



Núcleo de Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá
Belém, Pará, Brasil

<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

Emerson Vinicius Silva do Nascimento

Universidade Federal Rural Amazônia
agrovinius@yahoo.com.br

Edilson Carvalho Brasil

Empresa Brasileira de Pesquisa
Agropecuária
brasil@cpatu.br

George Rodrigues da Silva

Universidade Federal Rural Amazônia
george.silva@ufra.edu.br

EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO EM TERRA ALTA - PA

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de escória de siderurgia em diferentes granulometrias e doses, observando seus efeitos em diferentes tempos de incubação, sobre as propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico, textura média. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial $4 \times 3 \times 8 + 2$, sendo quatro granulometrias (material retido entre as peneiras ABNT 20 – 50; 50 – 100; 100 – 200 e < 200), três doses de escória (1,65, 3,81 e 5,98 t ha⁻¹) necessárias para elevação das saturações por bases a 40, 70 e 100%, respectivamente, oito períodos de incubação da escória (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 e 360 dias) e mais dois tratamentos adicionais, um com calcário e outro sem calcário e escoria (testemunha). Para avaliação dos atributos químicos efetuaram-se coletas de amostras na profundidade de 0–20 cm em cada parcela sendo 12 simples para formar uma composta utilizando um trado do tipo sonda, aos 15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 e 360 dias. As frações granulométricas mais finas (100 – 200 e <200) foram mais efetivas na modificação dos atributos químicos. Os tratamentos com a escória apresentaram melhores resultados, em comparação aos tratamentos adicionais (calcário + testemunha) nos atributos químicos do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Acidez do solo, Saturação por bases, Silicato, Nutrientes.

SLAG EFFECT ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF A YELLOW OXISOIL IN TERRA ALTA - PA

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the application of slag in different particle sizes and doses, observing its effects at different incubation times on the chemical properties of a dystrophic Oxisoil, medium texture. We used a randomized complete block design

Recebido em: 2015-03-23

Avaliado em: 2017-07-12

Aceito em: 2018-10-17

with three replications in a factorial 4x3x8 +2, four grain sizes (material retained between sieves ABNT 20-50, 50-100, 100-200 and <200), three doses of slag (1.65, 3.81 and 5.98 t ha⁻¹) necessary for lifting the base saturation of 40, 70 and 100%, respectively, eight slag incubation periods (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 and 360 days) and two additional treatments, one with and one without lime and slag (control). For evaluation of chemical attributes were made in samples collected at a depth of 0-20 cm in each plot being 12 to form a single composite using an auger's type probe, at 15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 and 360 days. The finer size fractions (100-200 and <200) were more effective in modifying the chemical attributes. The treatments with the slag produced better results compared to the additional treatments (lime + control) on soil chemical properties.

KEYWORDS: Soil acidity, Base saturation, Silicate, Nutrients.

ESCORIA EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN LATOSOL AMARILLO EN LA TERRA ALTA - PA

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue evaluar la aplicación de la escoria en diferentes tamaños de partículas y las dosis, la observación de sus efectos en diferentes tiempos de incubación en las propiedades químicas de un Latosol amarillo, textura media. Se utiliza un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones en un esquema factorial + 2, cuatro tamaños de partículas 4x3x8 (material retenido en la ABNT 20-50; 50 a 100; 100 a 200 y <200), tres dosis de escoria (1,65, 5,98 3,81e t ha⁻¹) necesario para la elevación de la saturación de bases de 40, 70 y 100%, respectivamente, ocho períodos de incubación de la escoria (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 y 360 días) y dos tratamientos adicionales, una con y otra sin piedra caliza y escoria (control). Para evaluar los atributos químicos de muestras efectuadas se recogieron a una profundidad de 0-20 cm en cada parcela objeto de 12 simples para formar un compuesto utilizando un tipo de barrena de la sonda, a los 15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 y 360 días. Las fracciones de tamaño más fino (100-200 y <200) fueron más eficaces en la modificación de atributos químicos. Los tratamientos con la escoria mostraron mejores resultados en comparación con los tratamientos adicionales (control de cal +) en las propiedades químicas del suelo.

PALABRAS CLAVES: La acidez del suelo, Saturación, Silicato, Nutrientes.

INTRODUÇÃO

As maiorias dos solos agricultáveis nas regiões tropicais apresentam-se em condições de elevado grau de acidez, o que caracteriza o principal fator de degradação química do solo. De modo geral, esses solos apresentam pH baixo, concentração de alumínio em níveis tóxicos ($> 1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), alta capacidade de adsorção de ânions, especialmente fosfatos (GOEDERT et al., 1997; ERNANI et al., 1998; BOHNEN, 2000), resultando em menor absorção dos nutrientes e água, devido ao menor volume de solo explorado.

O calcário é um dos produtos comerciais mais utilizados para a correção da acidez dos solos brasileiros, em virtude da sua eficiência corretiva e do baixo custo de produção. No entanto, esses corretivos podem tornar-se inacessíveis aos produtores, em situações de grandes distâncias entre a fonte produtora e a consumidora, o que aumenta consideravelmente o valor final dos produtos, em decorrência do elevado

custo para o transporte dos mesmos até o local de consumo.

No estado do Pará isso vem ocorrendo, devido à alta demanda de calcário e a oferta ser relativamente baixa, fazendo com que os produtores tenham que adquirir calcários de outras jazidas de fora do estado, tornando o preço do produto elevado. Em decorrência disso é importante estudos de outras fontes alternativas de corretivos de acidez do solo, entre essas alternativas temos a escória de siderúrgica. Segundo Nolla (2004), o uso de escórias como corretivo de solo e fonte de Si (Silício), além de diminuir o passivo ambiental da indústria siderúrgica também contribui para reduzir o consumo de calcário, pois este é um mineral retirado da natureza e, portanto, não renovável.

Pesquisas realizadas com a escória mostram que sua ação neutralizante na acidez do solo assemelha-se à do calcário, entretanto em alguns experimentos, têm sido constatados que a escória apresenta

reação mais lenta no solo quando comparada ao calcário (FORTES 1993; PRADO; FERNANDES, 2000).

