

APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINERAÇÃO NA BLENDAGEM DE CALCÁRIO COMERCIAL PARA CORREÇÃO DO SOLO*

Ângela Franciely Machado¹;
Guilherme Nunes Lucena²;
Jefferson Santana da Silva Carneiro³;
João Vidal de Negreiros Neto⁴;
Antônio Clementino dos Santos⁵;
Rubens Ribeiro da Silva⁶

*Parte da monografia do primeiro autor, curso de Química Ambiental, Universidade Federal do Tocantins.

¹Estudante de Pós-graduação em produção Vegetal; E-mail: franciely_angel@hotmail.com; UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi. Rua Badejós, Lote 7, Chácara 69/72, Zona Rural, Cx. Postal 66, CEP: 77402-970.

²Pós-graduando em Química; E-mail: guilherme_nunes7@hotmail.com; Unesp - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus Araraquara. Rodovia Araraquara-Jaú, Km 1 - Caixa Postal 174 Araraquara-SP, CEP: 14800-901.

³Estudante de Agronomia da UFT, bolsista de Iniciação Científica CNPq; E-mail: carneirojss@yahoo.com.br; UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi. Rua Badejós, Lote 7, Chácara 69/72, Zona Rural, Cx. Postal 66, CEP: 77402-970.

⁴Estudante pós-graduação da UFT, bolsista doutorado CNPq; E-mail: joao_vidal@uol.com.br; UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi. Rua Badejós, Lote 7, Chácara 69/72, Zona Rural, Cx. Postal 66, CEP: 77402-970.

⁵Professor Associado I da UFT; Doutor em Tecnologias Energéticas Nucleares; E-mail: clementino@uft.edu.br; Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Araguaína. Br.153 - Km.112; Fazenda Universitária, CEP:77804970 – Araguaína -TO – Brasil.

⁶Professor Adjunto da UFT; Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Bolsista de produtividade CNPq; E-mail: rrs2002@uft.edu.br; UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi. Rua Badejós, Lote 7, Chácara 69/72, Zona Rural, Cx. Postal 66, CEP: 77402-970.

RESUMO

A atividade de mineração é uma exploração de recurso natural que causa impactos ambientais, assim tem-se buscado formas alternativas de reaproveitamento desses resíduos. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de uso do rejeito da mineração na blendagem do calcário comercial. O trabalho foi realizado em parceria com a empresa Caltins/JDemito. Trabalho realizado em três etapas: 1^a - amostragem e caracterização dos resíduos na pilha de rejeitos; 2^a - blendagem e caracterização dos novos corretivos de acidez do solo e 3^a - ensaio de incubação e calibração das doses de aplicação dos corretivos de acidez do solo. O ensaio de incubação foi realizado utilizando um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4+1, com 4 repetições. O fator referente quatro corretivos (T1: PN 92,50-94; T2: PN 95,50-98,50; Calcário comercial e Carbonato de cálcio PA) e o fator dois às doses dos corretivos (0,5; 1,0; 2,0; 4,0 t ha⁻¹) e mais a testemunha 0,0 t ha⁻¹. A blendagem do calcário comercial com os rejeitos da mineração foi eficiente para os tratamentos T1 e T2 elaborados na etapa dois. Essa eficiência foi confirmada na etapa de incubação, pois ambos tiveram efeito significativo na elevação do pH e neutralização da acidez potencial do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Porém, mesmo com incrementos nos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ nos corretivos avaliados, não foi possível o fornecimento ideal desses nutrientes para o solo, fato que pode ser explicado pela baixa constante de solubilidade do CaCO₃ e MgCO₃ respectivamente.

Termos de indexação: Constante de Solubilidade, Corretivo de Acidez, Poder de Neutralização

UTILIZATION OF WASTE MINING IN BLENDING IN LIMESTONE COMMERCIAL FOR CORRECTION OF SOIL

SUMMARY

Mining activity is an exploration of natural resource that cause environmental impacts, have sought alternative ways to recycle these wastes. Therefore, this study aimed to evaluate the potential use of waste mining in blending commercial limestone. The work was done in partnership with Caltins/JDemito. Work carried out in three steps: 1st - sampling and waste characterization in the pile of tailings; 2nd - blending and characterization of new corrective soil acidity and 3rd - testing and calibration of incubation doses of liming soil acidity. The assay incubation was conducted using a completely randomized design in a factorial 4x4+1, with 4 repetitions. The corrective factor regarding four (T1: PN 92.50 to 94, T2: PN 95.50 to 98.50, Commercial limestone and Calcium carbonate PA) and the factor two to the doses of correctives (0.5; 1.0; 2.0; 4.0 t ha⁻¹) and more the witness 0.0 t ha⁻¹. The blending of commercial limestone with mining waste was efficient for the T1 and T2 treatments elaborated in the second stage. This efficiency was confirmed in the incubation stage, as both had a significant effect on the increase of pH and neutralization of potential acidity of the Latosol Vermelho Amarelo dystrophic. However, even with increases in the contents of Ca²⁺ and Mg²⁺ in the correctives evaluated, it was not possible to provide the ideal of these nutrients for the soil, a fact that can be explained by the low solubility constant of CaCO₃ and MgCO₃ respectively.

PN 95.50 to 98.50; commercial Limestone and Calcium Carbonate PA) and the factor of two at doses of lime (0.5, 1.0, 2.0, 4.0 t ha⁻¹) plus the control and 0.0 t ha⁻¹. The blending of commercial limestone with mining tailings was efficient for T1 and T2 developed in step two. This efficiency was confirmed in the incubation stage, as both had a significant effect in raising the pH and neutralize the potential acidity of dystrophic Typic. However, even with increases in Ca²⁺ and Mg²⁺ in corrective evaluated, it was not possible optimal supply of these nutrients to the soil, which can be explained by the low solubility constant of CaCO₃ and MgCO₃ respectively.

