmetro	Com Calagem		Sem Calagem	
	Equação	R	Equação	R
pH CaCl ₂	y = 0,1305x + 5,1766	0,91**	y = 0,2746x + 4,0903	0,91**
Mg (cmol _c dm ⁻³)	y=0,80	-	y = 0,14x + 0,2592	0,94**
S.B. (cmol _c dm ⁻³)	y = 0,2738x + 3,6381	0,99**	y = 0,5963x + 0,8986	0,97**
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	y = 0,2738x + 3,6381	0,99**	y=2,3	-
M.O. (g kg ⁻¹)	y=20,3	-	y=19,6	-
Mn (mg dm ⁻³)	y = 13,987x + 9,1011	0,99**	y = 14,884x + 11,111	0,99*
Zn (mg dm ⁻³)	y=1,3	-	y=1,3	0,62**
Al (cmol _c dm ⁻³)	y=0,0	-	y = -0,4527x + 1,3115	0,89**
Ca (cmol _c dm ⁻³)	y = -0,2332x2 + 0,9643x + 2,2219	0,88**	y = 0,4072x + 0,3941	0,98**
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	y = -0,3232x + 3,495	0,99**	y = 0,6426x2 - 3,0262x + 8,5833	0,90**
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	y = 0,0355x + 0,2203	0,96**	y = 0,0491x + 0,2453	0,99**
P Mehlich (mg dm ⁻³)	y=4,6	-	y=5,3	-
CTC (cmol _c dm ⁻³)	y=7,1	-	y = 0,4688x2 - 1,9696x + 9,314	0,97**
m %	y=0,0	-	y = 10,739x2 - 48,959x + 67,929	0,99**
V %	y = 4,2246x + 51,046	0,99**	y = 9,0788x + 9,9094	0,98**
Cu (mg dm ⁻³)	y=2,0	-	y=2,3	-
Fe (mg dm ⁻³)	y = 14,05x + 120,85	0,95**	y = 35,638x + 157,82	0,91**
Si (mg kg ⁻¹)	y = 48,332x + 0,8902	0,99**	y = -9,462x2 + 36,524x + 2,1836	0,96**

Tabela 8. Regressão ou média e coeficiente de correlação dos parâmetros químicos da análise do Latossolo Vermelho distrófico (Ponta Porã/MS) - LVd, submetido a doses crescentes de escória LD, com ou sem calagem prévia.

Parâmetro	Com Calagem		Sem Calagem	
	Equação	R	Equação	R
pH CaCl ₂	y = 0,4969x + 5,1509	0,91**	y = 0,5683x + 4,0376	0,99**
Mg (cmol _c dm ⁻³)	y=0,70	-	y = 0,1047x + 0,1927	0,88**
S.B. (cmol _c dm ⁻³)	y = 0,8059x + 3,9082	0,85**	y = 1,2846x + 0,7907	0,99**
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	y = 0,8059x + 3,9082	0,85**	y = 0,7333x + 1,9294	0,91**
M.O. (g kg ⁻¹)	y=20,64	-	y=19,8	-
Mn (mg dm ⁻³)	y = 24,641x + 5,925	0,97**	y = 15,498x + 11,826	0,98*
Zn (mg dm ⁻³)	y = 0,199x ² - 0,615x + 1,208	0,84ns	y = -0,127x ² - 0,463x + 1,272	0,89ns
Al (cmol _c dm ⁻³)	y=0,0	-	y=0,0	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	y = 1,0176x + 2,6335	0,78**	y = 1,1841x + 0,3468	0,99**
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	y = -0,7703x + 3,346	0,89**	y = -2,123x + 7,8295	0,90**
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	y=0,22	-	y=0,24	-
P Mehlich (mg dm ⁻³)	y = 4,0709x + 3,8291	0,99**	y = 2,7237x + 5,7532	0,97**
CTC (cmol _c dm ⁻³)	y=7,24	-	y = -0,9408x + 8,6433	0,71**
m %	y=0,0	-	y = -26,109x + 53,652	0,84**
V %	y = 10,832x + 53,569	0,90**	y = 20,625x + 8,0921	0,98**
Cu (mg dm ⁻³)	y=1,51	-	y=1,75	-
Fe (mg dm ⁻³)	y = 42,138x + 100,04	0,74**	y=173,8	-
Si (mg kg ⁻¹)	y = 26,666x + 1,4982	0,99**	y = 15,672x + 1,9526	0,98**

Tabela 9. Regressão ou média e coeficiente de correlação dos parâmetros químicos da análise do Argissolo Vermelho distrófico (Glória de Dourados/MS) – Pvd, submetido a doses crescentes de escória LD, com ou sem calagem prévia.