O aproveitamento agrícola da escória é pouco utilizado no Brasil, apesar da grande quantidade disponível. As melhorias nas características químicas do solo pela utilização de escórias decorrem da ação neutralizante do SiO_2 , e, conseqüentemente, da elevação do pH, CTC e V%, além de ser usada como fonte de alguns nutrientes como Ca, Mg, Zn, B, Fe e Mn (PIAU, 1995) e, ainda, devido à presença do ânion H_3SiO_4^- exercer efeito competitivo com o H_2PO_4^- , reduzindo a adsorção ou aumentando a disponibilidade de fósforo no solo (PRADO; FERNANDEZ, 1999, 2000 e 2003; PRADO et al., 2002).

Apesar dos indicativos de aproveitamento agrícola da escória, existe uma carência muito grande de estudos técnicos do sistema solo-planta para fundamentar o uso dentro do meio agrícola, nas condições específicas de diferentes regiões do País e para diferentes sistemas de

produção de culturas de interesse econômico em especialmente na nossa região. Neste contexto fazem-se necessárias também as pesquisas em nível de campo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de escória de siderurgia em função de diferentes granulometrias e doses na correção da acidez e concentrações de nutrientes nos períodos de amostragens do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, localizado no município de Terra Alta, distante cerca de 100 km de Belém, no km 33 da Rodovia Castanhal/Curuçá, que faz parte da Microrregião do Salgado nas seguintes coordenadas geográficas, Latitude 01°01'7,72" Sul e a uma Longitude 47°53'29,19" Oeste. Essa área está sob a influência climática do tipo Ami, da classificação de Köppen, caracterizado por apresentar um índice pluviométrico elevado, com total anual de 2.000mm aproximadamente e temperatura média de 26 °C (BASTOS, 1972).

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura média (Embrapa, 2006). Antes da instalação do experimento foi coletada amostras na camada superficial (0-20 cm), para caracterização química e física do solo. As análises foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (1997), apresentando as seguintes características químicas e físicas (Tabela 1).

Foi utilizado um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial com parcelas subdivididas 4x3x8+2, sendo quatro frações granulométricas da escória (material retido entre as peneira ABNT nº 20 – 50, 50 - 100, 100 - 200 e < 200), três diferentes doses (1,65; 3,81 e 5,98 t ha⁻¹, ou seja, 4,62; 10,66 e 16,74 kg/parcela) necessárias para elevação das saturações por bases a 40, 70 e 100%, respectivamente, oito períodos de incubação da escória (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 e 360 dias) e mais dois tratamentos adicionais, um com calcário e outro sem calcário e escória (testemunha), totalizando 42 parcelas com dimensões de 28 m² (5,6 x 5,0m).

Para definir as doses de escória e de calcário, com 74% e 96% de PRNT, respectivamente, foi adotado o método de saturação por bases (RAIJ et al. 2001) a partir dos dados de saturação por base inicial e capacidade catiônica do solo a pH 7,0.

Os níveis de saturação por base foram definidos apenas para possibilitar níveis crescentes, sem a pretensão de atingir níveis de correção predeterminados. Foi utilizada a granulometria ABNT < 50 para o calcário, pelo fato de ser essa fração utilizada para o calcário com RE = 100 %, conforme a legislação brasileira (BRASIL, 1983). A quantidade de calcário aplicada foi correspondente ao V=70%, ou seja, 2,93 t ha⁻¹ (10,46 kg parcela⁻¹).

Foi retirada uma amostra do resíduo e enviada para realização de análise no Laboratório e apresentou as seguintes características químicas (tabela 2). A metodologia empregada na realização das análises de corretivo agrícola, na qual se inclui a escória, segue o protocolo do MAPA (2007).

Tabela 1. Resultados das análises química e física do solo.

pH	Ca	Mg	H+Al	K	P	CTC	v%	Areia	Argila	Silte
H ₂ O		cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³		pH 7,0		g kg ⁻¹	
4,9	0,6	0,3	4,38	0,06	2,0	5,34	17,09	736	149	115

Tabela 2. Resultado das análises química da escoria de siderurgia.

CaO	MgO	PN	PRNT	Si	Cd	Cr	Ni	Pb
dag kg ⁻¹		(%)		mg kg ⁻¹				
24,85	12,49	75	74	6,34	10,5	42,1	40	24,1

Os corretivos foram aplicados manualmente a lanço em cada parcela, colocando-se metade das quantidades estimadas antes da aração e a outra metade, antes da gradagem. Após a aplicação dos corretivos foi realizada também uma adubação no experimento equivalente a 120 kg/ha de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, 90 kg/ha de N, sendo de 50 kg/ha de N na forma de sulfato de amônio e 40 kg/ha de N na forma de uréia, 60 kg de K₂O, na forma de cloreto de potássio e 40 kg/ha de FTE BR 12.

Após cada período de incubação do solo de cada tratamento foram coletados na camada de 0-20 cm, na proporção de 12 amostras simples para formar uma composta. Depois de seco foi passado em peneira de 2mm e

submetido à análise química para fins de fertilidade (pH em água, Al, H+Al, Ca+Mg, P e K). O pH em água foi determinado usando-se eletrodo de vidro, em suspensão na proporção solo-líquido 1: 2,5. Ca+Mg e Al foram extraídos utilizando-se solução de KCl 1mol/L; P e K foram extraídos com solução de Mehlich 1 e H+Al com extrator acetato de Ca 1mol/L realizadas segundo metodologia da Embrapa (1997). A partir desses dados foi calculada a saturação por bases (%V).

Os dados foram analisados estatisticamente através da análise de variância, utilizando-se o teste de Skott-knott, a 5% de significância utilizando-se o programa Sisvar[®] v.4.2 (FERREIRA, 2003). Nas situações em que foram necessárias, aplicou-se análise de

regressão aos dados. Foram feitas análises de contrastes das médias dos tratamentos fatoriais versus as médias dos adicionais, e depois, foram agrupadas em um único quadro de análise de variância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado efeito significativo para granulometria (G) e dose (D) nos atributos pH, Ca+Mg, Al e V%. Houve efeito significativo entre os tratamentos

Fatorial (F) - Ad1Ad2 para os atributos Al, V% e K. Para o tempo de incubação (T) observou-se efeito significativo no atributo Ca+Mg. Na interação T*G houve efeito significativo nos atributos Ca+Mg, Al, V% e P. na interação T*D observou-se efeito significativo nos atributos pH, H+Al e nas interações T*G*D apenas no atributo Ca+Mg. Verificou-se efeito significativo nas interações T *F - Ad1Ad2 nos atributos pH, Ca+Mg e V% (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância dos atributos químicos de um Latossolo Amarelo distrófico, Terra Alta – PA.