Index terms: Constant Solubility, Concealer Acidity, Power Neutralization

INTRODUÇÃO

A atividade de mineração é uma exploração de recurso natural que causa impactos ambientais não só na área minerada como também nas áreas vizinhas. No solo causa destruição direta com a retirada da cobertura vegetal. Na água altera sua qualidade com a disposição de rejeitos e assoreamento dos cursos d'água. A perfuração da rocha associada à detonação de explosivos prejudica a qualidade do ar. Flora e fauna também são afetadas com a degradação e destruição do habitat faunístico (Tonietto & Silva, 2011).

No Brasil, estima-se que a produção de rejeitos da mineração de calcário no ano de 2012 foi na ordem de 13,43 Mt, com perspectiva para o ano de 2030 na ordem de 20,35 Mt (IPEA, 2011). Tradicionalmente, esses resíduos são descartados em aterros e, muito comumente, são jogados diretamente no meio ambiente, sem qualquer processo de tratamento. As mineradoras que realizam suas atividades em minas a céu aberto, têm seu minério chamado de *run of mine* (ROM). Esse minério é descarregado nos britadores primários, que alimentam as usinas de beneficiamento ou pilhas de homogeneização e o estéril é descarregado nas pilhas de deposição. Muitas vezes é necessário fazer uma blendagem dos minérios de várias frentes de lavra ou de diferentes minas, com o objetivo de se assegurar a uniformidade da alimentação (Rodrigues & Pinto, 2012). O termo blendagem diz respeito a uma mistura, em proporções definidas, de minérios de características diferentes, com o objetivo de se obter uma massa com características específicas (Moraes et al., 2006).

Na atividade de mineração existem dois principais tipos de resíduos sólidos gerados pelos processos de decapeamento e beneficiamento, que são respectivamente, os estéreis e os rejeitos. As quantidades geradas desses resíduos são sempre muito grandes e depende dentre outros fatores, do processo utilizado para extração do minério e da localização da jazida em relação à superfície (IPEA, 2011). Os resíduos sólidos contendo substâncias minerais apresentam potencial para uso em outras atividades industriais ou na agricultura (Rocha et al., 2013).

Cada vez mais a agricultura brasileira tem buscado novos insumos e matérias-primas para garantir a sustentabilidade e soberania do setor agrícola do país. Dentre esses insumos vem aumentando a busca por fertilizantes adequados para os mais diversos sistemas de produção (Gardin et al., 2011). Entretanto, a busca de reaproveitamento desses resíduos de modo que sejam economicamente viáveis e ajudem satisfatoriamente o meio ambiente, tem sido alvo de pesquisas nos últimos anos, visando o emprego desses resíduos na melhoria da fertilidade e correção de acidez do solo.

Na busca por processos de disposição de resíduos ambientalmente corretos e economicamente viáveis, alguns pesquisadores já estudam pó de rochas como fonte de potássio, silício, micronutrientes e corretivos da acidez do solo (Mesquita et al., 2009). Raymundo et al. (2013) avaliaram a capacidade de neutralização da acidez de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico por meio da comparação entre um resíduo de mármore serrado e um calcário comercial. Estes autores constataram que o resíduo apresentou bom potencial para a utilização como corretivo de acidez de solo, com reatividade inicial superior à do calcário comercial. Já Bertossi et al. (2012) avaliaram a influência do uso de resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Os autores observaram que o

resíduo forneceu cálcio, magnésio, potássio, sódio e manganês, além de aumento na condutividade elétrica e pH. Contudo, observaram também riscos à salinidade, salientando a necessidade de mais estudos sobre o uso desse resíduo.

Aliado ao potencial de utilização agrícola de diversos resíduos e frente as milhões de toneladas de resíduos inorgânicos que são produzidos a cada dia nas atividades de mineração e beneficiamento mineral em todo o mundo, alternativas para reciclagem e/ou reutilização devem ser investigadas e, sempre que possível devem ser implementadas. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo avaliar o potencial de uso do rejeito da mineração na blendagem do calcário comercial produzido pela empresa Caltins/JDemito, e nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em parceria estabelecida entre a Universidade Federal do Tocantins e a mineradora Caltins/JDemito. O projeto foi executado em três etapas, sendo a primeira realizada nas dependências da mineradora de calcário Caltins/JDemito no município de Bandeirantes -TO, e as etapas dois e três nas dependências da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Na UFT, o trabalho foi conduzido na estação experimental do Campus Universitário de Gurupi, localizado na região sul do Tocantins, a 280 m de altitude e coordenadas 11°43'45" de latitude S e 49°04'07" de longitude W. Segundo a classificação climática de Köppen (1948), o clima regional é do tipo blwA'a' úmido com moderada deficiência hídrica. A temperatura média anual é de 29,5 °C, com precipitação anual de 1.804 mm. A etapa um correspondeu à amostragem e caracterização dos resíduos na pilha de rejeitos. Na etapa dois foi realizada a blendagem e caracterização dos novos corretivos de acidez do solo (T1 e T2), e na etapa três realizou-se o ensaio de incubação e calibração das doses de aplicação dos corretivos de acidez do solo.

Etapa 1: Amostragem e caracterização dos resíduos na pilha de rejeitos

A amostragem foi realizada seguindo uma malha de 5,0 m x 4,0 m nos sentidos norte-sul e leste-oeste sobre a pilha de rejeitos, respectivamente. Em cada ponto da malha também foi feita amostragem nas profundidades de 0 – 1,5 m; 1,5 – 3,0 m; 3,0 – 4,5 m; 4,5 – 6,0 m; 6,0 – 7,5 m e 7,5 – 9,0 m, totalizando seis profundidades diferentes. A coleta de amostra nas diferentes profundidades fez-se necessária para subsidiar maior exatidão dos indicadores de composição do rejeito, sendo a mesma realizada por uma perfuratriz pneumática cedida e operada pela empresa Caltins/JDemito. A amostragem foi realizada em 37 pontos distintos sobre a malha, totalizando 222 amostras. A caracterização química das amostras foi realizada em equipamento de difração de raios-x, onde foram determinadas as porcentagens dos óxidos SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃ e Fe₂O₃, e a determinação do Poder de Neutralização (PN) mostrado na Equação 1.

$$PN = (\%CaO \times 1,78) + (\%MgO \times 2,48) \quad \text{Equação 1}$$

Para as análises de difração de raios-x, as amostras foram submetidas a moagem em almofariz e peneiradas em malha de abertura de 0,15 mm. Posteriormente foram analisadas em difratômetro Panalytical, série Epsilon3.