Parâmetro	Com Calagem		Sem Calagem	
	Equação	R	Equação	R
pH CaCl ₂	$y = 2,4772x + 5,6535$	0,98**	$y = 2,9812x + 4,8806$	0,98**
Mg (cmol _c dm ⁻³)	$y=0,26$	-	$y = 0,20$	-
S.B. (cmol _c dm ⁻³)	$y = 1,6773x + 1,3526$	0,90**	$y = 1,8701x + 0,7971$	0,72**
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	$y = 1,6773x + 1,3526$	0,90**	$y = 1,7383x + 0,8318$	0,70**
M.O. (g kg ⁻¹)	$y=4,70$	-	$y=5,19$	-
Mn (mg dm ⁻³)	$y = 39,831x + 53,634$	0,78**	$y = 43,691x + 48,007$	0,84**
Zn (mg dm ⁻³)	$y = 0,2393x^2 - 0,85x + 1,7773$	0,75**	$y = -1,4317x + 1,0204$	0,59**
Al (cmol _c dm ⁻³)	$y=0,0$	-	$y=0,0$	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	$y = 1,4647x + 1,0876$	0,93**	$y = 1,6484x + 0,5833$	0,90**
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	$y = -0,873x + 1,4115$	0,87**	$y = -1,2772x + 1,7649$	0,87**
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	$y = 0,04$	-	$y=0,04$	-
P Mehlich (mg dm ⁻³)	$y = 5,096x + 3,0211$	0,93**	$y = 3,73x + 2,6158$	0,86**
CTC (cmol _c dm ⁻³)	$y = 0,8029x + 2,7646$	0,66**	$y = 2,72$	-
m %	$y=0,0$	-	$y=0,0$	-
V %	$y = 42,372x + 49,067$	0,93**	$y = 56,626x + 33,036$	0,75**
Cu (mg dm ⁻³)	$y=1,4$	-	$y=1,0$	-
Fe (mg dm ⁻³)	$y = 96,127x + 71,925$	0,57**	$y = 120,86x + 77,103$	0,71**
Si (mg kg ⁻¹)	$y = 27,875x + 5,8354$	0,98**	$y = 23,732x + 2,8655$	0,97**

Tabela 10. Regressão ou média e coeficiente de correlação dos parâmetros químicos da análise do Argissolo Vermelho distrófico (Glória de Dourados/MS) – PVD submetido a doses crescentes de escória AF, com ou sem calagem prévia.

Parâmetro	Com Calagem		Sem Calagem	
	Equação	R	Equação	R
pH CaCl ₂	$y = 0,8854x + 5,5958$	0,96**	$y = 0,8289x + 4,8869$	0,96**
Mg (cmol _c dm ⁻³)	$y=0,30$	-	$y = 0,30$	-
S.B. (cmol _c dm ⁻³)	1,4	-	$y = -4,3873x_2 + 2,4314x + 0,8406$	0,96**
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	1,4	-	$= -3,9841x_2 + 2,1359x + 0,893$	0,90**
M.O. (g kg ⁻¹)	$y=4,0$	-	$y=5,2$	-
Mn (mg dm ⁻³)	$y = -205,17x_2 + 130,55x + 48,98$	0,97**	$y = 50,6$	-
Zn (mg dm ⁻³)	$y=1,4$	-	$y = -8,8741x_2 + 4,2489x + 1,1878$	0,91**
Al (cmol _c dm ⁻³)	$y=0,0$	-	$y=0,0$	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	$y = 1,03$	-	$y = 0,7253x + 0,6927$	0,79**
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	$y = 1,6052x_2 - 1,1095x + 1,4896$	0,92**	$y = -0,5922x + 1,778$	0,94**
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	$y = 0,04$	-	$y=0,04$	-
P Mehlich (mg dm ⁻³)	$y = 3,1$	0,93**	$y = 3,73x + 2,6158$	0,86**
CTC (cmol _c dm ⁻³)	$y = 2,7$	0,66**	$y = 2,83$	-
m %	$y=0,0$	-	$y=1,92$	-
V %	$y = -51,429x_2 + 36,208x + 46,088$	0,88**	$y = 25,51x + 34,297$	0,88**
Cu (mg dm ⁻³)	$y=1,7$	-	$y = 11,487x_2 - 5,8878x + 1,7772$	0,78**
Fe (mg dm ⁻³)	$y = -642,87x_2 + 322,47x + 54,499$	0,80**	$y = 78,9$	-
Si (mg kg ⁻¹)	$y = 41,955x + 5,9798$	0,99**	$y = 33,883x + 3,2207$	0,99**