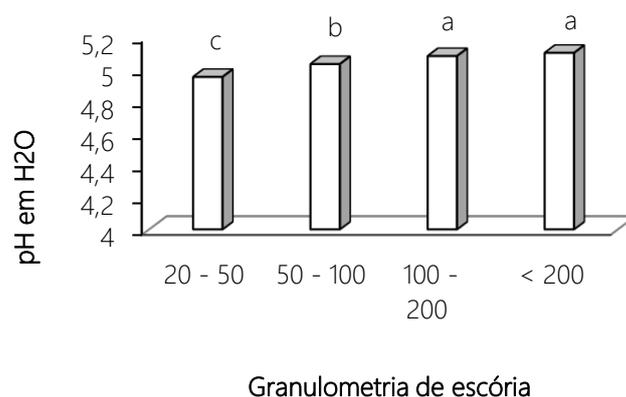
Fonte de Variação	G.L.	QM						
		pH	Ca+Mg	Al	H+Al	V%	P	K
Bloco	2	0,17	0,33	0,05	5,71	29,34	3,49	0,19
Granulometria (G)	3	0,30*	2,13*	0,49*	0,65	556,11*	0,25	0,08
Doses (D)	2	0,96*	7,77*	2,14*	1,08	1942,94*	0,6	0,36
G * D	6	0,06	0,25	0,06	0,33	37,76	0,15	0,03
Ad1 vs Ad2 ⁽¹⁾	1	1,8	15,08	3,97	1,09	265,5	0,05	0,17
Fatorial (F)-Ad1Ad2 ⁽²⁾	1	0,02	0,34	0,17*	1,27	245,32*	0,42	0,61*
Erro 1	26	0,04	0,25	0,06	0,42	5357	0,24	0,05
Tempo de Incubação (T)	7	20,78	1,13*	0,27	3,90	34,92	2,58	0,43
Erro 2	14	0,005	0,09	0,05	0,07	0,068	53,5	0,34
T * G	21	0,01	0,18*	0,04*	0,08	39,66*	0,20*	0,02
T * D	14	0,02*	0,05	0,03	0,15*	12,64	0,11	0,02
T * G *D	42	0,01	0,09*	0,02	0,05	16,09	0,14	0,02
T * Ad1 vs Ad2	7	0,05*	0,24*	0,11*	0,08	50,43*	0,14	0,02
T *F - Ad1Ad2	7	0,02*	0,51*	0,04	0,12	26,97*	0,18	0,05
Erro 3	182	0,01	0,06	0,02	0,06	11,67	0,11	0,03
CV (%) 1		2,09	19,73	27,8	17,12	14,63	18,5	13,6
CV (%) 2		1,5	20,34	17,1	6,92	17,32	22,5	21,3
CV (%) 3		1,6	15,99	14,1	6,58	11,79	25,9	11,64
Média Geral		5,03	1,47	0,59	3,77	29,98	2,01	0,06

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. ⁽¹⁾ média entre resultados de calcário e testemunha; ⁽²⁾ diferença entre a média dos resultados da escória (doses e granulometrias) e a média entre os tratamentos adicionais (calcário e testemunha)

Nas parcelas com a escória nas granulometrias ABNT < 200 e 100 - 200 foram encontrados os maiores valores de pH, sem diferença significativa,

seguido da granulometria ABNT 50 – 100, com o menor valor encontrado na granulometria ABNT 20 - 50 (Figura 1).

Figura 1. Valores de pH em função de diferentes granulometrias da escória.

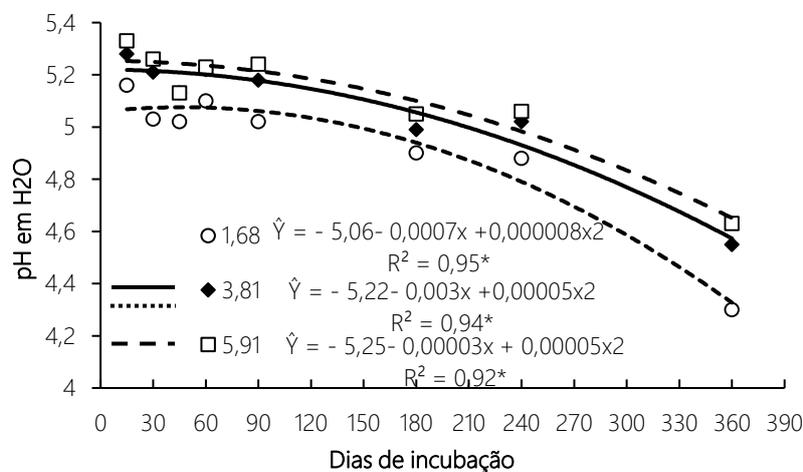


Esses resultados são atribuídos a melhor reatividade das partículas mais finas relacionados com o aumento da superfície específica das mesmas, favorecendo as reações de solubilização da escória e neutralização da acidez do solo, em comparação com as partículas mais grossas da escória. Desse modo, quanto mais finas as partículas, mais rápida será a sua ação na correção da acidez do solo, como observado por Bellingieri et al. (1989), Piau (1991) e Prado et al. (2004).

O aumento do pH do solo com a aplicação de escórias é atribuído à ação do agente neutralizante SiO_3^{2-} gerado pela reação das escórias com o solo (ALCARDE, 1992). Aumentos do pH com aplicação de escória também foram observados em trabalhos conduzidos por Prado; Fernandes (2003), Carvalho-Pupatto et al. (2004) e Ramos et al. (2006).

Os dados de pH em função da interação entre períodos de incubação e doses da escória apresentaram resposta quadrática (Figura 2).

Figura 2. Interação entre diferentes doses da escória e tempos de incubação nos valores de pH.