Etapa 2: Blendagem e caracterização dos novos corretivos de acidez do solo

Finalizada a etapa de amostragem e caracterização das 222 amostras do rejeito, separaram-se 60 amostras baseadas no valor de Poder de Neutralização (PN), as quais foram separadas segundo seus valores de PN, sendo selecionadas as 20 amostras de valores mais altos, as 20 de menores valores e as 20 de valores medianos. A blendagem do calcário foi realizada com as 60 amostras separadas, obtendo assim 60 novas amostras de corretivo de acidez blendadas. A Eficiência Relativa (ER) do rejeito foi de 93,16%. Assim o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) do rejeito

foi calculado conforme a Equação 2 e apresentado na Tabela 1. A blendagem foi realizada a fim de se obter um corretivo de acidez do solo com PN de 90% e massa final de calcário blendado de 20 g (Equações 3 e 4).

$$PRNT = \frac{PN \times ER}{100}, \text{ onde } ER = 93,16\% \quad \text{Equação 2}$$

Tabela 1: Caracterização química por difração de raio-x dos rejeitos utilizados na blendagem do calcário comercial para produção dos corretivos de acidez T1 e T2. Gurupi – TO.

Corretivo de acidez	Ponto	%						
		SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	PN	PRNT
T1	25 (0 – 1,5 m)	16,62	25,31	14,19	0,95	0,94	80,24	74,75
	3 (3,0 – 4,5 m)	12,52	28,35	16,10	0,76	0,70	90,39	84,17
	33 (3,0 – 4,5 m)	16,03	26,04	14,09	0,89	0,87	81,29	75,73
Média T1		15,05	26,56	14,76	0,86	0,83	84,25	78,21
T2	3 (0 – 1,5 m)	12,40	27,37	14,73	0,51	0,58	85,25	79,42
	23 (0 – 1,5 m)	10,00	29,12	15,69	0,56	0,57	90,75	84,54
	35 (0 – 1,5 m)	10,28	29,41	15,24	0,50	0,61	90,14	83,97
	7 (3,0 – 4,5 m)	9,84	28,24	14,31	0,53	0,51	85,75	79,88
	8 (3,0 – 4,5 m)	12,41	27,57	15,11	0,64	0,68	86,54	80,62
	25 (3,0 – 4,5 m)	9,75	27,66	13,88	0,64	0,63	83,65	77,93
	35 (7,5 – 9,0 m)	10,75	28,03	14,09	0,59	0,59	84,83	79,03
Média T2		10,77	28,20	14,72	0,56	0,59	86,98	80,77
Calcário Comercial		-	30,29	17,89	-	-	98,28	92,01

A blendagem foi realizada conforme as equações 3 e 4:

$$m_a = 20 - m_b \quad \text{Equação 3}$$

$$m_b = 0,2 \times \left(\frac{90 - 100X_a}{X_b - X_a} \right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde: m_a = massa do calcário comercial; m_b = massa do rejeito; x_a = PRNT do calcário comercial; x_b = PRNT do rejeito; O m_b foi calculado para fazer 20 g de corretivo de acidez blindado.

A partir das equações mostradas acima, realizou-se o preparo de dois novos corretivos de acidez do solo designados como T1 e T2. As amostras foram submetidas à moagem em moinho de bolas e peneiramento em peneira de malha 0,355 mm de abertura para obtenção de granulometria inferior a 0,355 mm. Os corretivos de acidez do solo T1 e T2 foram preparados através da blendagem do calcário comercializado pela empresa Caltins/JDemito, com o rejeito de granulometria inferior a 0,355 mm com o objetivo de se obter dois novos corretivos de acidez do solo com PN igual a 90%. A proporção de massa entre o calcário comercial e o rejeito em todos os pontos para a produção de T1 e T2 é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Massa do rejeito e calcário comercial necessária para blendagem na formulação dos corretivos de acidez do solo T1 e T2 com PN de 90%. Gurupi – TO.

Calcário	Ponto/profundidade	Massa mineral (g)		
		Massa Rejeito	Massa Calcário Comercial	Massa Total
T1	25 (0 – 1,5 m)	2,3	17,7	20,00
	3 (3,0 – 4,5 m)	5,1	14,9	20,00
	33 (3,0 – 4,5 m)	2,5	17,5	20,00
T2	3 (0 – 1,5 m)	3,2	16,8	20,00
	23 (0 – 1,5 m)	5,4	14,6	20,00
	35 (0 – 1,5 m)	5,0	15,0	20,00
	7 (3,0 – 4,5 m)	3,3	16,6	20,00
	8 (3,0 – 4,5 m)	3,5	16,7	20,00
	25 (3,0 – 4,5 m)	2,8	17,2	20,00
	35 (7,5 – 9,0 m)	3,1	16,9	20,00

Posteriormente, as amostras nas profundidades de 0 – 1,5 m; 3,0 – 4,5 m e 7,5 – 9,0 m foram agrupadas em função do seu valor de PN no qual se escolheu as faixas de PN 92,50 – 94 para o corretivo de acidez do solo T1 e 95,50 – 98,5 para o corretivo de acidez do solo T2 para a realização do trabalho de incubação (Tabela 2). Os novos corretivos de acidez T1 e T2 foram submetidos a análises de difração de raios-x para determinação dos teores de SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃ e Fe₂O₃, e a determinação do Poder de Neutralização (PN) mostrado na Equação 1.