O aumento observado nos níveis de P solúvel nos três solos, após a incubação com a escória LD (Figura 2), pode ser devido à reação de troca do ânion fosfato pelo ânion silicato de fosfatos levemente solúveis. A alta adsorção de P em solos deficientes, com baixo pH, reduz a eficiência do uso de fertilizantes fosfatados. A aplicação de silício pode diminuir a adsorção de P, aumentando a disponibilidade e absorção pelas culturas. Diversos estudos têm apresentado resultados positivos, em relação à aplicação de fontes silicatadas, na absorção de fósforo pelas culturas. Essa capacidade dos silicatos solúveis disponibilizarem parcialmente o P fixado no solo, tem sido demonstrada ao longo do tempo, em diversas pesquisas. Os experimentos de longa duração com cereais, principalmente cevada, em Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Inglaterra, a partir de 1862, mostraram que as parcelas não adubadas com P, apresentavam aumentos significativos na produção com a adubação silicatada (ROTHAMSTED STATION, 2006; WILD, 1988). Fischer (1929), em seu estudo com cevada e silício, verificou maior absorção de P pelas plantas, mesmo não havendo adubação fosfatada nas parcelas tratadas com silicato. O mesmo resultado foi obtido por Hance (1933) com cana-de-açúcar no Havaí. Laws (1951) constatou que a aplicação de silicato no solo, aumentou a extração de P por diferentes soluções extratoras. Outros estudos, como os de Owino-Gerroh e Gascho (2004), Sadanandan e Varghese (1969) e Singh e Sarkar (1992), também comprovam a maior absorção do P em tratamentos com suplementação de silício.

Silicatos e fosfatos são adsorvidos por mecanismos semelhantes sobre superfícies minerais oxídicas em solos, o que implica que a adubação com silício pode reduzir a adsorção de P e aumentar a disponibilidade e eficácia de adubos fosfatados (CORREA-VICTORIA et al., 2001). Aplicação de silicatos aumenta o fósforo solúvel em água, a despeito do fato de que o pH do solo também aumenta. Os aumentos observados no teor de P pela aplicação da escória, em solo corrigido ou não com calcário, sugere que o efeito do silício não é reduzir a formação de fosfatos de cálcio insolúveis, mas reduzir a adsorção de fósforo por hidróxidos de ferro e alumínio precipitados há pouco tempo. Estes hidróxidos de metais polivalentes, tais como alumínio e ferro, são altamente efetivos na adsorção do silício (McKEAGUE; CLINE, 1963 a,b).