Os maiores valores de pH (5,28 e 5,33) foram observados aos 15 dias de incubação, proporcionados pelas maiores doses de escória (3,81 e 5,98 t ha⁻¹), correspondentes a 70% e 100% de saturação em bases, respectivamente, sem diferenças significativas. Independentemente da dose aplicada, os valores de pH reduziram com o tempo de incubação da escória. Essa diminuição do pH do solo pode ser atribuída à aplicação da adubação nitrogenada. Segundo Campos (2004), Haclin et al. (2005) e Moreira e Siqueira (2006), a acidificação do solo, pelo uso de ureia, gerando amônio pela sua hidrólise, é

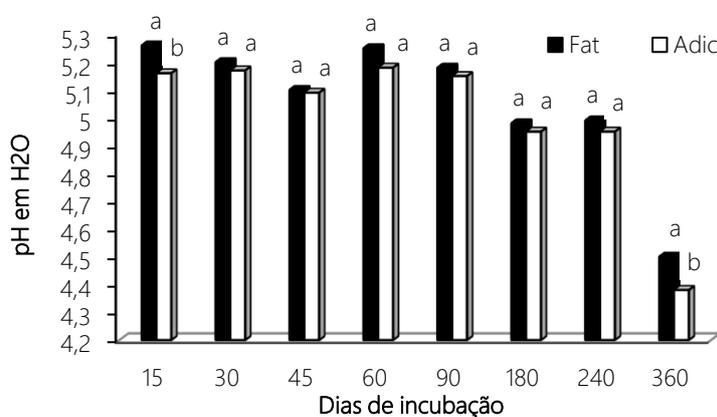
prevista, pois no processo de nitrificação, há liberação de dois prótons (H⁺) para cada íon de NH₄⁺ nitrificado. Esse efeito da adubação nitrogenada na diminuição do pH também foi verificado por Primavesi et al. (2005), trabalhando com a aplicação de ureia e nitrato de amônio em capim coast-cross, Campos (2004), com sulfato de amônio na cultura do milho, em solo sob pastagem de capim braquiária, além de Lange et al. (2006) e Vale et al. (2010) com aplicação de uréia na cultura do milho e cana-de-açúcar, respectivamente. Prado; Fernandes (2000) também verificaram menor eficiência da escória na

correção da acidez, atribuindo o fato ao uso da adubação nitrogenada com sulfato de amônio.

De modo geral, os valores de pH sob tratamentos com escória (doses e

granulometria) foram superiores aos dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), com diferença significativa aos 15 e 360 dias de incubação da escória (Figura 3).

Figura 3. Comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação.



Esses valores sofreram acentuada redução a partir de 180 dias de incubação. Isto mostra que os corretivos estudados apresentam comportamento distinto quanto à eficiência na neutralização da acidez do solo, tendo em vista as diferenças de natureza química dos agentes neutralizantes (silicato e carbonato) e sua granulometria, com superioridade da escória sobre o calcário. O silicato de Ca

e Mg tem reação mais lenta no solo que o calcário, portanto, tendo efeito residual, fato importante para ampliar os efeitos da manutenção da neutralização da acidez do solo e na liberação de nutrientes e de silício para as plantas (PRADO et al., 2001; PRADO et al., 2003). Superioridade da escória de siderurgia sobre o calcário dolomítico, na neutralização da acidez do solo, também foi encontrada por Prado et al.

(2004), em amostras de Latossolo Vermelho distrófico em Bebedouros-SP. Korndorfer; Prado (2003) relatam que a escória na dose de 4,0 t ha⁻¹ reduziu a acidez do solo, elevando o pH que variou de 5,80 para 6,24.

Independentemente do tempo de incubação, as concentrações de Ca + Mg no solo aumentaram significativamente com a aplicação das maiores doses de escória (3,81 e 5,98 t ha⁻¹), correspondentes a 70 e 100% de saturação por bases, respectivamente, nas granulometrias mais finas (ABNT 100 – 200 e < 200). Os maiores valores foram observados até os 90 dias de incubação, ocorrendo a partir daí uma tendência de redução retomando o crescimento aos 240 dias, embora sem diferenças significativas (Tabela 4).

Ressalte-se que os efeitos positivos da escória no aumento dos teores trocáveis de Ca + Mg devem-se, também, à maior eficiência das partículas mais finas do corretivo, efeito este relacionado ao aumento da superfície específica das partículas, favorecendo maior contato com o solo

e, intensificando as reações de solubilização da escória na neutralização da acidez do solo. Semelhante ação positiva da escória de siderurgia na ação de correção da acidez do solo, com o aumento dos teores de bases trocáveis, também foi observado por Piau (1991) e Prado et al. (2004). Além disso, a escória em estudo apresentou valores de 24,85dag kg⁻¹ e 12,49dag kg⁻¹ respectivamente de CaO e MgO e um poder de neutralização (PN) de 75% considerado pela legislação como calcário agrícola (Tabela 2), o que mostra o efeito residual da mesma, com resultados favoráveis no aumento de Ca + Mg trocáveis após três meses de incubação. Prado et al. (2005) obtiveram maiores valores para concentrações de Ca + Mg, soma de bases e saturação por bases, quatro meses após a incubação da escória em substrato oriundo de Latossolo Vermelho distrófico. Deve ser ressaltado que os teores de Ca + Mg não sofreram influência significativa da fração mais grosseira (ABNT 20 – 50) mesmo na dose mais elevada e por um

período de incubação de até 360 dias. Isso demonstra que a fração mais grosseira da escória é pouco efetiva na neutralização da acidez do solo e no

consequente aumento dos teores de bases trocáveis do solo, fato também constatado por Prado et al. (2004).

Tabela 4. Concentrações de Ca+Mg (cmolc dm^{-3}) de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses e granulometrias da escória em diferentes tempos de incubação.