Etapa 3: Ensaio de incubação e calibração das doses de aplicação dos corretivos de acidez do solo

O ensaio de incubação e calibração foi instalado sob casa de vegetação localizada no Campus Universitário de Gurupi. O solo trabalhado foi proveniente do horizonte A/B de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização química e textural do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico utilizado na etapa de incubação e calibração dos corretivos de acidez do solo, Gurupi – TO

Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	K	CTC(T)	SB	CTC(t)	K	P
.....cmolc dm ⁻³mg dm ⁻³				
0,15	0,10	0,05	0,00	3,50	0,01	2,37	0,49	0,49	4,98	0,97
V	m	Mat. Org.		pH _{H2O}	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
.....(%).....%.....	..g dm ⁻³Textura (%).....			Textura (g kg ⁻¹).....			
20,76	0,00	1,53	15,31	5,84	50,90	6,67	42,39	509,49	66,66	423,9

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os 16 tratamentos foram obtidos em um esquema fatorial 4x4, sendo quatro corretivos (T1: PN 92,50-94; T2: PN 95,50-98,50; Calcário comercial (sem blendagem) e Carbonato de cálcio PA) e quatro doses dos corretivos (0,5; 1,0; 2,0; 4,0 t ha⁻¹) mais a testemunha 0,0 t ha⁻¹. Cada tratamento foi composto por 0,5 kg de solo, mais a dose de corretivo equivalente para 0,5 kg de solo. Em seguida, foi adicionado a cada uma destas amostras, volume de água equivalente a 70% da capacidade de campo (175 mL). Os sacos plásticos foram fechados, e submetidos a aberturas periódicas para ocorrer trocas gasosas. A incubação foi executada durante um período de 28 dias. Para avaliar o potencial das blindagens como corretivo do solo foram avaliados o pH, sendo as leituras de pH realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias de incubação. Foram avaliados ainda os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e acidez potencial (H+Al) aos 28 dias de incubação conforme metodologia proposta pela Embrapa (1997). O pH foi obtido por potenciometria com pHmetro da marca MS Tecnoyon Instrumentação, modelo mPA210, com eletrodo Ag/AgCl. A leitura dos atributos Ca²⁺ e Mg²⁺ foram realizadas em equipamento Espectrofotométrico de Absorção Atômica da marca Agilent Technologies, modelo 55AA com atomizador de chama e lâmpadas de cátodo oco, numa diluição de 1:9 (extrato de KCl:La₂O₃). Já a acidez potencial foi obtida por titulação feita com bureta digital da marca Brand e modelo Digital Buret™ Easy Calibration.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão, avaliando a significância dos betas e dos coeficientes de determinação utilizando o programa Estatística versão 7.0 (STATSOFT, 2014). Os gráficos das regressões foram plotados utilizando o programa estatístico Sigma Plot versão 13.0®, sendo o modelo escolhido com base na melhor significância dos betas (SYSTAT, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os corretivos T1 e T2 obtidos a partir da blendagem do calcário comercial com os rejeitos da mineração de calcário produzidos na Caltins/JDemito foram caracterizados por difração de raios-x obtendo-se novas porcentagens dos óxidos SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃ e Fe₂O₃ e a determinação do Poder de Neutralização (PN) a partir dos valores de CaO e MgO (Tabela 4). Os novos valores de caracterização química dos calcários blendados T1 e T2 mostraram que a blendagem foi eficiente apresentando valores de PN acima do esperado de 90%. O menor valor de PN (92,80) correspondeu ao ponto

33 na profundidade de 3,0-4,5 m e o PN (98,44) de maior valor foi no ponto 25 também na profundidade de 3,0-4,5 m. Esses valores de PN obtidos na blendagem podem ser justificados pelos altos teores de CaO e MgO presentes nos novos corretivos de acidez do solo blendados T1 e T2. A legislação brasileira determina que os calcários para serem comercializados, devem possuir no mínimo 38% de CaO+MgO. O corretivo de acidez comercializado pela empresa Caltins/JDemito possui essa soma de CaO e MgO de 48,18%. Os corretivos de acidez blendados T1 e T2 obtiveram valores dessa soma de 45,89 e 47,56 respectivamente. Esses valores nos teores de CaO e MgO podem justificar o fato de o PN da blendagem ter sido superior à expectativa que era de 90%, chegando assim numa média de 93,40% para o T1 e 96,67% para o T2.

Tabela 4: Caracterização química dos corretivos de acidez do solo T1 e T2 por difração de raios-X. Gurupi -TO

Calcário	Ponto	%						PN	PRNT
		SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			
T1	25 (0 – 1,5 m)	8,37	29,35	16,78	0,40	0,34	93,86	87,87	
	3 (3,0 – 4,5 m)	8,80	29,23	16,75	0,43	0,39	93,57	87,60	
	33 (3,0 – 4,5 m)	9,36	28,88	16,69	0,41	0,40	92,80	86,88	
Média T1		8,84	29,15	16,74	0,41	0,37	93,40	87,44	
T2	3 (0 – 1,5 m)	8,58	30,14	17,04	0,35	0,30	95,91	89,79	
	23 (0 – 1,5 m)	8,54	29,91	17,25	0,37	0,34	96,02	89,89	
	35 (0 – 1,5 m)	8,42	30,12	17,27	0,34	0,31	96,44	90,29	
	7 (3,0 – 4,5 m)	6,99	30,83	17,04	0,36	0,29	97,14	90,94	
	8 (3,0 – 4,5 m)	8,54	30,00	17,11	0,37	0,33	95,83	89,72	
	25 (3,0 – 4,5 m)	6,20	31,03	17,42	0,37	0,29	98,44	92,15	
35 (7,5 – 9,0 m)	6,95	30,77	17,02	0,36	0,30	96,98	90,79		
Média T2		7,75	30,40	17,16	0,36	0,31	96,67	90,50	

Na avaliação do efeito do tempo de incubação foi observado que o atributo pH apresentou resposta quadrática significativa ($P \leq 0,05$) em função das doses crescentes dos corretivos de acidez PA (98% CaCO₃), Comercial, T1 (PN 92,50-94) e T2 (PN 95,50-98,50) ao longo do período de incubação (Figura 1). Na primeira semana de avaliação os valores de pH independentemente da dose ou do corretivo apresentaram valores de pH acima de 6,5, valor considerado ideal para a maioria das culturas.