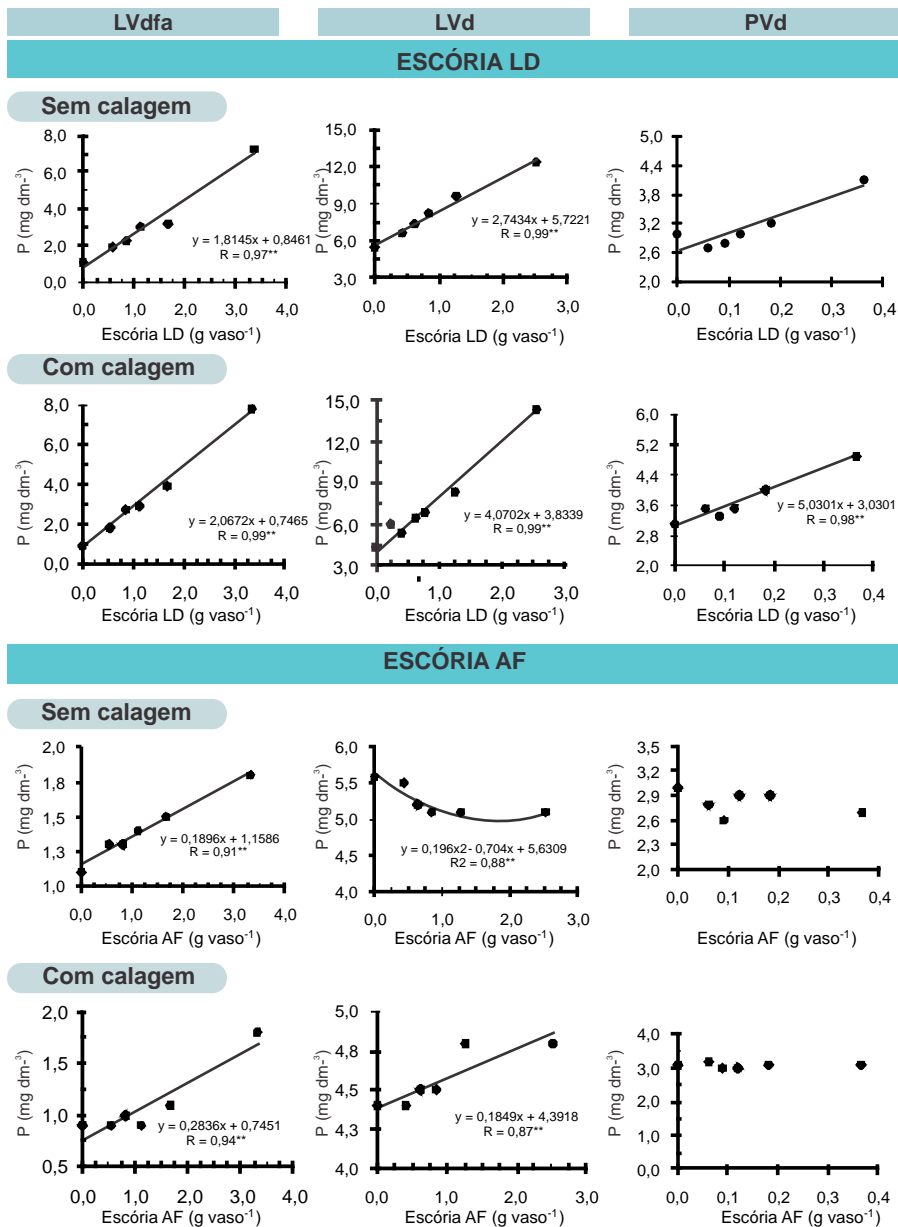


Figura 2. Teores de fósforo no Latossolo Vermelho distrófico (Dourados, MS) - LVdfa; Latossolo Vermelho distrófico (Ponta Porã, MS) - LVd e Argissolo Vermelho distrófico (Glória de Dourados, MS) - PVd, após a incubação com doses crescentes de duas escórias de siderurgia.

Conclusões

A calagem aumentou o pH, V, SB, CTC_{ef}, Ca e Mg e diminuiu Al e Al+H nos três solos. Tanto no LVdfa como no LVd, houve decréscimo de m, CTC e P, além de Fe no LVd.

Para todos os solos e condição de calagem (com e sem), a adição de escória de aciaria ou de alto-forno propiciou um aumento linear e altamente significativo no teor de Si extraível com ácido acético 0,5 M.

De modo geral, a adição das escórias LD e AF aumentou significativamente os teores de P nos solos estudados (exceto escória AF em PVd), além das mesmas modificações obtidas com a correção com CaCO₃ + MgCO₃ p.a. A aplicação da escória AF no LVdfa e LVd também aumentou a concentração de K nestes solos.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul - Fundect, pelo suporte financeiro.

Referências

ALCARDE, I. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (ANDA. Boletim técnico, 6).

ALI, M. T.; SHAHRAM, S. H. Converter slag as a liming agent in the amelioration of acidic soils. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 9, n. 5, p. 715-720, 2007.

AYRES, A. S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. **Soil Science**, Philadelphia, v. 101, n. 3, p. 216-227, 1966.