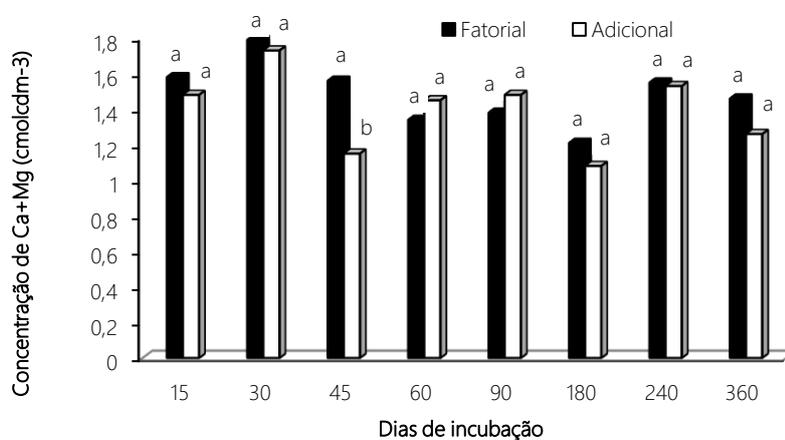
Dias de Incubação	Doses (t/ha) (V%)	Granulometrias (ABNT N°)			
		20 - 50	50 - 100	100 - 200	< 200
.....Ca+Mg (cmolc dm^{-3}).....					
15	1,65 (40%)	0,966 bB	0,866 bB	1,666 aB	1,366 aB
	3,81 (70%)	1,333 bA	1,500 bA	2,000 aA	2,166 aA
	5,98 (100%)	1,466 bA	1,633 bA	1,966 aA	2,100 aA
30	1,65 (40%)	0,966 bB	1,200 bB	1,300 aB	1,966 aB
	3,81 (70%)	1,700 aA	2,000 aA	2,100 aA	2,266 aA
	5,98 (100%)	1,400 bA	2,100 aA	2,333 aA	2,566 aA
45	1,65 (40%)	1,033 aB	1,166 aB	1,266 aB	1,500 aB
	3,81 (70%)	1,500 aA	1,600 aA	1,760 aA	1,800 aA
	5,98 (100%)	1,600 aA	1,733 aA	1,833 aA	1,900 aA
60	1,65 (40%)	1,033 aB	1,000 aB	1,000 aB	1,300 aB
	3,81 (70%)	1,500 aA	1,500 aA	1,533 aA	1,566 aA
	5,98 (100%)	1,600 aA	1,566 aA	1,600 aA	1,700 aA
90	1,65 (40%)	0,833 aA	1,066 aA	1,200 aA	1,400 aB
	3,81 (70%)	1,200 bA	1,366 bA	1,566 aA	1,866 aA
	5,98 (100%)	1,333 aA	1,566 aA	1,566 aA	1,600 aA
180	1,65 (40%)	0,833 aA	0,933 aA	0,966 aA	1,100 aB
	3,81 (70%)	1,200 aA	1,233 aA	1,266 aA	1,400 aA
	5,98 (100%)	1,333 aA	1,333 aA	1,466 aA	1,500 aA
240	1,65 (40%)	1,033 aA	1,100 aA	1,166 aB	1,600 aB
	3,81 (70%)	1,466 aA	1,500 aA	1,600 aA	1,900 aA
	5,98 (100%)	1,333 bA	1,766 aA	1,966 aA	2,233 aA
360	1,65 (40%)	1,000 aA	1,066 aA	1,100 aB	1,266 aB
	3,81 (70%)	1,400 aA	1,500 aA	1,633 aA	1,900 aA
	5,98 (100%)	1,400 aA	1,700 aA	1,800 aA	1,833 aA

Letras minúsculas comparam diferentes frações granulométricas na linha, letras maiúsculas comparam doses da escória na coluna para tempo de incubação. Letras iguais podem ser consideradas estatisticamente iguais entre si, na comparação das médias pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Nos períodos iniciais de incubação dos corretivos os valores de Ca + Mg sob tratamentos do fatorial (escória) foram superiores aos dos tratamentos

adicionais (calcário), com diferença significativa somente aos 45 dias do processo (Figura 4).

Figura 4. Concentrações de Ca+Mg de um Latossolo Amarelo distrófico em função da comparação dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus os tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação da escória.

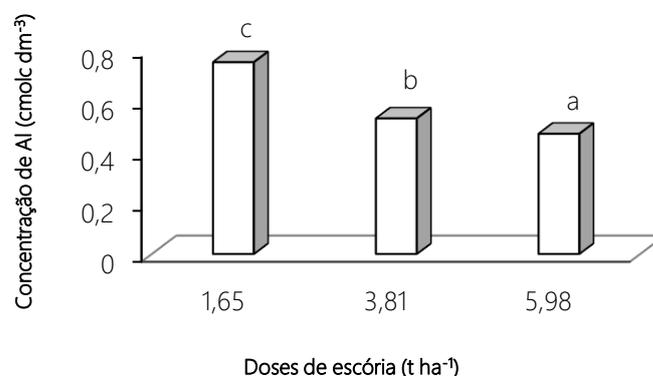


Nos períodos de incubação a partir de 60 dias houve alternância de superioridade entre os tratamentos com escória e com calcário, sobre as concentrações dos referidos cátions básicos. Esses resultados se respaldam nas diferenças de natureza química dos agentes neutralizantes (silicato e carbonato) e suas granulometrias. Tais diferenças foram constatadas por Prado et al. (2004), trabalhando em amostras

de Latossolo Vermelho distrófico, onde encontraram superioridade da escória sobre o calcário, na soma de bases trocáveis, aos três meses de incubação, ocorrendo o inverso aos seis e nove meses de incubação desses corretivos.

Ocorreram reduções dos valores de Al com o aumento das doses de 1,65 t ha⁻¹ (V= 40%) para 5,98 t ha⁻¹ (V= 100%) (Figura 5).

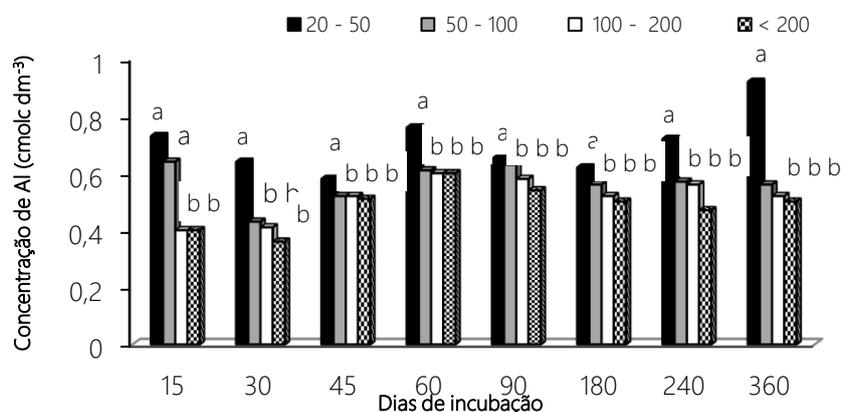
Figura 5. Concentrações de Al de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses.



Os resultados demonstraram a eficiência desse corretivo na neutralização da acidez trocável do solo. Prado; Fernandes (2003), Carvalho-Pupatto et al. (2004), Prado et al. (2005) e Ramos et al. (2006), também constataram redução significativa da acidez do solo, o que é consequência da redução do Al trocável, com a aplicação de escória.

A granulometria da escória, em diferentes tempos de incubação, também afetou significativamente a concentrações de Al trocável do solo. De modo geral, as maiores concentrações ocorreram com o uso da escória na maior granulometria (ABNT 20 – 50), com diferenças significativas aos 15, 30 e 360 dias de incubação (Figura 6).

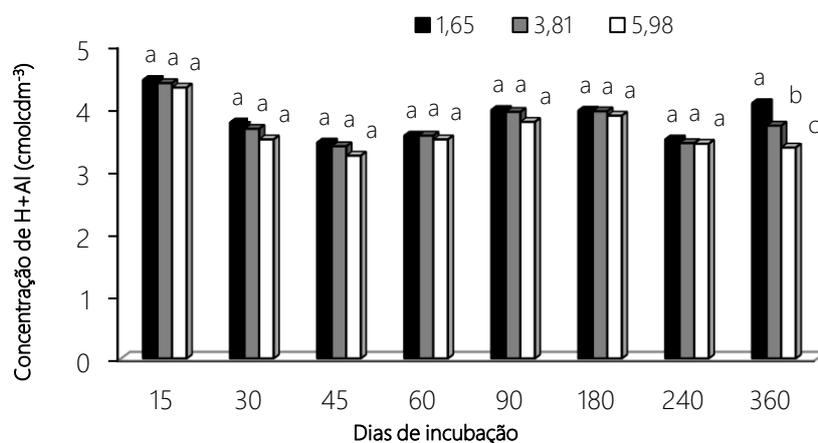
Figura 6- frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação.



A eficiência das frações granulométricas mais finas na redução do Al, conforme discutido anteriormente, está relacionado ao aumento da superfície específica das mesmas, favorecendo maior contato com o solo e, intensificando as reações de solubilização da escória na neutralização da acidez do solo.

As concentrações de H+Al do solo foram afetadas significativamente pelas doses de escória aplicadas, em diferentes tempos de incubação. Entretanto, essa variação significativa não ocorreu até o tempo de 240 dias de incubação. Aos 360 de incubação a acidez potencial reduziu significativamente com o aumento da dose da escória (Figura 7).

Figura 7. Concentrações de H+Al de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses de escória) e tempos de incubação.



Observou-se uma ação favorável da escória provocando redução da concentração de H+Al do solo de 4,38 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, antes do experimento para 4,08, 3,72 e 3,37 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ nas doses 1,65, 3,81 e 5,98 t ha^{-1} , correspondentes

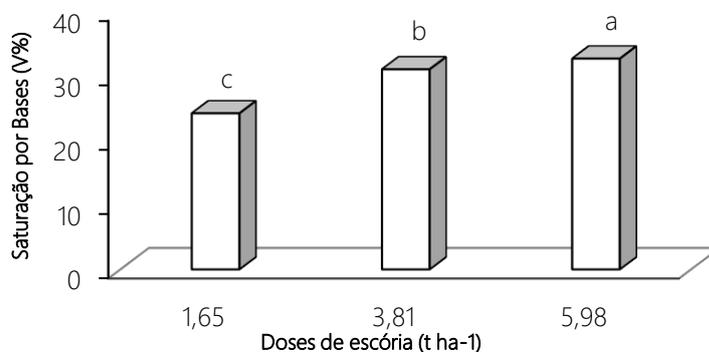
às saturações por bases a 40%, 70% e 100%, respectivamente, nas últimas amostragens de solo aos 360 dias. Esses resultados concordam com Prado; Fernandes (2000, 2003) que obtiveram, também, uma diminuição

nas concentrações de Al e de H+Al com aplicação de escória em Latossolo, em razão da presença de agente neutralizante da acidez como o SiO_3^{-2} (ALCARDE, 1992).

A saturação por base do solo aumentou significativamente, com o aumento das doses da escória (Figura 8), o que pode estar relacionado com a redução da acidez trocável (Al^{+3}) neste mesmo tratamento (Figura 5). Esse aumento das bases, em função do

aumento da dose de escória aplicada, pode ser explicado pela dependência da solubilização da escória, de acordo com o maior fracionamento das partículas, possibilitando maior contato corretivo-solo. O maior valor foi obtido com a dose de $5,98 \text{ t ha}^{-1}$ ($V= 100\%$), enquanto o menor valor foi atingido com a menor dose da escória ($1,65 \text{ t ha}^{-1}$), equivalente a 40% de saturação por bases.

Figura 8. Valores de saturação por bases em função de diferentes doses da escória.



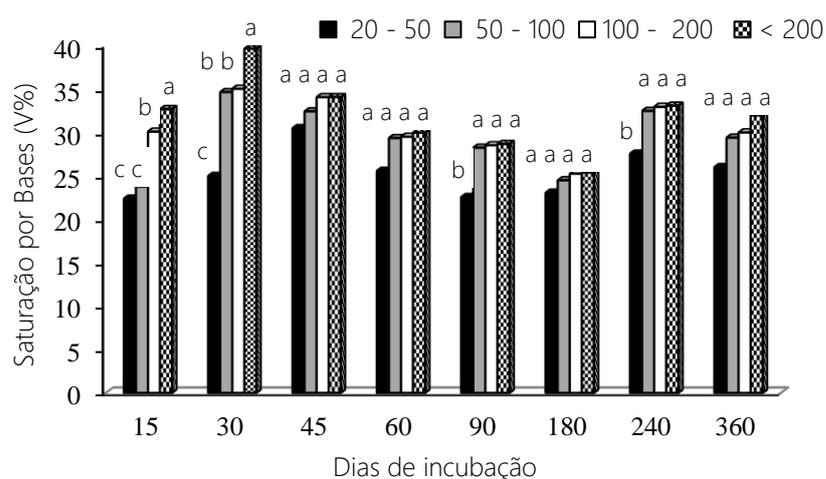
Os valores de saturação por bases iguais a 24,22%, 31,05% e 32,71%, obtidos nas doses $1,65$; $3,81$ e $5,98 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente, estão aquém das %V estimadas com as mesmas doses, equivalentes a 40%, 70% e 100%.

Tescaro (1998) relata que essa ineficiência em elevar a V% a valores relativamente altos em experimentos de campo, pode estar ligada ao alto potencial de cargas dependentes do pH do solo, ao deslocamento da

reação de equilíbrio da solubilização do corretivo e, ainda, à formação de novos minerais no solo em formas de hidróxido pouco solúvel. Prado; Natale (2004) também observaram que a aplicação da escória não atingiu a saturação por bases desejada, sendo que a dose para elevar %V a 80% alcançou 66%.

Em todos os períodos de avaliação houve superioridade das frações granulométricas mais finas sobre as grosseiras, nos valores de porcentagem de bases do solo, com diferenças significativas aos 15, 30, 90 e 240 dias de incubação (Figura 9).

Figura 9. Frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação nos valores de saturação por bases.



Os valores de %V avaliados aos 15 e 30 dias mostraram superioridade significativa da granulometria correspondente à ABNT < 200 sobre as demais frações. A superioridade das frações mais finas da escória está relacionada à maior superfície

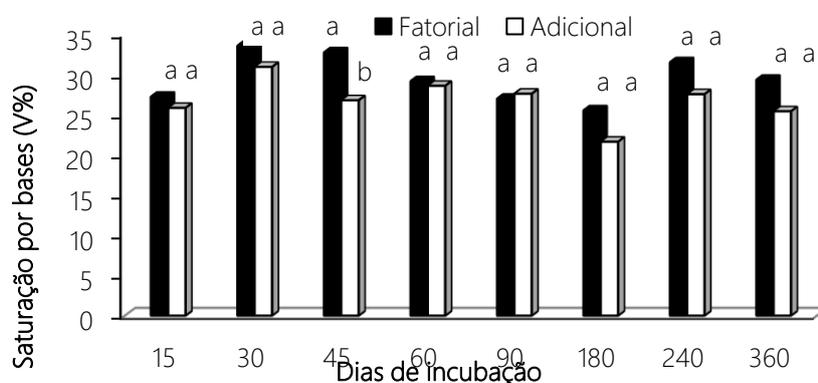
específica dessas partículas, proporcionando maior e mais rápida solubilização desse material, favorecendo a neutralização da acidez do solo e a liberação de cátions básicos, com o consequente aumento da porcentagem das bases no solo.

Semelhante relação já havia sido observada com referência ao aumento dos teores trocáveis de Ca + Mg (Tabela 2) e redução da concentração de Al trocável do solo (Figura 6), com aplicação de escória com granulometria mais fina (ABNT < 200). Prado et al. (2003) constataram que a escória promoveu efeito residual benéfico, após 48 meses da aplicação, na correção da acidez e,

consequentemente, na elevação da saturação por bases.

Houve tendência de superioridade dos valores de porcentagem de saturação por bases sob tratamentos com a escória em todos os períodos de incubação, em comparação aos dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), com diferença significativa no período de 45 dias de incubação da escória (Figura 10).

Figura 10. Comparação dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus os tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação de um Latossolo Amarelo distrófico.



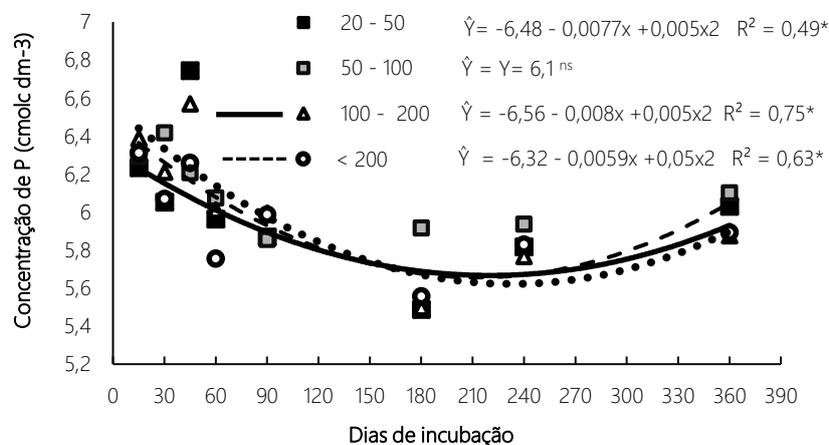
As maiores porcentagens de saturação por bases foram obtidas aos 30 dias de incubação, 33% (escória) e 30% (calcário + testemunha). Esses valores sofreram acentuada redução a

partir de 45 dias de incubação. Isto mostra que os corretivos estudados apresentam comportamento distinto quanto à eficiência na neutralização da acidez do solo, tendo em vista as

diferenças de natureza química dos agentes neutralizantes (silicato e carbonato) e sua granulometria, com superioridade da escória sobre o calcário. Superioridade da escória de siderurgia sobre o calcário dolomítico, na neutralização da acidez do solo, também foi encontrada por Prado et al. (2004), em amostras de Latossolo Vermelho distrófico.

Os dados de fósforo disponível do solo em função da fração granulométrica da escória entre 50 – 100 μm não mostrou comportamento linear e nem quadrático, enquanto as demais granulometrias se ajustaram à função quadrática (Figura 11).

Figura 11. Concentrações de fósforo de um Latossolo Amarelo distrófico em função de frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação.



Esses resultados mostram que em todos os períodos de incubação, ao longo do tempo, as diferentes frações granulométricas da escória mostraram efeito semelhante no aumento do

nutriente até os 30 dias, à exceção da granulometria ABNT nº 50-100 que superou significativamente as demais no período de 180 dias. Ressalta-se que essa queda na disponibilidade do P

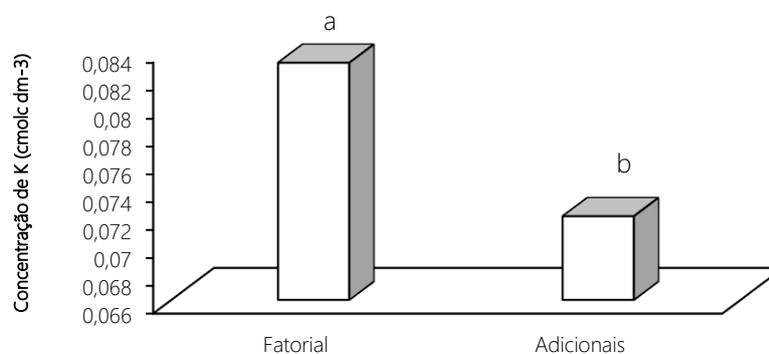
que foi dos 30 aos 180 dias ocorreu em função da absorção do mesmo pela planta de milho, ou seja, todo o fósforo que ficava disponível rapidamente era absorvido. Com as frações mais finas (ABNT n° 100-200 e < 200) os maiores valores de P ocorreram até o tempo de incubação de 90 dias. A fração mais grosseira (ABNT n° 20-50) foi mais efetiva até 45 dias de incubação da escória, demonstrando baixo poder residual. O aumento da disponibilidade de fósforo no solo com a aplicação de escória pode estar relacionado à competição dos ânions de silicato, contidos neste corretivo, com os de fosfatos pelo mesmo sítio de adsorção, conforme mencionam Smyth; Sanchez (1980). Prado et al. (2002) e Vale et al., (2010) encontraram aumento do P disponível do solo pela aplicação de escória de aciaria e de siderurgia, respectivamente.