O corretivo de acidez do solo PA, em função de sua pureza de 98% de CaCO₃ apresentou maiores valores de pH quando comparados aos outros corretivos. O menor pH obtido pelo uso do corretivo PA foi de 6,33 correspondendo à dose de 0,5 t ha⁻¹ no 21º dia de incubação. O maior valor de pH 7,78 foi relativo à dose de 2 t ha⁻¹ no 7º dia. O corretivo de acidez Comercial quando avaliado na dose 0,5 t ha⁻¹ nos dias 14, 21 e 28, e na dose 1 t ha⁻¹ nos dias 21 e 28 de incubação se mostrou satisfatório na faixa ideal de pH para o solo. Enquanto que nas doses 2 t ha⁻¹ e 4 t ha⁻¹ durante todos os dias de incubação, o pH manteve-se acima do ideal de 6,5 para a maioria das culturas.

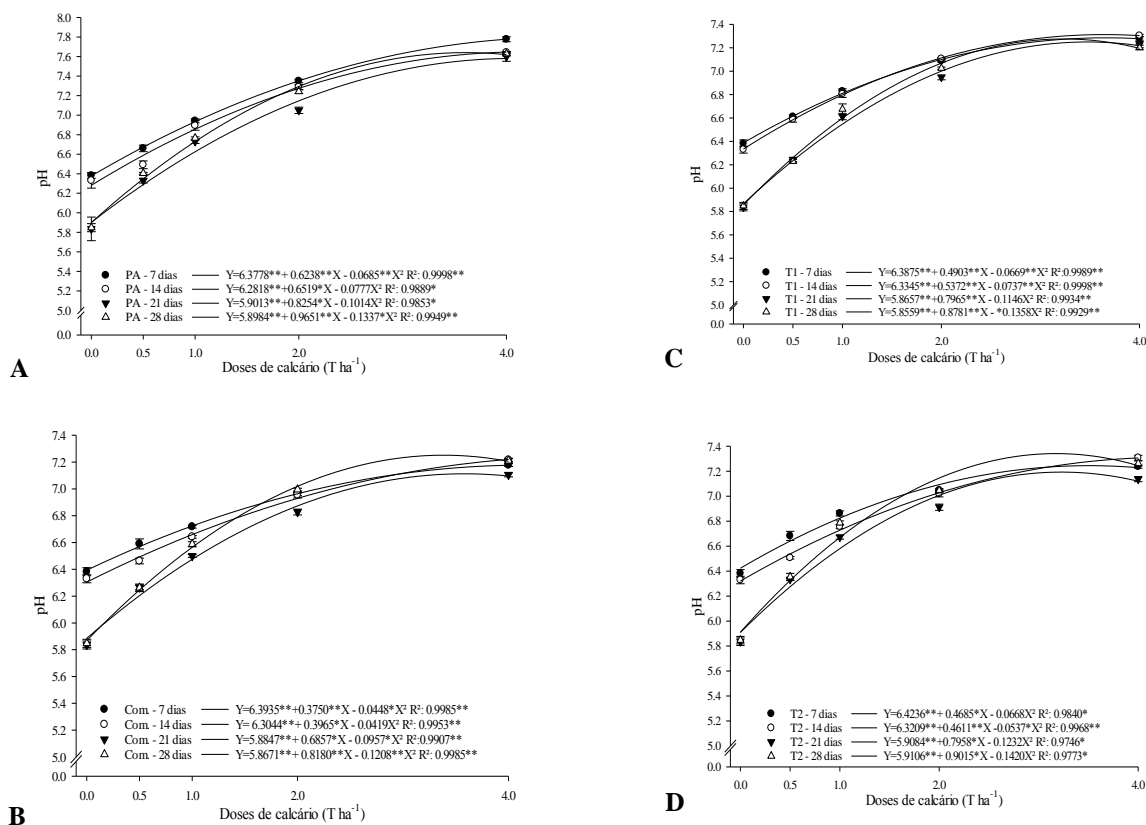
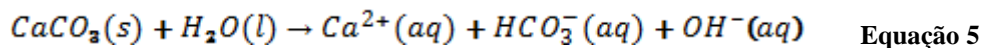


Figura 1: Alteração do pH de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico em função de doses dos corretivos PA, Comercial, T1 e T2, (A, B, C, D respectivamente) no período de incubação de 28 dias. Gurupi TO.

O corretivo de acidez do solo T1 (PN 92,50-94) apresentou aceitável com valores de 6,25 e 6,23 na dose 0,5 t ha⁻¹ nos dias 21 e 28 de incubação respectivamente. Nas demais doses nos dias de incubação o pH manteve-se acima do ideal. Já no corretivo T2 (PN 95,50-98,50) a dose de aplicação de 0,5 t ha⁻¹ nas últimas três semanas foi favorável ao pH adequado para a maioria das culturas. Na primeira semana de incubação os valores de pH variaram de 6,68 para a dose 0,5 t ha⁻¹ até 7,24 para a dose 2 t ha⁻¹, sendo considerado acima do pH ideal que varia de 5,7 a 6,5.

Na avaliação semanal da influência dos diferentes corretivos de acidez do solo no pH do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico foi observado decréscimo do pH até os 21 dias e uma estabilização no final da incubação (28 dias) para todos os corretivos de acidez do solo. Esse comportamento pode ser justificado pelo consumo do calcário no solo, onde o carbonato de cálcio reage com a água liberando o cátion Ca²⁺ e dois ânions OH⁻ (Equações 5, 6 e 7). O ânion HCO₃⁻ pode neutralizar diretamente o H₃O⁺ liberando água e gás carbônico. O íon hidroxila por sua vez se liga às fontes potenciais de acidez como, por exemplo, ao Al³⁺ (Alumínio trocável).