BAGHAEI, A. H.; NADERI, G.; CHAVOSH, S.; HONARJOO, N.; KESHAVARZI, M. Evaluation of iron slag efficiency on tomato in Arak agricultural land. **Journal of Research in Agricultural Science**, Isfahan, v. 3, n. 2, p. 208-218, 2008.

CASELATO, L. **Panorama de escória de aciaria no Brasil**. [Belo Horizonte]: Instituto Aço Brasil, [2010]. Não paginado. Palestra apresentada no Seminário Internacional Aplicação de Escória de Aciaria, Belo Horizonte, nov. 2010.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. de. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 75-82, 2008.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

CORREA-VICTORIA, F. J.; DATNOFF, L. E.; OKADA, K.; FRIESEN, D. K.; SANZ, J. I.; SNYDER, G. H. Effects of silicon fertilization on disease development and yields of rice in Colombia. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. chap. 19, p. 313-322.

EMMERLING, A. Basic slag as a manure for oats. **Biedermann's Zentralblatt für Agrikulturchemie und Rationellen Landwirtschafts-Betrieb**, Leipzig, p. 529-531, 1888. Resumo em *Journal of the Chemical Society*, London, v. 54, p. 1223, 1888.

FISHER, R. A. A preliminary note on the effect of sodium silicate in increasing the yield of barley. **Journal of the Agricultural Society, University College of Wales, Aberystwyth**, v. 19, p. 132-139, 1929.

GLASTRA, J. L. The effect of basic slag on the botanical composition of herbage on peaty soil. **Thomasmeel**, n. 9, p. 191-197, 1955. Resumo em *Soils and Fertilizers*, v. 18, 1955. Abstr. n. 2249.

HANAMANN, J. Manurial experiments with barley. **Zeitschrift für das Landwirtschaftliche Versuchswesen in Oesterreich**, Wien, v. 1, p. 277-85, 1898. Resumo em *Journal of the Chemical Society*, London, v. 78, part II, p. 41, 1900.

HANCE, F. E. Phosphate fixation in Hawaiian soils. **Hawaiian Planters' Record**, Honolulu, v. 37, p. 182-196, 1933.

HAWAIIAN SUGAR PLANTERS' ASSOCIATION. Experiment Station. **Annual report 1978**. Honolulu, 1979.

HAWAIIAN SUGAR PLANTERS' ASSOCIATION. Experiment Station. **Annual report 1979**. Honolulu, 1980.

IBIA, T. O.; UDO, E. J.; OMOTI, U. Evaluation of slag byproducts from Delta Steel Plant (Nigeria), as liming materials. **Global Journal of Pure and Applied Sciences**, Calabar, v. 3, n. 3, p. 293-302, 1997.

JENSCH, E. Manurial action of the free lime in basic slag. **Biedermann's Zentralblatt für Agrikulturchemie und Rationellen Landwirtschafts-Betrieb**, Leipzig, p. 12-16, 1888. Resumo em *Journal of the Chemical Society*, London, v. 54, p. 525-526, 1888.

JOKINEN, R. The efficiency of dolomitic limestone, basic slag and peat ash as liming agents, and as calcium and magnesium sources for turnip rape. **Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland**, Helsinki, v. 54, n. 5, p. 371-83, 1982.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção da cana-de-açúcar. **STAB: açúcar e álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 6-9, nov./dez. 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício**: solo, planta e fertilizante. 2. ed. Uberlândia: Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 34 p. (UFU. Boletim técnico, 2).

LAWS, W. D. Water-soluble application to a calcareous clay and effect on soil properties and nutrient uptake by plants. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 15, p. 89-92, 1951.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. Caldwell: Blackburn Press, 2001. 449 p.

MALDEN, W. J. Manurial experiments on permanent pasture. **East Sussex County Council Reporter**, Lewes, 1899. Resumo em Journal of the Chemical Society, London, v. 78, part II, p. 240, 1900.

MCKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soil solution. II. The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, n. 1, p. 83-96, 1963a.

MCKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in the soil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 15, p. 339-396, 1963b.

MUNN, D. A. Steel industry slags compared with calcium carbonate in neutralizing acid mine soil. **The Ohio Journal of Science**, Columbus, v. 105, n. 4, p. 79-87, 2005.