Ressalte-se que os valores de P do solo variaram de 5,50 mg dm⁻³ a 6,74 mg dm⁻³ em função dos tratamentos, sendo classificados como de nível baixo (TOMÉ JR., 1997). Em pesquisa com

arroz, (VIDAL; PRADO, 2011) também encontraram pequenos acréscimos de P disponível no solo com o uso da escória, que variaram de 5,0 mg dm⁻³ para 8,0 mg dm⁻³ no final do experimento. Esses autores justificaram tal resultado baseados na somatória de dois fatores: o poder corretivo alcalinizante dos silicatos constituintes da escória, e a competição entre Si x P pelos mesmos sítios de adsorção nos solos, interação, esta, que não ocorre quando se utiliza somente o calcário

As diferenças verificadas entre os tratamentos do fatorial (doses e granulometria da escória) e os tratamentos adicionais, calcário e testemunha absoluta (Figura 12) mostram a superioridade da escória no aumento da concentração do K no solo. É possível que esse resultado tenha ocorrido devido à escória apresentar este nutriente em sua composição (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004). Vale et al., (2010) reportam que o uso da escória de siderurgia proporcionou aumento significativo da concentração do K no solo.

Figura 12. Concentrações de potássio de um Latossolo Amarelo distrófico em função da comparação dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus os tratamentos adicionais (calcário + testemunha).



CONCLUSÃO

A escoria de siderúrgica promoveu aumento nos valores de pH, nas concentrações de Ca+Mg, P e K e ocasionou uma redução do Al.

As frações granulométricas mais finas (peneiras ABNT nº 100 - 200 e <200) foram as que proporcionaram o maior efeito na redução da acidez do solo.

Quando comparada ao calcário a utilização de escoria de siderúrgica obteve resultados satisfatório na redução da acidez e disponibilidade de nutrientes.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. Corretivo de acidez do solo: características e interpretações.

São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6).

BASTOS, T.X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE (Belém, PA). Zoneamento agrícola da Amazônia. 1ª aproximação. Belém, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).

BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C.; SOUZA, E.C.A. Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliada em laboratório. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, v.46, p.303-317, 1989.

BOHNEN, H. Acidez do solo: Origem e correção. In: KAMINSKI, J. (Coord.). *Uso de corretivos da acidez do solo no*

plantio direto. Pelotas: Núcleo Regional Sul, 2000. p.9-19. (Boletim Técnico, 4).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes:** métodos oficiais. Brasília: Lanarv, 1983. 104 p.

CAMPOS, A. X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do Cerrado de Brasília sob pastagem de Brachiaria decumbens.** 2004. 119 f. Tese (doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

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, n.12, p.1213-1218, dez. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Brasília, Produção de Informação, 2006. 306p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista**

Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa - MG, v. 22, p. 275-280, 1998.

FERREIRA, D.F. Sisvar versão 4.2. DEX/UFLA, 2003.

FONSECA, I.M. et al. Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção de capim marandu. **Bragantia**, Campinas - SP v.68, p.53-61, 2009.

FORTES, J. L. O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo.** 1993. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1993.

GAMA, J. R.F.N.; CARVALHO, E.J.M.; RODRIGUES, T.E.; VALENTE, M.A. **Solos do Estado do Pará, Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**, pag.19-29. EMBRAPA 2007.

GAMA, J.R.N.F.; RODRIGUES, T.E.; CARDOSO JÚNIOR, E.Q. **Levantamento dos solos e uso atual do Campo Experimental de Terra Alta, Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 30p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 45).

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; LOURENÇO, S. Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils: Nutrient management and plant efficiency. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E. et al. Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Campinas: **Brazilian Soil Science Society**, 1997. p. 97-104.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N. de; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.2, p. 460-467, 2006.

MAPA-SDA **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília - DF, 2007. 141 p.

MAPA-SDA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução normativa SDA nº 27, 05 de junho de 2006**. (Publicada no D.O.U do dia 09/06/2006, nº 110, seção 1, páginas 15 e 16).

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, UFLA, 2006.

NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. 3. Uberlândia, 2004. Palestras. **Anais...** Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM.

PIAU, W. C. **Efeito de escória de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L)**. 1995. 124 f. Tese (Doutorado

em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

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

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e na Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, Piracicaba - SP, v. 74, n. 2, p. 235-242, 1999.

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

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos. **Scientia Agricola**, Piracicaba - SP, v. 57, n. 4, p. 739-744, 2000.

PRADO, R.M; KORNDORFER, G.A. Effect of steel metallurgy basic slag on corn (*Zea mays*, L.) cultivated in yellow red dystrophic latosol, **Científica**, Jaboticabal - SP, 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 - SP, v. 26, n. 1, p. 140-144, 2004.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; CORRÊA, M.C.M.; SILVA, J.A.A. Liming and portharvest quality of carambola fruits. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba - PR v.48, n.5, p.689-696, 2005.

PRADO R. M.; NATALE W; FERNANDES, F.M.; CORRÊA M. C. M., Reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG v.28, p.197-205, 2004.

PRIMAVESI, A. C. et al. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coast cross adubado com ureia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v. 40, n. 3, p. 247-253, 2005.

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.

RAMOS, L.A.; NOIL, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em aolunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG v.30, p.849-857, 2006

ROCHA, L.C.M.; PRADO, R.M.; ALMEIDA T..B.F. Efeito residual da escória de siderurgia como fonte de silício para a cultura do sorgo. **Revista da FZVA**, Uruguaiana - RS, v.18, n.2, p. 101-115, 2001.

SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.500-505, 1980.

TESCARO, M. D. Eficiência do método da saturação por base para a correção da acidez de um solo Álico. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 23, 1998 Caxambu. **Resumos...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1998. p.103.

TOMÉ Jr., J.B. **Manual para a interpretação de análise do solo**. Ed. Agropecuária, Guaíba, 1997, 247p.

VALE, W. do D.; Prado, R.M.; BASTO, J. C. H. A. da. G; CAZETTA, J. O. Nitrogênio e escória de siderurgia nos atributos químicos do solo e na nutrição da cana-de-açúcar. **Revista da FZVA**. Uruguaiana - RS v.17, n.2, p. 199-220. 2010.

VIDAL, A.A.; PRADO, R.M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e ureia em Latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia - GO v.41, n.2, p.264-272, 2011.