Calegari et al. (2011) evidenciaram que um solo com pH alcalino apresentou efeito negativo sobre o teor de sólidos solúveis e atraso na maturação de frutos do meloeiro devido à deficiência de alguns elementos induzidos pela

alcalinidade do solo. Assim, a elevação do pH do solo a valores superiores a sete poderá provocar mais facilmente efeitos negativos nos cultivos agrícolas (Tamanini et al, 2008; Monte Serrat et al, 2011).

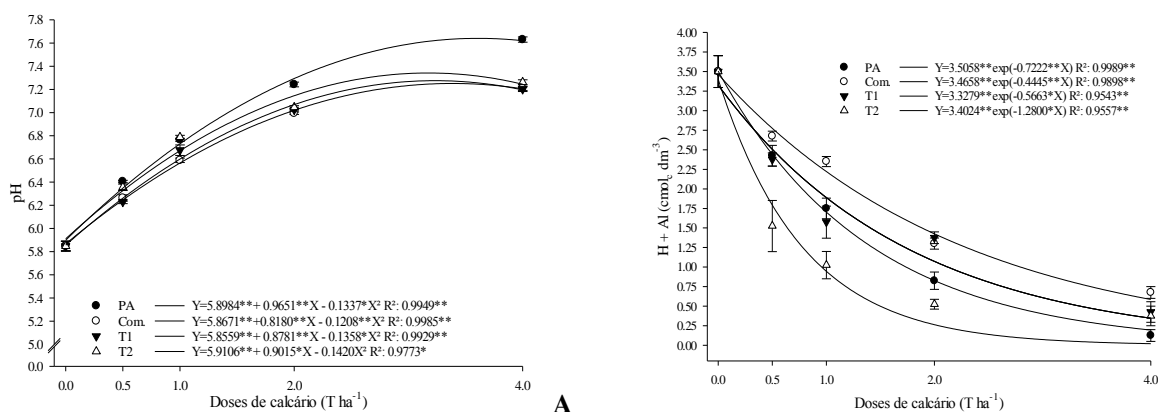


Figura 2: Alteração do pH e Teores de H+Al do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico no término da incubação em função das doses crescentes de diferentes calcários. Gurupi TO.

A faixa de pH determinado em água acima de 7,0 apresentou efeito depressivo na produtividade de culturas como milho, soja e trigo, já que esse pH de 7,0 compromete o suprimento de nutrientes tais como Mn, Fe, Zn, Cu e B (Monte Serrat et al, 2011).

Na avaliação do atributo pH do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico ao final dos 28 dias da incubação foi observada resposta quadrática significativa ($P \leq 0,05$) em função das doses crescentes para os corretivos de acidez PA (98% CaCO₃), Comercial, T1 (PN 92,50-94) e T2 (PN 95,50-98,50) (Figura 2A).

Ao final dos 28 dias de incubação os corretivos de acidez avaliados mostraram-se eficientes na elevação do pH quando comparados ao tratamento controle, 0 t ha⁻¹. A dose de 0,5 t ha⁻¹ de corretivo foi a dose em que o pH ficou dentro da faixa recomendada para o cultivo agrícola dos diferentes corretivos avaliados. Essa capacidade dos corretivos de acidez favorecerem o aumento do pH do solo é importante, pois além de estimular a atividade microbológica, pode diminuir as perdas de potássio por lixiviação, devido à criação de cargas negativas (Silva et al., 2012). Outra importância dessa eficiência é o fato do T1 e T2 serem produtos da reciclagem de resíduos da mineração de calcário, com a confirmação do potencial para uso agrônômico.

A partir da dose 2,0 t ha⁻¹, tanto os corretivos T1 e T2, quanto os corretivos PA e Comercial foram capazes de promover pH próximo da neutralidade ou levemente alcalino no Latossolo Vermelho Amarelo distrófico aos 28 dias de incubação (Figura 2A). O pH do solo é o indicador que mais influencia o equilíbrio químico da partição de metais entre o solo e a solução do solo, ou seja, sua adsorção e dessorção. Assim, de um modo geral, pH neutro ou ligeiramente alcalino como os obtidos nesse trabalho a partir da dose 2,0 t ha⁻¹, atuam na adsorção e imobilização de cátions metálicos nutrientes como por exemplo Cu²⁺, Mn²⁺ e Zn²⁺, e poluentes como Cd²⁺, Cr⁶⁺ e Pb²⁺. Essa imobilização ocorre através da formação de compostos pouco solúveis como hidróxidos, carbonatos e fosfatos (Soares, 2004; Kemerich et al., 2013).

Na avaliação da acidez potencial foi observada redução exponencial com o aumento da dose recomendada para todos os corretivos utilizados (Figura 2B). Com a aplicação da dose de 4,0 t ha⁻¹, os corretivos T1 e T2 mostraram-se mais eficientes que o corretivo de acidez Comercial, indicando mais uma vez o potencial do aproveitamento agrícola dos rejeitos da mineração de calcário. Os valores de acidez potencial proporcionado por esses dois calcários são considerados muito baixos e ideais para o solo (CFSEMG, 1999).

Além de influenciar na solubilidade dos carbonatos, o pH do solo também influenciou a acidez potencial (H+Al). A acidez do solo controla a reação de dissolução do Al³⁺, sendo que sua solubilidade é mínima em pH acima de 5,5 (Souza

et al., 2007; Rosado et al., 2014). Além disso, de modo geral, a atividade do Al^{3+} na solução diminui com o aumento do pH (Lindsay, 1979).

A diminuição da acidez potencial e consequentemente a redução dos teores de H^+ , favorece melhorias na produtividade das culturas. A toxicidade do cátion Al^{3+} , além de reduzir o crescimento das raízes, diminuindo a absorção de água e nutrientes, interfere na absorção e transporte de nutrientes como o magnésio e o cálcio (Silva et al., 2013).

Quanto aos teores de Ca^{2+} , como o pH do solo não atingiu valores superiores a 8,5 ocorreu apenas a solubilização do carbonato de cálcio. Em função disso, foi observado incrementos nos teores de Ca^{2+} com o aumento das doses de aplicação. Em relação aos teores de Ca^{2+} no Latossolo Vermelho Amarelo distrófico ao final da incubação, é possível observar que não houve diferenças significativas no comportamento desse atributo quando são comparados os corretivos de acidez T1, T2 e Comercial (Figura 3A). O atributo Ca^{2+} do apresentou resposta quadrática significativa ($P \leq 0,05$) para os corretivos de acidez PA, T1 e T2 e resposta de significância linear ($P \leq 0,05$) para o corretivo de acidez do solo comercial.

Mesmo com incrementos nos teores de Ca^{2+} com o aumento nas doses de aplicação desses calcários não foi possível o fornecimento ideal dos teores de Ca^{2+} para o solo. Na maior dose de aplicação $4,0 t ha^{-1}$, o teor de cálcio foi de aproximadamente $1,20 cmol_c dm^{-3}$, valor considerado baixo para a maioria dos solos (CFSEMG, 1999). Solos com baixos teores de cálcio podem provocar sérios danos ao desenvolvimento das culturas. Este nutriente é responsável por manter a integridade estrutural das membranas e paredes celulares. Além disso, atua na regulação de vários processos fisiológicos e metabólicos. Sua deficiência resulta principalmente na redução do crescimento de tecidos meristemáticos e apicais e morte do sistema radicular (Marschner, 1995; Daflon et al., 2014).

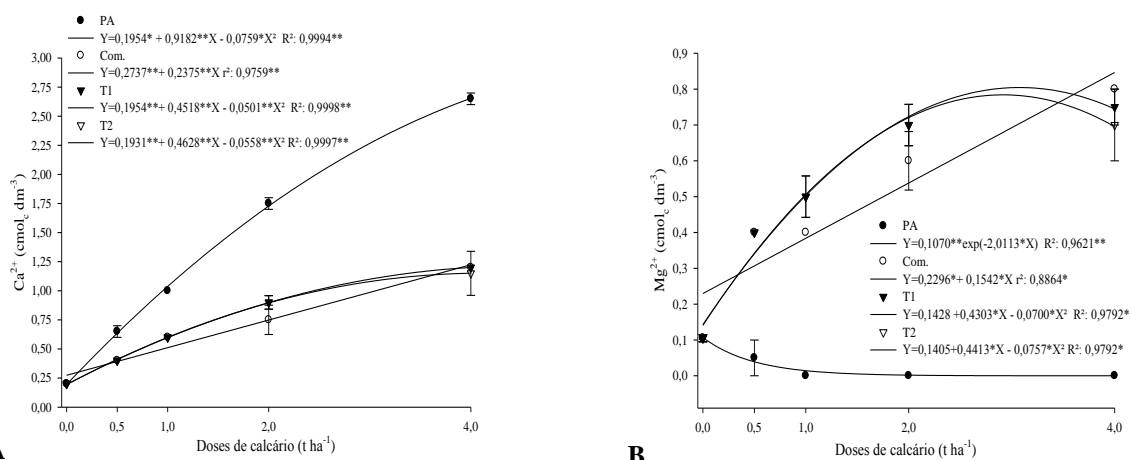


Figura 3: Teores de Ca^{2+} (A) e Mg^{2+} (B) em função das doses crescente de aplicação dos diferentes corretivos de acidez no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Gurupi TO.

O Mg^{2+} apresentou resposta quadrática significativa ($P \leq 0,05$) para os corretivos T1 e T2. Enquanto que para o corretivo PA sua resposta significativa foi ao modelo exponencial ($P \leq 0,05$) e no corretivo de acidez comercial apresentou significância ao modelo linear ($P \leq 0,05$) (Figura 4 B). Quanto aos teores de Mg^{2+} também foram observados incrementos com o aumento das doses dos corretivos de acidez. Essa tendência geral ocorreu exceto para o calcário PA, pois o mesmo não apresenta teores relevantes de $MgCO_3$. De forma semelhante ao nutriente cálcio, os teores de magnésio também não são considerados ideais. Para os corretivos comercial, T1 e T2, nas doses de aplicação $0,5$ e $1,0 t ha^{-1}$ o maior teor de magnésio foi de aproximadamente $0,5 cmol_c dm^{-3}$, valor considerado baixo. Já nas doses de $2,0$ e $4,0 t ha^{-1}$ os teores são considerados medianos, pois estão dentro do intervalo de $0,46$ a $0,90 cmol_c dm^{-3}$ (CFSEMG, 1999). O maior teor de magnésio obtido com o uso do calcário comercial é condizente com seu maior aporte de MgO que é de 17,89%.

Assim como a deficiência de cálcio, baixos teores de magnésio podem proporcionar diminuição na produtividade das culturas. O Mg^{2+} desempenha funções importantes na fisiologia vegetal, pois participa dos processos de fosforilação oxidativa, fixação de CO_2 , síntese de proteínas e geração de espécies reativas de oxigênio (radicais livres) e na fotossíntese foliar. Desta forma, deficiências de Mg^{2+} podem desregular vários processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas (Hermans et al., 2005; Moreira et al., 2013).

CONCLUSÕES

1 - O calcário produzido pela mineradora Caltins/JDemito e blendado com o rejeito da mineração de calcário, apresentou bom potencial para correção de acidez do solo. Porém, mesmo com o Poder de Neutralização (PN) chegando a valores superiores de 90%, a disponibilidade dos nutrientes Ca^{2+} e Mg^{2+} não foi eficiente em nenhum dos corretivos de acidez avaliados.

1 - Os valores da eficiência demonstram que o método da neutralização do Al^{3+} e da elevação dos teores de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ e do método de saturação por bases subestimam os valores de recomendação de calagem para as culturas arroz, eucalipto, milho, pastagem e soja. No caso do eucalipto para o método de saturação por bases, a média da eficiência significa que nesse método a recomendação supre apenas 27,12% da demanda.

LITERATURA CITADA

- BERTOSSI, A.P.A.; NEVES, M.A.; CARDOSO, M.S.N.; PRADO, A.C.A.; DAMASCENO, A.C.; POLIDORO, F.C. Influência da Utilização do Resíduo Fino de Beneficiamento de Rochas Ornamentais Silicáticas na Qualidade do Solo e da Água. *Geociências*, 31: 185-195, 2012.
- CALLEGARI, R.A.; MORAIS, F.A.; MIRANDA, N.O.; GÓES, G.B.; SILVA, R.M. Correlação entre qualidade e produtividade de frutos do meloeiro e o pH do solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 6: 08-12, 2011.
- CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, 1999. 359p.
- DAFLON, D.S.G.; FREITAS, M.S.M.; CARVALHO, A.J.C.; MONNERAT, P.H.; PRINS, C.L. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em coentro. *Hortic. Bras.*, 32:28-34, 2014.
- EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solos. -2ª Ed. rev. atual. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, Rio de Janeiro, 1997, 212 p.
- GARDIN, J.P.P.; DOUMER, M.E.; MESSIAS, R.S.; SOUZA, E.L.; FERNANDES, A.; ROZA-GOMES, M.F. Produtividade da cultura do milho e atividade de enzimas do metabolismo dos carboidratos com fertilizantes foliares contendo água de xisto. *Evidência*, 11: 83-90, 2011.
- HERMANS, C.; BOURGIS, F.; FAUCHER, M.; DELROT, S.; STRASSER, R.J.; VERBRUGGEN, N. Magnesium deficiency in sugar beet alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. *Planta*, 220:541-549, 2005.
- IPEA-Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Caderno de Diagnóstico: Resíduos Sólidos da Atividade de mineração. IPEA, Brasília, 41p. 2011.
- KEMERICH, P.D.C.; MENDES, S.A.; VORPAGEL, T.H.; PIOVESAN, M. Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico no solo. *Engenharia Ambiental*, 10:208-219, 2013.
- KÖPPEN, W. Climatologia: com um estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica. México. 479p. 1948.
- LINDSAY, W.L. Chemical Equilibria Soils. New York: John Wiley & Sons, 1979, 449 p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic: London. 1995
- MESQUITA, L.F.; FILHO, J.C.; ANDRADE, F.V. Calcário marinho e resíduo de marmoraria como corretivos alternativos da acidez em latossolos. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XIII., 2009, São José dos Campos - SP. Anais... São José dos Campos: UNIVAP, 4 p. 2009.
- MONTE SERRAT, B.; SANTIAGO, T.R.; BITTENCOURT, S.; MOTTA, A.C.V.; SILVA, L.A.T.P.; ANDREOLI, C.V. Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina: estudo comparativo de curvas de pH de solos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n.19, p.30-37, 2011.
- MORAES, E.F.; ALVES, J.M.C.B.; SOUZA, M.J.F.; Um modelo de programação matemática para otimizar a composição de lotes de minério de ferro na mina Cauê da CVRD. *Revista Escola Minas*, 59:299-306, 2006.
- MOREIRA, W.R.; RESENDE, R.; RODRIGUES, F.A.; ANDRADE, C.C.L.; NASCIMENTO, C.W.A. Influência do Magnésio na Resistência do Arroz à Mancha Parda. *Bragantia*, 72: 154-161, 2013.

MACHADO, AF; LUCENA, GN; CARNEIRO, JSS; NEGREIROS NETO, JV; SANTOS, AC; SILVA, RR.NIKKEL, M; LIMA, SO. APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINERAÇÃO NA BLENDADE DE CALCÁRIO COMERCIAL PARA CORREÇÃO DO SOLO. *Amazon Soil – I Encontro de Ciência do Solo da Amazônia Oriental*, p. 17-27.

- RAYMUNDO, V.; NEVES, M.A.; CARDOSO, M.S.N.; BREGONCI, I.S.; LIMA, J.S.S.; FONSECA, A.B. Resíduos de serragem de Mármore como corretivo da acidez de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17: 47-53, 2013.
- ROCHA, I.T.M.; SILVA, A.V.; SOUZA, R.F.; FERREIRA, J.T.P. Uso de resíduos como fonte de nutrientes na agricultura. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8: 47-52, 2013.
- RODRIGUES, L.F. & PINTO, L.R. Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto. *Revista Escola Minas*, 65:377-384, 2012.
- ROSADO, T.L.; GONTIJO, I.; ALMEIDA, M.M.; ANDRADE, F.V. Fontes e Doses de Nitrogênio e Alterações nos Atributos Químicos de um Latossolo Cultivado com Capim Mombaça. *R. Bras. Ciênc. do Solo*, 38: 840-849, 2014.
- SILVA, A.; ALMEIDA, J.A.; SCHMIT, C.; COELHO, C.M.M. Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus Benthamii*. *Floresta*, 42: 69-76, 2012.
- SILVA, J.A.G.; REIS, C.E.S.; CRESTANI, M.; SOUSA, R.O.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F. Absorção de cálcio e magnésio por cultivares de aveia submetidas a níveis de toxidez por alumínio. *Semina*, 34: 3563-3576, 2013.
- SOARES, M. R.; Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Brasil, 2004.
- SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- STATSOFT, STATÍSTICA: data analysis software system, version 7.0. Disponível em <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em 15 de ago. 2014.
- SYSTAT: Manual de uso do Sigma Plot 13.0, Windows. Disponível em <<http://www.systat.com/products/sigmaplot>>. Acesso em 15 de ago. 2014.
- TAMANINI, C.R.; MOTTA, A.C.V.; ANDREOLI, C.V.; DOETZER, B.H. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. *Braz. arch. biol. technol.*, 51:643-655, 2008.
- TONIETTO, A.; SILVA, J.J.M.C. Valoração de danos nos casos de mineração de ferro no Brasil. *Revista Brasileira de Criminalística*, 1:31-38, 2011.