NEGIM, O.; ELOIFI, B.; MENCH, M.; BES, C.; GASTE, H.; MOTELICA-HEINO, M.; LE COUSTOMER, P. Effect of basic slag addition on soil properties, growth and leaf mineral composition of beans in a Cu-contaminated soil. **Soil and Sediment Contamination**, Boca Raton, v. 19, n. 2, p. 174-187, 2010.

NOZOE, T.; SEKIGUCHI, T.; NISHIBATA, Y.; INOUE, T. Changes in Eh and pH of submerged soil in the presence of Fe-containing slag fertilizers. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 74, n. 1, p. 81-83, 2003.

OWINO-GERROH, C.; GASCHO, G. J. Effect of silicon on low pH soil phosphorus sorption and on uptake and growth of maize. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, n. 15/16, p. 2369-2378, 2004.

PEREIRA, H. S.; CABRAL, N. B. Slag as silicon source: application criterion. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 92-100.

PERNES-DEBUYSER, A.; TESSIER, D. Soil physical properties affected by long-term fertilization. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 55, n. 3, p. 505-512, 2004.

PIVIC, R.; STANOJKOVIC, A.; MAKSIMOVIC, S.; STEVANOVIC, D.; JOSIC, D.; DUROVIC, N. Improving the chemical properties of acid soils and chemical composition and yield of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) by use of metallurgical slag. **Fresenius Environmental Bulletin**, Freising, v. 20, n. 4, p. 875-885, 2011.

PRADO, M. P.; CORRÊA, C. M.; CINTRA, A. C. O.; NATALE, W.; SILVA, M. A. C. Liberação de micronutrientes de uma escória aplicada em um argissolo vermelho-amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 536-542, 2002.

RIBEIRO, A. C.; FIRME, D. J.; MATTOS, A. C. M. Avaliação da eficiência de uma escória de aciaria como corretivo da acidez do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 33, n. 187, p. 242-248, 1986.

ROBERTSON, G. S. **Basic slags and rock phosphates**. Londres: Cambridge University Press, 1922. 120 p.

ROTHAMSTED RESEARCH. **Guide to the classical and other long-term experiments, datasets and sample archive**. Harpenden, 2006. 56 p. il. color. Disponível em: <<http://tinyurl.com/n42zml>>. Acesso em: 23 mar. 2009.

SADANANDAN, A. K.; VARGHESE, E. J. Role of silicate in the uptake of nutrients by rice plants in the laterite soils of Kerala. **Agricultural Research Journal of Kerala**, Trivandrum, v. 7, n. 2, p. 91-96, 1969.

SEEDA, M. A.; EL-AILA, H. I.; EL-ASHRY, S. Assessment of basic slag as soil amelioration and their effects on the uptake of some nutrient elements by Radish plants. **Bulletin of the National Research Centre**, Cairo, v. 27, n. 4, p. 491-506, 2002.

SEMPOLOWSKI, A. Manurial experiments with phosphorite and basic slag. **Zeitschrift für das Landwirtschaftliche Versuchswesen in Oesterreich**, Wien, v. 1, p. 267-276, 1899. Resumo em Journal of the Chemical Society, London, v. 78, part II, p. 43, 1900.

SINGH, K. P.; SARKAR, M. C. Phosphorus availability in soils as affected by fertilizer phosphorus, sodium silicate and farmyard manure. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 40, n. 4, p. 762-767, 1992.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 81-96.

TAKIJIMA, Y. Soils of peaty paddy fields. XI. Effect of silica on growth of rice plants and its nutrient absorption. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 3, p. 181-184, 1959.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, J. M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 49, p. 123-128, 1992. Número especial.

WAGNER, P. Manurial value of Thomas slag. **Biedermann's Zentralblatt für Agrikulturchemie und Rationellen Landwirtschafts-Betrieb**, Leipzig, p. 31-41, 1887. Resumo em Journal of the Chemical Society, London, v. 52, p. 525, 1887.

WILD, A. **Russell's soil conditions and plant growth**. 11th ed. Harlow: Longman, 1988. 991 p.

WONG YOU CHEONG, Y.; ROSS, L.; CAVALOT, P. C. Silicon status of Mauritius soils. **Report Mauritius Sugar Industry Research Institute**, Port Louis, p. 78-81, 1967.

Embrapa

Agropecuária Oeste

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

G O V E R N O F E D E R A L
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA